

INOCULACIÓN Y USO DE EXTRACTOS NATURALES,

una alternativa agroecológica para la **prevención** de
plagas y enfermedades en el **cultivo de maíz** en Puebla.



Naxeai Luna Méndez [iD](#)

Ma. Dolores Castañeda-Antonio [iD](#)

Yolanda Elizabeth Morales-García [iD](#)

Jesús Muñoz-Rojas [iD](#)

Editorial: Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP)



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

CONCYTEP

Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

INOCULACIÓN Y USO DE EXTRACTOS NATURALES,

una alternativa agroecológica para la **prevención** de
plagas y enfermedades en el **cultivo de maíz** en Puebla.

Naxeai Luna Méndez [iD](#)

Ma. Dolores Castañeda-Antonio [iD](#)

Yolanda Elizabeth Morales-García [iD](#)

Jesús Muñoz-Rojas [iD](#)

Editorial: Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP)



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

CONCYTEP

Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

Miguel Barbosa Huerta
**GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL
ESTADO DE PUEBLA**

María Del Rosario Orozco Caballero
**PRESIDENTA DEL SISTEMA ESTATAL PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL DE LA FAMILIA**

Ana Lucía Hill Mayoral
**SECRETARIA DE GOBERNACIÓN DEL
ESTADO DE PUEBLA**

Melitón Lozano Pérez
**SECRETARIO DE EDUCACIÓN DEL
ESTADO DE PUEBLA**

Sergio Salomón Céspedes Peregrina
**PRESIDENTE DE LA JUNTA DE GOBIERNO Y
COORDINACIÓN POLÍTICA DEL H. CONGRESO
DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE PUEBLA**

Héctor Sánchez Sánchez
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL SUPERIOR DE
JUSTICIA DEL ESTADO DE PUEBLA**

Victoriano Gabriel Covarrubias Salvatori
**DIRECTOR GENERAL DEL CONSEJO DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE PUEBLA**

Maria Fernanda Arellano Curiel
**DIRECTORA DE INVESTIGACIÓN PARA LA
FORMACIÓN DE FACTOR HUMANO**

Maricruz Vázquez Bañuelos
RESPONSABLE DEL ÁREA DE PUBLICACIONES

María Angélica Hernández Hernández
REVISORA EDITORIAL

Diego Rodrigo Franco Ambriz
REVISOR LITERARIO

Cinthia Paola Muñoz Jiménez
DISEÑADORA EDITORIAL

ISBN: 978-607-8839-70-4
México, 2022

Publicado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP)
Privada B Poniente de la 16 de Sept. 4511, Colonia Huexotitla, 72534. Puebla, Pue.

La reproducción parcial o total de este material, ya sea documental o digital, es completamente libre otorgando los créditos correspondientes.

INOCULACIÓN Y USO DE EXTRACTOS NATURALES,

una alternativa agroecológica para la **prevención** de
plagas y enfermedades en el **cultivo de maíz** en Puebla.

Naxeai Luna Méndez [iD](#)

Ma. Dolores Castañeda-Antonio [iD](#)

Yolanda Elizabeth Morales-García [iD](#)

Jesús Muñoz-Rojas [iD](#)

Editorial: Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP)



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

CONCYTEP

Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

Índice

Agradecimientos	I
Presentación del libro	III
Capítulo I. Una estrategia para contribuir a la autosuficiencia en la producción de maíz en el Estado de Puebla	01
Capítulo II. Estrategias alternativas de control biorracional de plagas: monitoreo, biofumigación y fitoextractos.....	15
Capítulo III. Compartiendo conocimiento a los agricultores del estado de Puebla respecto al impacto ambiental derivado del uso de agroquímicos.....	33
Capítulo IV. INOCREP: inoculante de segunda generación	53

Agradecimientos

El trabajo de investigación aplicada y la publicación de su difusión fue posible gracias al financiamiento y apoyo editorial de Concytep, a quien agradecemos su eficaz y amable atención. Así mismo, agradecemos, tanto el apoyo en campo de los técnicos de la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla (SDR), quienes hicieron la labor logística para poder interactuar con los productores poblanos, como el apoyo administrativo y directivo del personal que coordinó la estrategia en la SDR y en Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Un particular agradecimiento a los productores que confiaron en la propuesta tecnológica que les compartimos.

Presentación del libro

El presente trabajo expone la estrategia implementada con pequeños productores de maíz nativos del Estado de Puebla, en un esfuerzo conjunto entre gobierno-investigadores (CONCYTEP-SDR) y sector productivo. El objetivo de esta publicación es difundir la estrategia entre funcionarios públicos del sector agropecuario, técnicos de campo, investigadores universitarios, productores y sociedad en general para su posible implementación. La estrategia consistió en brindar capacitación a los técnicos de campo, los micro y medianos productores para atender y tratar el problema de las plagas fortaleciendo los cultivos así como las medidas de control biológico existentes, sustentables y amigables con el ambiente, en apoyo a la autosuficiencia alimentaria en Puebla.

La estrategia propuesta tiene como antecedentes un diagnóstico rural participativo realizado en estudios previos en la región Sierra Nevada de Puebla, los trabajos de investigación que sustentan la formulación y beneficios del inoculante de segunda generación en el cultivo de maíz, así como la experimentación de extractos naturales en otros cultivos, a cargo de los investigadores participantes.

En la agricultura, el uso de químicos para nutrir los cultivos y para controlar plagas y enfermedades es común, sin embargo hay evidencia científica y empírica de los daños a la salud humana, y en general, a la naturaleza, debido a los altos niveles de intoxicación. La biotecnología ha mostrado ser una alternativa para que la planta genere defensas propias y resistencia a plagas y factores adversos. Un producto de la biotecnología son los inoculantes, actualmente existen inoculantes de segunda generación, estos a diferencia de los de primera generación son consorcios de bacterias que conviven en simbiosis generando un mecanismo de resistencia a factores fisicoquímicos y ambientales, asimilan las sales acumuladas en suelo y favorecen la disposición de estas a la planta, con ello disminuyen los requerimientos de fertilizante químico, lo que se traduce en beneficio económico (reducción de costos) y social (salud humana y ambiental) para los productores agrícolas y los consumidores. Por otro lado, se propone el uso de extractos de plantas como alternativa para el control y prevención de plagas y enfermedades en los cultivos. El uso del inoculante de segunda generación en conjunto con la aplicación

de extractos naturales de plantas, fue valorado por el equipo de investigación como alternativa, para prevenir y controlar plagas y enfermedades en el cultivo de maíces (nativos) en sistemas tradicionales (MIAF y metepantles). La propuesta ofrece beneficios adicionales en términos económicos y productivos pues mejora el rendimiento del cultivo a un costo accesible.

El libro está organizado en cuatro capítulos, el primero titulado “Una estrategia para contribuir a la autosuficiencia en la producción de maíz en el Estado de Puebla” hace una presentación general de la implementación de la estrategia. Además expone los resultados obtenidos hasta principios del mes de enero de 2022, desde la percepción de los productores adoptantes. En los siguientes tres capítulos se desarrollan cada uno de los componentes de la propuesta y el aporte a la solución de problemas identificados: plagas y enfermedades más difíciles de atender ante el calentamiento global. Así, en el capítulo dos “Estrategias alternativas de control biorracional de plagas: monitoreo, biofumigación y fitoextractos”, la Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio explica los beneficios del uso de extractos naturales de plantas, para prevenir plagas en los cultivos y menciona la forma en que fue transferido dicho conocimiento a los pequeños productores. En el capítulo tres “Compartiendo conocimiento a los agricultores del estado de Puebla respecto

al impacto ambiental derivado del uso de agroquímicos” el Dr. Jesús Muñoz Rojas nos invita a reflexionar sobre el uso de fertilizantes químicos, pesticidas y su efecto en el calentamiento global, tal cual lo hizo in situ con pequeños productores de maíces nativos de Puebla con el objetivo de transitar hacia el uso de otro tipo de tecnologías desarrolladas en Puebla por su propio equipo de investigación, como es el caso de INOCREP, un inoculate de segunda generación. El capítulo cuatro “INOCREP: inoculante de segunda generación” nos comparte qué es INOCREP, cómo fue desarrollado, sus beneficios y cómo usarlo. Finalmente, el equipo de trabajo (de investigación) hace algunas reflexiones conjuntas que compartimos con los lectores, en el ánimo de invitarlos a usar tecnologías que ayuden a hacer una vida más vivible. Compartimos la experiencia de haber colaborado en equipo aportando cada uno nuestros trabajos de investigación individuales para contribuir a la autosuficiencia alimentaria de Puebla.

Capítulo I. Una estrategia para contribuir a la autosuficiencia en la producción de maíz en el Estado de Puebla

Naxeai Luna Méndez¹,²*[iD](#), Alejandro Luna González¹ [iD](#)
<http://doi.org/10.5281/zenodo.5936096>

Resumen

1

La estrategia de intervención implementada para contribuir a la autosuficiencia alimentaria en el Estado de Puebla, a través de la atención a plagas y enfermedades y el incremento del rendimiento de maíces nativos, desde la visión agroecológica, permitió transferir biotecnología desarrollada por investigadores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla a los pequeños productores de la Sierra Nevada de Puebla y del Valle de

Tehuacán, logrando así la vinculación entre ciencia y sociedad con tecnologías limpias y *ad hoc* a las condiciones de la pequeña agricultura de Puebla. Los resultados señalan la imperiosa necesidad de continuar el trabajo de vinculación entre Instituciones de Educación Superior, Gobierno y Sociedad para hacer un campo productivo, pero sobre todo para mejorar las condiciones de vida de la población rural.

¹ Centro de Estudios del Desarrollo Económico y Social (CEDES), Facultad de Economía, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

² Preparatoria Urbana Enrique Cabrera Barroso, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).
Email de autor corresponsal: naxeai.luna@correo.buap.mx

Introducción

La crisis sistémica que vivimos actualmente nos obliga a repensar la forma en que nos relacionamos (sociedad) con la naturaleza, y por ende a reflexionar sobre nuestras formas de reproducción material e inmaterial. El PIB que es el indicador utilizado para medir el crecimiento de la economía, nos señala que la producción mundial promedio crece a mayor velocidad de lo que crece la población desde mediados de los años 70 del siglo XX, mostrando un mayor ritmo de crecimiento a inicio del siglo XXI (Banco mundial, 2019). No obstante, el crecimiento del hambre también va en aumento. De acuerdo a datos generados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) entre el año 2015 y 2017, 821 millones de personas (más de 1 de cada 9 habitantes del planeta) no tenían lo suficiente para comer, 150 millones de niños menores de 5 años padecían retrasos de crecimiento por no consumir suficiente alimento y 1 de cada 3 mujeres en edad de procrear padecía anemia. La variabilidad climática y los fenómenos climáticos extremos se cuentan entre las principales causas del hambre. Al mismo tiempo, y derivado de la actual relación naturaleza y modo de reproducción material (de sobreexplotación de la tierra), el calentamiento global amenaza la vida de especies vegetales y animales, incluyendo la del ser humano. La industrialización y urbanización como modelo de desarrollo ha tenido un alto costo. En América

Latina la revolución verde influyó en los sistemas de producción agrícola tradicionales y creó la agricultura comercial a gran escala, logrando incrementar la producción de alimentos para sostener el crecimiento de la población, crecimiento impulsado por las políticas de industrialización de los años 40 y hasta los años 70 (modelo ISI). El costo de una mayor producción de alimentos ha sido el proceso de eutrofización, la erosión de suelos agrícolas, la deforestación, salinización y emisión de gases termoactivos (Turrent y Cortés, 2015).

En México, las políticas de industrialización y regionalización, de principios del siglo XX, ocasionaron una mayor diferenciación intra e interregional entre la pequeña agricultura campesina e indígena (desde el centro hasta el sur del país) y la agricultura empresarial (predominantemente en el norte del país). Las diferencias se ampliaron con el cambio de paradigma económico y social neoliberal, desde los años 90 del siglo XX, llegando a una situación de pérdida de soberanía alimentaria. En este contexto de política económica, se pasó de la autosuficiencia en producción de maíz, a la pérdida de soberanía alimentaria, además de altos niveles de pobreza y marginación rural y pérdida de diversidad genética al introducirse semillas transgénicas. La agroecología es una alternativa a la agricultura industrial

que asegura la supervivencia de los recursos genéticos locales (Martínez y Rosset, 2014). Dicha alternativa ha significado el mecanismo de defensa de la biodiversidad y de los recursos naturales locales por parte de los productores de maíces nativos de los 32 estados de México que producen, predominantemente, en temporal (SIAP, 2020). La conservación de los maíces nativos o criollos se da a través de una gran diversidad de estrategias de reproducción campesinas e indígenas, desde siembra de maíces híbridos y uso de fertilizantes (nitrógeno y fósforo) para el mercado, vendidos al mejor precio posible, combinado con siembra de maíces nativos para autoconsumo, hasta siembra de maíces nativos exclusivamente para autoconsumo con fines de calidad alimentaria y generación de ingreso monetario a través de otras ocupaciones por parte de los pequeños productores. Tal es el caso de los productores de las 496 localidades del Estado de Puebla, en sus diferentes regiones, Sierra Norte de Puebla (Ávila *et al.*, 2014:52), Sierra Nevada, Sierra Mixteca y Sierra Nororiental de Puebla.

Las problemáticas planteadas, tanto locales como globales, exigen cambios de política económica y particularmente de la política agrícola-rural y científica que proteja el conocimiento tradicional y potencie los sistemas de producción y materiales genéticos locales, incorporando tecnologías limpias que resarzan los efectos ambientales de la revolución verde, que permitan disminuir costos

de producción y que aumenten la productividad para lograr la seguridad alimentaria y la autosuficiencia en producción de maíz como una medida de soberanía alimentaria; concepto ligado a la agroecología y a la agricultura campesina. La diversidad de estrategias productivas, las diversas condiciones edafoclimáticas y agronómicas sugieren atención diferenciada a condiciones particulares.

En la presente administración (2018-2024), tanto a nivel federal como a nivel estatal, los esfuerzos en política pública se concentran, entre otros asuntos sociales, en el apoyo a la producción agrícola con enfoque agroecológico, particularmente la producción de maíz, la conservación de su diversidad genética y el fomento de la agroecología, plasmado en los numerales 2 y 3 del Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024) (PND), a través de los programas: 2. Sembrando vida; 3. Autosuficiencia alimentaria y rescate del campo. En este marco institucional se encuadra la estrategia de desarrollo agrícola que ha implementado la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR) del Estado de Puebla, en el eje 2: recuperación del campo poblano del Plan Estatal de Desarrollo (2019-2024) (PED), con su programa “Impulso comercial a los Maíces Nativos” alineado al PND en el programa sectorial de desarrollo rural (2019-2024), con el que se busca impulsar la producción de los maíces nativos poblanos, su conservación, y la mejora de las condiciones de vida de sus productores.

La producción de maíz en Puebla, diversidad genética y edafoclimática

En Puebla la producción de maíz grano en el año 2020 se estimó en 47 mil 906 ton vs 44 mil 32 ton en el año 2019 y de 49 mil 736 ton en el año 2018 (SIAP, varios años). Hasta el año 2002 INEGI reportó que el 90.2 por ciento de la superficie sembrada

de maíz, había sido con variedades nativas y en condiciones de temporal (Hortelano, et al, 2008). Estimación que de acuerdo a Gil (2022), actualmente es entre 85 y 90 por ciento de la superficie sembrada, con variedades chalqueño, cacahuacintle y cónico. El Estado de Puebla ocupó hasta el año 2020, el séptimo lugar a nivel nacional en la producción de maíz grano y en la producción de maíz forrajero en verde (ver cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Producción de maíz forrajero en verde y de maíz grano en México, 2020

No.	Estado	Cultivo	Vol. producción	% nacional	Lugar nacional (MF)	Lugar nacional (MG)
1	Aguascalientes	Maíz Forrajero en verde	1358261. 28	8 %	3	
1	Aguascalientes	Maíz grano	74198. 91	0 %		
2	Baja California	Maíz Forrajero en verde	9747. 5	0 %		
2	Baja California	Maíz grano	20215. 8	0 %		
3	Baja California Sur	Maíz Forrajero en verde	285	0 %		
3	Baja California Sur	Maíz grano	41055. 88	0 %		
4	Campeche	Maíz Forrajero en verde	2699. 1	0 %		
4	Campeche	Maíz grano	517787. 63	2 %		
5	Chiapas	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		
5	Chiapas	Maíz grano	1257883. 35	5 %		6
6	Chihuahua	Maíz Forrajero en verde	753610. 29	4 %	6	
6	Chihuahua	Maíz grano	1244355. 94	5 %		6
7	Ciudad de México	Maíz Forrajero en verde	3835	0 %		
7	Ciudad de México	Maíz grano	4495. 92	0 %		
8	Coahuila	Maíz Forrajero en verde	971618. 15	6 %	5	

No.	Estado	Cultivo	Vol. producción	% nacional	Lugar nacional (MF)	Lugar nacional (MG)
8	Coahuila	Maíz grano	21706. 53	0 %		
9	Colima	Maíz Forrajero en verde	22553. 8	0 %		
9	Colima	Maíz grano	49707. 09	0 %		
10	Durango	Maíz Forrajero en verde	2261836. 65	13 %	2	
10	Durango	Maíz grano	143513. 52	1 %		
11	Guanajuato	Maíz Forrajero en verde	441817. 48	3 %	5	
11	Guanajuato	Maíz grano	1767544. 31	6 %		5
12	Guerrero	Maíz Forrajero en verde	12565	0 %		
12	Guerrero	Maíz grano	1419308. 61	5 %		6
13	Hidalgo	Maíz Forrajero en verde	133679. 04	1 %		
13	Hidalgo	Maíz grano	624361. 92	2 %		
14	Jalisco	Maíz Forrajero en verde	5740628. 56	34 %	1	
14	Jalisco	Maíz grano	3943009. 2	14 %		2
15	México	Maíz Forrajero en verde	1139363. 15	7 %	4	
15	México	Maíz grano	1796424. 54	7 %		4
16	Michoacán	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		
16	Michoacán	Maíz grano	2062601. 59	8 %		3
17	Morelos	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		
17	Morelos	Maíz grano	163613. 04	1 %		
18	Nayarit	Maíz Forrajero en verde	251910. 05	2 %	7	
18	Nayarit	Maíz grano	117437. 73	0 %		
19	Nuevo León	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		
19	Nuevo León	Maíz grano	55215. 55	0 %		
20	Oaxaca	Maíz Forrajero en verde	18221. 13	0 %		
20	Oaxaca	Maíz grano	729406. 04	3 %		
21	Puebla	Maíz Forrajero en verde	312742. 82	2 %	7	
21	Puebla	Maíz grano	1049011. 21	4 %		7
22	Querétaro	Maíz Forrajero en verde	672739. 96	4 %		
22	Querétaro	Maíz grano	207778. 92	1 %		
23	Quintana Roo	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		
23	Quintana Roo	Maíz grano	46302. 5	0 %		
24	San Luis Potosí	Maíz Forrajero en verde	173418. 36	1 %		
24	San Luis Potosí	Maíz grano	179951. 08	1 %		
25	Sinaloa	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		

No.	Estado	Cultivo	Vol. producción	% nacional	Lugar nacional (MF)	Lugar nacional (MG)
25	Sinaloa	Maíz grano	6298369. 04	23 %		1
26	Sonora	Maíz Forrajero en verde	5585. 15	0 %		
26	Sonora	Maíz grano	634400. 19	2 %		
27	Tabasco	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		
27	Tabasco	Maíz grano	0	0 %		
28	Tamaulipas	Maíz Forrajero en verde	0	0 %		
28	Tamaulipas	Maíz grano	589389. 29	2 %		
29	Tlaxcala	Maíz Forrajero en verde	286855. 16	2 %		
29	Tlaxcala	Maíz grano	340470. 05	1 %		
30	Veracruz	Maíz Forrajero en verde	46619. 35	0 %		
30	Veracruz	Maíz grano	1290602. 32	5 %		6
31	Yucatán	Maíz Forrajero en verde	280. 1	0 %		
31	Yucatán	Maíz grano	99941. 4	0 %		
32	Zacatecas	Maíz Forrajero en verde	2147559. 32	13 %	2	
32	Zacatecas	Maíz grano	484730. 8	2 %		
	Nacional	Maíz Forrajero en verde	16768431. 4	100 %		
	Nacional	Maíz grano	27424527. 6	100 %		

Fuente: SIAP, Cierre agrícola municipal 2020

En todo el Estado de Puebla se cultiva maíz. La existencia de microclimas y el extraordinario trabajo de los campesinos y pequeños productores de cada región han creado una diversidad genética y productiva que presentan características agronómicas diferentes que implican problemáticas de producción diferentes. Por ejemplo, el Valle de Tehuacán (centro de origen del maíz - *Zea mays* L. -) es el principal productor de maíz (*Zea mays* L.) elotero del Estado con variedades nativas que son preferidas a las variedades híbridas, debido a que los rendimientos que reportan son mayores (López, et

al., 2020), pues son variedades que han pasado por miles de años de adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la región, lo que permite mejores rendimientos. No obstante, de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) los rendimientos de las variedades nativas del Valle de Tehuacán son menores al promedio nacional y al promedio estatal: 10.92 t·ha⁻¹, 15.51 t·ha⁻¹ y 15.55 t·ha⁻¹, respectivamente. Lo mismo sucede con el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) grano, tanto en temporal como en sistema de riego. El rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en temporal en Tehuacán

es de 1.19 t·ha⁻¹, en el Estado de Puebla de 1.4 t·ha⁻¹ y a nivel nacional de 1.84 t·ha⁻¹, y en sistema de riego 2.83 t·ha⁻¹, 4.27 t·ha⁻¹ y 4.65 t·ha⁻¹, respectivamente.

De modo que es relevante implementar estrategias ad hoc a los sistemas de producción local que aumenten la productividad sin atentar contra las estrategias de vida de los productores locales y sin atentar contra el medio ambiente. El presente trabajo tuvo como objetivo transferir la tecnología desarrollada en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla a pequeños productores de maíces nativos, en pro de una agricultura responsable social y ambientalmente.

Participación del grupo multidisciplinario BUAP en la estrategia de rescate del campo poblano

La estrategia de rescate del campo poblano implementada por el Gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR), atendió a los productores del Estado en el ciclo productivo 2020-2021 de forma organizada, a partir de la identificación de los principales cultivos agrícolas, enfocada a los pequeños productores. Los 7 polos de desarrollo en los que la SDR regionalizó al Estado son: 1) Ciudad Serdán, 2) Libres, 3) Chignahuapan-Zacatlán, 4) San Martín, 5) Sierra Nororiental, 6) Atlixco, 7) Tehuacán-Tecamachalco, nombrando coordinadores por polo de desarrollo y asignando a expertos en agronomía y áreas afines como técnicos de campo responsables de escuelas de campo (ECA's). Las ECA's fueron implementadas en las propias parcelas de los pequeños productores en donde fueron transferidas las tecnologías al resto de productores de las localidades aledañas.

La participación del grupo de trabajo multidisciplinario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) integrado por los Doctores. Jesús Muñoz Rojas, Yolanda Elizabeth Morales-García, Ma. Dolores Castañeda Antonio y Naxeai Luna Méndez, en coordinación con la SDR y financiado por el Consejo

de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP), tuvo como objetivo “Fortalecer el estado nutricional de los maíces nativos y uso de extractos naturales, como medida de prevención y control de plagas y enfermedades, para contribuir a lograr la autosuficiencia alimentaria de los pequeños productores del Estado de Puebla”. La estrategia con visión agroecológica tuvo como base 2 ejes: 1) transferencia de tecnología (biotecnología) a pequeños productores de maíces nativos, con el objetivo de fortalecer la nutrición del cultivo, y 2) uso de extractos naturales que han sido probados en cultivos diversos, como medida preventiva para el control de plagas y enfermedades. Dicha estrategia implicó la capacitación de todos los técnicos de maíces nativos y de todos los productores (200 productores capacitados directamente) de las Escuelas de Campo (ECA) de los polos de desarrollo Atlixco, San Martín y del municipio de Altepexi en el uso del inoculante de segunda generación patentado con el nombre de INOCREP, el cual fue desarrollado por el equipo de investigación liderado por el Dr. Jesús Muñoz Rojas experto en ciencias microbiológicas adscrito al Instituto de Ciencias BUAP, integrante del grupo de trabajo que implementó la estrategia de intervención actual).

La transferencia de tecnología partió de un diagnóstico rural participativo llevado a cabo en trabajos de investigación previos al presente trabajo por parte de integrantes del equipo de trabajo. En la Sierra Nevada de Puebla se identificó como sistemas agrícolas predominantes el sistema Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) y metepantles (milpa sembrada entre hileras de magueyes). Con las siguientes características edafoclimáticas: suelo arcilloso, clima templado y precipitación pluvial promedio anual de 900 mm, en relieves entre los 2 300 y 2 850 msnm y temperaturas de entre 1.1 y hasta 38°C (Luna *et al.*, 2016). El tamaño de parcelas en la región es entre 1 y fracciones de ha con un promedio de 2.3 ha por productor, que producen principalmente en condiciones de temporal. La edad promedio de los productores es de 58 años (Luna *et al.*, 2013). Se halló que para los productores de maíz la presencia de ciertos insectos como gusanos, moscas y chapulines es considerada un problema porque afecta la calidad de la producción. Y se analizó con los productores participantes en el programa de rescate al campo poblano que la mayoría usa fertilizante químico (nitrógeno) para nutrir sus suelos y muy pocos usan fertilizantes orgánicos (diferentes tipos de estiércol), lo que implicó concientizar a los productores para disminuir el uso de fertilizantes químicos y aumenten el uso de fertilizantes orgánicos.

Resultados de la intervención

Las acciones concretas fueron capacitación a los técnicos de campo de la estrategia de maíces nativos y transferencia en campo de la biotecnología (INOCREP) a los pequeños productores participantes en el programa. La capacitación a técnicos y productores tuvo 2 temáticas, inoculación de maíz semilla y uso de extractos naturales locales para prevenir el desarrollo de plagas y enfermedades. El equipo de trabajo BUAP capacitó a 128 productores de maíces nativos de los polos de desarrollo San Martín, Atlixco y Tehuacán-Tecamachalco, a 10 técnicos de campo y a 3 coordinadores de polos de desarrollo. Gracias al apoyo otorgado por CONCYTEP para implementar la estrategia, se entregó inoculante a 36 productores de maíces nativos en sistema de temporal (28 %) que se mostraron interesados en inocular su semilla para el ciclo productivo 2022 y se inculó la semilla de 4 productores (3 % de productores capacitados) del polo

de desarrollo Tehuacán que producen maíz elotero bajo riego. La transferencia de tecnología se evaluó a través de la percepción de los productores adoptantes. En términos ambientales y económicos los resultados observados fueron satisfactorios para los cuatro productores (ver cuadro 1.1) y para el equipo de trabajo (ver figuras 1.1,1.2,1.3 y 1.4), quienes al igual que el resto de los 128 productores capacitados en el uso de la tecnología llevan a cabo estrategias de reproducción diversas, destacando la siembra de maíces nativos para autoconsumo con la siembra de maíces híbridos o nativos para comercialización, entre otras fuentes de ingreso, en sistemas de producción tradicional, en riego o de temporal, con superficies menores a 5 ha parceladas en 2 o 3 predios. Los productores tienen una edad entre 40 y 80 años, son propietarios de la tierra en régimen privado, o social (ejidal o comunal), utilizan fertilizante químico (nitrógeno y fósforo) y muy pocos usan fertilizantes orgánicos como estiércol u otros.

Cuadro 1.2 Percepción de los productores sobre los resultados de la tecnología transferida*

	Grosor tallo	Color de hojas	Altura planta	Costo tecnología
Percepción de los productores	Buena	Buena	Buena	Económico

* Inoculación de maíz semilla con inoculante de segunda generación (INOCREP). Biotecnología desarrollada por el Dr. Jesús Muñoz Rojas, Yolanda Elizabeth Morales García e integrantes del grupo de investigación del Instituto de Ciencias de la BUAP (ICUAP).

Fuente: Elaboración propia con trabajo de campo.



Figura 1.1 Planta de maíz azul de 13 días de sembrada. Paraje Tzotzomayo, Altepexi, maíz nativo de color azul (por lo que presenta hojas de color diferente) sembrada el día 13 de noviembre de 2021.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.1 Planta de maíz blanco de 47 días de sembrada. Paraje Tzotzomayo, Altepexi. Maíz elotero, variedad nativa sembrada el 6 de octubre de 2021.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.1 Planta de maíz blanco de 69 días de sembrada. Paraje Tzotzomayo, Altepexi Maíz elotero variedad nativa sembrada el 18 de septiembre de 2021 (sin fertilización, para cosechar entre la tercera y cuarta semana del mes de enero de 2022).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.1 Planta de maíz blanco. Paraje Tzotzomayo, Altepexi Maíz elotero variedad nativa sembrada el 18 de septiembre de 2021 (sin fertilización, para cosechar entre la tercera y cuarta semana del mes de enero de 2022). Foto del 18 de enero de 2022.
Fuente: Elaboración propia.

Algunos resultados que se pueden observar en la figura 4 es la poca maleza desarrollada entre las hileras de maíz, el color verde intenso de las hojas y el abundante follaje. Estos beneficios están directamente relacionados con la inoculación de la semilla con INOCREP. Además, no se observan plagas ni enfermedades. En relación al rendimiento se estimó el incremento del mismo hasta en 6 veces, según los experimentos controlados realizados previamente por el Dr. Jesús Muñoz Rojas y su equipo de investigación, no obstante, el rendimiento para cada productor participante será diferente debido a las diversas condiciones de suelo, agua, clima, fertilización y manejo agronómico. Por ejemplo, el caso del productor que sembró el 18 de septiembre de 2021 en Altepexi, el cultivo no fue fertilizado y sólo se pudo hacer un riego por cuestiones de salud del productor, a diferencia del resto de productores adoptantes. Cabe mencionar que la estrategia no consistió en hacer parcelas demostrativas con experimentos controlados, sino en la implementación de la biotecnología por parte de cada productor en condiciones reales, es decir, bajo prácticas de producción local para evaluar la efectividad de la misma.

La relación beneficio costo (RB/C) de la implementación del inoculante INOCREP en la región Tehuacán, Puebla se estimó en base a los costos de producción señalados por los participantes adoptantes y el rendimiento y precio promedio en

la región reportado en el SIAP (2020), considerando que el rendimiento pueda aumentar al doble. Sin proyecto se calculó en 1.41 y con proyecto en 1.58. Para el caso de maíz grano, con costos de producción reportados por los mismos productores en Altepexi y considerando rendimiento y precio promedio reportado por el SIAP (2020), se estimó una RB/C sin proyecto de 1.17 y con proyecto de 1.47.

Conclusión

La estrategia diseñada por el grupo de trabajo BUAP no hubiera podido ser implementada sin la vinculación que el Gobierno del Estado hizo entre ciencia y sociedad, una tarea que implicó la suma de recursos económicos, humanos y conocimiento, así como el interés de investigadores en atender las necesidades humanas y sociales de los productores, más que el proceder con fines productivista y/o de eficiencia económica, que por décadas han sido motivo de acción pública, emitiendo políticas que no han ayudado a resolver el problema de autosuficiencia en producción de maíz en Puebla y en México, ni tampoco los problemas técnicos que los pequeños productores enfrentan día a día en sus cultivos, que por el contrario han agudizado la crisis ambiental. Sin duda la estrategia implementada no es suficiente para resolver el problema de plagas y enfermedades, ni de autosuficiencia alimentaria, pero la interacción con los pequeños productores y productoras nos permitió compartir tecnología desarrollada en Puebla e identificar necesidades y problemas que nos obligan a seguir haciendo investigación científica básica y aplicada, para contribuir a minimizar los efectos del calentamiento global en el campo y alcanzar la autosuficiencia alimentaria sin atentar contra la naturaleza.

Referencias bibliográficas

- Ávila, F., Castañeda, Y., Massieu, Y., Noriero, L., & González, A. (2014). Los productores de maíz en Puebla ante la liberación de maíz genéticamente modificado. *Sociológica* (México), 29(82), 45–81.
- Elena, M. T. M., & Rosset, P. (2014). Rural Social Movements and Diálogo de Saberes: Territories, Food Sovereignty, and Agroecology.
- Hortelano Santa Rosa, R., Gil Muñoz, A., Santacruz Varela, A., Miranda Colín, S., & Córdova Téllez, L. (2008). Morphological diversity of maize landraces from the Puebla Valley. *Agricultura técnica en México*, 34(2), 189–200.
- López, P. A., Ortiz-Torres, E., Gil-Muñoz, A., de Dios Guerrero-Rodríguez, J., Taboada-Gaytán, O. R., López-Sánchez, H., & Hernández-Guzmán, J. A. (2020). PATRÓN VARIETAL Y RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍCES LOCALES DEL VALLE DE TEHUACÁN, PUEBLA. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4-A), 525–525.
- Luna Méndez, N., Jaramillo Villanueva, J. L., & Escobedo Garrido, J. S. (2016). Rentabilidad y competitividad del cultivo de nuez de Castilla en Sierra Nevada-Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1625–1638.
- Luna-Méndez, N., Jaramillo-Villanueva, J. L., Ramírez-Juárez, J., Escobedo-Garrido, S., Bustamante-González, Á., & Campos-Ríos, G. (2013). Tipología de unidades de producción de nuez de castilla en sistema de producción tradicional. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(3), 283–303.
- URBECONOMICA (2022). Puebla cuenta con 800 variedades de maíz nativo, consultado en <https://urbeconomica.com.mx/sectores-economicos/agropecuaria/16194-2018-02-13-23-48-30>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera varios años, consultado en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020). Cierre agrícola municipal 2020. México, recuperado en: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php

Capítulo II. Estrategias alternativas de control biorracional de plagas: monitoreo, biofumigación y fitoextractos

Dolores Castañeda-Antonio^{1*} [iD](#), Juana Deisy Santamaría Juárez² [iD](#),
Verónica Quintero Hernández¹ [iD](#), Edgar Illescas Aparicio³ [iD](#)
<http://doi.org/10.5281/zenodo.5936218>

Resumen

El manejo de plagas inicialmente ha tenido como objetivo la eliminación de insectos, hongos, bacterias y virus que pueden afectar a los cultivos de importancia económica en forma indiscriminada y desmedida afectando el entorno ecológico. Stern y col., 1959 proponen el concepto de Nivel de daño económico (NDE) y con ello nace el manejo integral de plagas (MIP), para controlar una plaga es necesario manejar una o más tácticas de control que permitan ser eficientes para alcanzar el objetivo, en este trabajo se revisaron las principales estrategias que usan las plantas en forma directa e indirecta para deshacerse de sus depredadores así como algunas complementarias que son básicas en la preparación del suelo como la limpieza del suelo a partir de la

estrategia de biofumigación, la técnica de solarización, monitoreo de la plaga y el uso de las propiedades químicas de las plantas con efecto alelopático y plaguicida, siendo estas técnicas las que se difundieron como capacitación a los productores y técnicos de la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR) en el programa de Participación del grupo Multidisciplinario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) durante el programa de Rescate del campo agrícola en el periodo agosto-noviembre 2021. Con este trabajo se pretende generar información adecuada y actualizada a los técnicos de las Escuelas de Campo, a los micro productores y el público en general que esté interesado en consultar esta información.

15

¹Centro en Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Boulevard San Claudio y 24 Sur, edificio 11 IC. Ciudad Universitaria. Jardines de San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72590.

²Facultad de Ingeniería Química. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Boulevard San Claudio y 18 Sur. Ciudad Universitaria. Jardines de San Manuel, Puebla, Pue.

³Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Boulevard San Claudio y 18 Sur. Ciudad Universitaria. Jardines de San Manuel, Puebla, Pue.

Email autor corresponsal: dcastaneda.antonio@gmail.com

Introducción

16

En los últimos años se ha visto amenazada la salud del campo debido al uso excesivo de compuestos químicos sintéticos (fertilizantes, herbicidas, fungicidas, plaguicidas y en general los pesticidas) para los cultivos de alto rendimiento. Sin embargo, estas prácticas favorecen la proliferación de plagas; así también la falta de un manejo biorracional del suelo (Isman, 2006; Lemus, 2018). Además, estos compuestos químicos sintéticos generan una alta toxicidad al ambiente, deteriorando el suelo e incrementando los costos de producción. Como respuesta a esta problemática cada vez hay más estrategias de control, ya sean gubernamentales, de productores, investigadores universitarios y empresas agrícolas que se preocupan por los problemas que afectan a la salud del ser humano y del ecosistema. Estas estrategias deben establecer alternativas viables, sustentables y eficientes, estableciendo medidas regulatorias, prohibiendo o restringiendo severamente los productos más dañinos y creando políticas que permitan el uso de estrategias alternas como el uso de fitoextractos para reemplazar las sustancias químicas sintéticas por aquellas que se ha demostrado que presentan menos riesgos para la salud humana y el medio ambiente (Isman, 2006).

Las plantas y los insectos han co-evolucionado a través de los cientos de años que llevan juntos y ambos han desarrollado mecanismos de defensa mutuos (Robayo & Gutiérrez, 2014), esto implica que las plantas poseen metabolitos naturales de autodefensa, por lo que los extractos de plantas presentan una alternativa viable debido a los metabolitos secundarios generados como defensa ante factores adversos como la sequía, hierbas que compiten por nutrientes, insectos, hongos o bacterias que afectan su buen desarrollo así como daños a nivel del metabolismo celular (War *et al.*, 2012; Lemus, 2018). Las interacciones entre plantas e insectos llevan más de 400 millones de años funcionando, estos mecanismos se han generado por las señales que da el huésped y las que recibe el hospedero (Labandeira, 2013), aunque estos han sido modificados debido a la intervención del hombre en el ecosistema al adicionar sustancias sintetizadas cuyo objetivo es modificar este sistema, se estima que los mecanismos reales en sí operan durante periodos muy cortos, es decir las decisiones de la planta huésped que se toma en vuelo ocurre en milisegundos, el asentamiento/colonización ocurre en minutos y los mecanismos de defensa inducidos ocurren en horas, los insectos con su sofisticado sistema para detectar

su entorno y procesar su información sensorial actúa rápidamente, estas habilidades las aprovecha la planta ya sea para atraer insectos de defensa ante un hospedero no favorable o bien para tener un insecto con simbiosis y proteger su entorno (Corneal *et al.*, 2018).

A través del Programa de Estrategias de desarrollo agrícola que ha implementado la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR) del Estado de Puebla, se propone manejar alternativas que permitan tener sistemas sustentables y amigables con el ecosistema, cumpliendo las características de ser inocuo y características para ser considerado en los programas de seguridad alimentaria como ecológicos. La alternativa es el uso de compuestos naturales que tienen baja o nula toxicidad y solo afectan a los insectos, bacterias, hongos o ácaros dañinos en forma dirigida (Isman, 2006; Kedia *et al.*, 2015). Dentro de las estrategias sustentables y biorracionales se encuentra el uso adecuado de las propiedades químicas naturales de las plantas, en esta revisión hablaremos de estas propiedades y de estrategias asociadas que permiten un eficiente control de plagas que al combinarse con el uso de diferentes fitoextractos generan resultados óptimos (Pizarro *et al.*, 2013).

Limpieza del suelo a partir de la estrategia de biofumigación

La preparación del suelo es prioritaria debido a que es preventiva, alistar el suelo para un futuro cultivo permitirá darle condiciones adecuadas para el buen desarrollo de las plantas y facilidad de disposición de nutrientes, disminuyendo la competencia así como eliminar patógenos presentes en el suelo, esta es una técnica que consiste en la adición al suelo de restos de cultivo aprovechando la degradación de la materia orgánica y elevación de temperatura logrando con ello desprenden las sustancias volátiles (Zanón *et al.*, 2009), así como la combinación de la solarización a alta temperatura permite eliminar los compuestos volátiles de tipo xenobióticos a través de generar condiciones de anoxia, para la eliminación de patógenos como hongos y bacterias (siendo ejemplo con *Ralstonia solanacearum* y *Clavibacter michiganensis* causante de cáncer bacteriano), nemátodos y semillas de maleza, además de mejorar la fertilidad, incrementa la porosidad en el suelo. La técnica de solarización del suelo se aplica humedeciendo este previamente y cubriéndolo con un plástico transparente para exponerlo a la luz solar durante los meses de más altas radiaciones (Godoy, 2012). El grado de fertilidad del suelo refleja el estado de conservación de una

biota o el grado de intervención a que ha sido sometida un área determinada por lo que la salud del suelo dependerá del cuidado nutricional y rotación de cultivos (Herrera *et al.*, 2011).

Monitoreo de la Plaga como segundo paso

El monitorear la presencia de plagas en el cultivo es un paso importante para realizar la detección temprana de la plaga, contar con registros sobre la incidencia de la plaga en el cultivo, grado de infestación o avance de daño fresco, intensidad de lluvias, fauna benéfica presente, al menos dos veces por semana permitirá conocer la dinámica de la plaga (García *et al.*, 1999). Para determinar si es necesario el control de los organismos potencialmente como plaga se fijan valores de umbrales en la población, se estima el nivel de daño económico (NDE) siendo igual a la densidad más baja de la población que causa daño económico y se establece un umbral económico (UE), este último siempre por debajo del NDE y este nivel representa el punto de acción de control de plaga (Fishbein, 2012).

Cada cultivo presenta diferentes UE y por consiguiente diferente NDE, por lo que el monitoreo secuencial y periódico es necesario en el caso de plagas de metamorfosis completo el daño inicia con la aparición de larvas, de los huevos depositados, las hembras ovipositan los

huevos perforando hojas o frutos los cuales excreta un líquido que se acumula en la superficie de las hojas o tallo siendo de color marrón, amarillo o negro de acuerdo al tipo de plaga, estos síntomas son claro indicio de la presencia de plaga a mayor superficie dañada mayor presencia de patógeno (Kedia *et al.*, 2013; Kubar *et al.*, 2021), para el caso particular de *Spodoptera frugiperda* se debe calificar el daño fresco revisando la última hoja formada en el cogollo de las plantas de maíz (Kedia *et al.*, 2015).

Defensa directa de las plantas

Las plantas han desarrollado mecanismos de defensa que afectan de manera directa al herbívoro en su biología, como la protección mecánica pasiva en la superficie de ellas cuando esta cuenta con: pelos, tricomas, espinas y hojas más gruesa o la defensa química pasiva, que es la producción de compuestos químicos tóxicos, para activar respuestas de defensa antes de cualquier infección como los terpenos, terpenoides, alcaloides, antocianinas, fenoles y quinonas que son capaces de matar o retrasar el desarrollo de los herbívoros (War *et al.*, 2012; Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2013). Otra estrategia es la liberación de compuestos volátiles simples o como mezcla, son capaces de atraer específicamente a los enemigos naturales

del herbívoro más próximo de manera que la presencia de la planta pasa a segundo término y les proporciona alimento, como por el ejemplo el néctar extra floral, consiguiendo “guardaespalda personales”, también conocido este mecanismo en la actualidad como Resistencia Sistémica Adquirida (RSA), por otra parte también pueden actuar otros organismos asociadas como las rizobacterias promotoras del crecimiento de la planta (PGPR) denominada “resistencia sistémica inducida” (RSI), y la resistencia local adquirida (LAR) desencadenada por la hipersensibilidad de la planta, como una respuesta a cepas no patógenas, produciendo fitoalexinas (Camarena *et al.*, 2007; War *et al.*, 2012; Intagri, 2017).

Estrategia usando las propiedades químicas de las plantas

La presencia de plagas en los cultivos de importancia económica causa repercusiones como el deterioro de los granos, deterioro en leguminosas en almacén, se ha demostrado que el uso de fitoextractos pueden repeler plagas o bien atraer la plaga a otros cultivos menos importantes, también pueden funcionar como elicitors es decir, inducir efectos fisiológicos y cambios que activan la defensa de las plantas acumulando fitoalexinas (Figura 2.1) estas están regulados por compuestos llamados fitorreguladores endógenos algunos de ellos son el ácido jasmónico, ácido salicílico, etileno, ácido abscísico, citocininas y giberelinas, algunos sacáridos como la sacarosa, glucosa y fructosa, y genes relacionados a la defensa y reguladores transcripcionales (Intagri, 2017). Con estas señales mejoran su vigor, es como vacunar a la planta para iniciar la activación de su defensa (García *et al.*, 2018). También actúan disuadiendo la oviposición, inhibición de la emergencia de adultos, ovicida, larvicida, actividad pupaecida y disuasión alimentaria basada en su toxicidad por contacto y efectos de fumigación (Gutiérrez-Ramírez, 2013; Kedia *et al.*, 2015).



Imagen 1. Mecanismo de Acción de los elicitors para producir Fitoalexinas. Imagen propia
Created with BioRender.com

El uso de compuestos de origen vegetal para proteger los cultivos importantes al humano no es una práctica nueva, nuestros ancestros en su sabiduría ya la usaban, dentro de las primeras plantas fue la nicotina extraída de *Nicotiana tabacum* L. (*Solanaceae*), la rianodina extraída de *Ryania speciosa* Vahl (*Flacourtiaceae*), la sabadilla *Schoenocaulon frameae*, actualmente se usan cuatro tipos principales de productos botánicos para el control de insectos: rotenona de *Derris spp*, y *Lonchocarpus spp* (*Fabaceae*), piretrinas obtenidas del piretro (*Tanacetum cinerariaefolium* (*Asteraceae*) (Roel *et al.*, 2000; Pizarro *et al.*, 2013). Recientemente plantas como *Azadirachta indica*, A. juss, *Melia azedarach* L. (*Meliaceae*), *Quassia amara* L. (*Simaroubaceae*), y *Annona cherimolia* Miller (*Annonaceae*), Boldo (*Peumus boldus*; *Monimiaceae*) (Camarena-Gutiérrez & De la Torre-Almaráz, 2007). El uso de estos extractos los cuales aportan compuestos como

principio activo representan el 6 % de uso a nivel mundial como plaguicidas siendo un 91 % de ese uso el destinado para la agricultura (Isman, 2006). En México se cuentan con 442 registros de ingredientes activos vegetales, siendo la azadiractina el principio activo del 50 % de estos registros, con un total de 2 138 productos en 2021 (Rodríguez, 2021).

Los extractos de plantas o también llamado fitoextractos, tiene un rango de protección que va de repelencia, disuasión de alimentación, oviposición e insecticida, pueden aplicarse por rocío sobre la planta de cultivo para construir un sistema de defensa natural contra el daño causado por los herbívoros, esto implica que la planta reconoce los compuestos de los extractos y puede desarrollar cultivares que responden fácilmente a la respuesta inducida ante una infestación leve (War *et al.*, 2012).

Es importante recalcar que los Fitoextractos son amigables con el ambiente y compatible con una serie de opciones de bajo riesgo aceptables para el control de insectos como las feromonas, jabones, hongos entomopatógenos, aceites, depredadores, parasitoides que aumentan la posibilidad de estructurar una estrategia eficiente (Celis *et al.*, 2009).

Tipos de inhibidores que se promueven en las plantas

Existen diferentes compuestos llamados metabolitos secundarios en las plantas algunos tienen funcionalidad individual y otros se asocian para desencadenar una respuesta directa o indirecta, ya sea como compuestos volátiles o constitutivos que actúan en forma de cascada, donde involucran enzimas que incrementan la actividad de estos compuestos dentro de los cuales tenemos: Los inhibidores de proteasas vegetales (IP) su función va desde reguladores de proteinasas endógenas hasta proteínas de almacenamiento, Mickel y Standish (1947), demostraron que algunos insectos no podían completar su biología normalmente y que eran tóxicos para las larvas de *Tribelium confircumtucker* en 1954, dentro de los principales inhibidores se tiene la Familia Serpin proteasa (SPI), Familia Inhibidores de Bowman-Birk (BBI) representada por la *Glycine max*, Inhibidores Squash (SI), Inhibidores de Cereal Trypsin /Amilasa (CTAI), Inhibidores de Mustar Sinapsis de tripsina (MSI), Inhibidores de proteasa patata tipo I (PI1), Inhibidores de proteasa patata tipo I (PI2), Inhibidores de proteasa cisteína también llamada la Superfamilia de Cistatina (CYS), Inhibidores de aspartil y metalocarboxypeptidasa (IAM) y las

expresiones PI de insectos resistentes a plantas transgénicas (War *et al.*, 2012; Emani, 2018). El mecanismo con el cual son funcionales estos inhibidores es similar, pero varía dependiendo de la naturaleza del inhibidor, el inhibidor se une al sitio activo de la enzima formando un complejo enzima-inhibidor con una constante de disociación muy baja (10^7 a 10^{14} M a un pH neutro) bloqueando eficientemente el sitio activo, por lo tanto, imita al sustrato normal de la enzima este mecanismo se ha detectado en la defensa en trastornos virales (Terra *et al.*, 1996). Los insectos por lo general usan diferentes tipos de enzimas digestivas para digerir la amplia gama de dietas, incluidas moléculas poliméricas, que son secretadas por las células epiteliales del intestino medio (Terra *et al.* 1996). Las proteinasas son un grupo notable de enzimas hidrolíticas en insectos y se incluyen en procesos digestivos, activación de proenzimas, libertad de péptidos fisiológicamente dinámicos, iniciación de suplementos y formas de agravación. Las proteinasas se caracterizan por sus mecanismos de catálisis: (1) serina proteinasas; (2) cisteína proteinasas; (3) proteinasas aspárticas; y (4) metaloproteinazas (Bode y Huber 1992).

El ataque de insectos a las plantas desencadena diversos mecanismos con el fin de iniciar la producción de una amplia gama de metabolitos como son las defensinas, tioninas, lectinas

e inhibidores de proteasas que en su conjunto son el arsenal defensivo de las plantas, para un manejo competente de plagas (Akbar *et al.*, 2018; Emani, 2018). Las características aromáticas proporcionan varias funciones para las plantas, incluyendo atraer o repeler insectos, protegerse del calor o el frío y utilizar productos químicos constituyentes del aceite como materiales de defensa (Koul *et al.*, 2008).

El adicionar estos compuestos de inhibición de enzimas, defensinas, proteinasas en forma concentrada a las plantas permite potencializar la actividad funcional, por ejemplo, los inhibidores de proteasas intestinales vegetales son proteínas que logran unirse a las proteasas intestinales de los insectos formando complejos irreversibles, lo que causa enfermedad al insecto por su incapacidad de obtener aminoácidos que son los responsables de permitir el crecimiento del insecto (Emani, 2018; Kubar *et al.*, 2021).

Otro tipo de metabolitos secundario de las plantas que son ampliamente usados incluye a los flavonoides, alcaloides, cumarinas, limonenos, carotenoides, ácidos fenólicos y aceites esenciales que son aislados de diferentes partes de la planta como en el fruto, la cáscara, pulpa, semillas, tallo, hojas, raíces, etc., ejemplo de ellos es que hay plantas de maíz se han adaptado aumentando la concentración de lignina en la pared celular secundaria, creando así una barrera más resistente para digerir cuando están heridas o

infectadas con un hongo patógeno o insecto por ello es importante conocer la función de estos compuestos (Santiago *et al.*, 2013; Lv *et al.*, 2015).

Flavonoides, son un grupo de compuestos polifenólicos son nutrientes vitales, presentes en frutas y vegetales, se han reportado cerca de 4000 clases de flavonoides su principal clasificación es la flavona, flavonol, flavanona y flavanonol. Su estructura principal consta de dos anillos aromáticos conectados a un anillo de dihidropiridina, derivados de glicósido y *D*-glucosa y *L*-ramnosa. Los flavonoides se metilan formando los polymetoxiflavonas (PMFs) esto principalmente en cítricos (Vikram *et al.*, 2015).

Vitaminas y ácidos grasos, son solubles en agua a pH de neutros a ácidos, son altamente susceptibles a la oxidación por lo que el medio de extracción es ácido para evitar la oxidación y obtener un extracto efectivo.

Carotenoides, son compuestos que confieren coloración amarillo o naranja a flores, frutos y raíces, contenido en cloroplastos y cromoplastos en tono brillante, con un papel importante en la biosíntesis de la fotosíntesis y la producción de las fitohormonas, así como atraen insectos para la distribución de semillas y la polinización, ejemplo de ellos son las β -criptoxantina, luteína, luteoxantina, neocromo, ξ -caroteno, α -criptoxantina, apocarotenoide C30 β -citraurina y violaxantina, también se obtienen por la descomposición de la clorofila en frutos críticos por lo que los productores inducen

su formación con la aplicación de etileno así como someterlos a temperaturas altas o bien mantener los niveles a temperatura baja (Vikram *et al.*, 2015).

Los alcaloides son una gran familia de más de 15.000 metabolitos secundarios que tienen como características su solubilidad en agua, están confirmados por al menos un nitrógeno y la mayoría son heterocíclicos y exhiben actividad biológica. Se encuentran en el 20 % de las plantas vasculares, la mayoría dicotiledóneas herbáceas, causan toxicidad en larvas e insectos (Fishbein, 2012; Flores, 2020).

Aminas, también conocidas como proto-alcaloides, presente en gran parte de cítricos o en la familia de las Rutaceae, donde el contenido de monoaminas y poliaminas es importante como la putrescina, espermidina y esperminas en forma simple o conjugada, los cuales se encuentran frecuentemente en órganos de reproductores siendo promotores de la embriogénesis somática, así como reducen el estrés causado por daños a través del balance de la concentración de aniones (Vikram *et al.*, 2015).

Coumarinas, se ha revelado en los estudios que el dihidroxicumarina es mejor que el mohidroxycoumarina y que otros grupos como los hidroxí (OH), siendo estos los responsables de la inhibición de la tirosina en hongos comestibles (Lv *et al.*, 2015).

Serina proteasas (SP) de la familia de la quimotripsina (S1). Se involucran en

diferentes procedimientos fisiológicos como la asimilación, también la mejora y la reacción resistente de las plantas (Zou et al. 2006). Son los principales catalizadores proteolíticos relacionados con el estómago en insectos específicos y, por lo tanto, proporcionan los suplementos necesarios para la supervivencia y la fecundidad. Como ejemplo de esto se demostró que las larvas de *H. armigera* que fueron alimentadas con soja mostraron una hiperproducción de proteasas en respuesta a la inhibición de proteasa por los IP dando como resultado una disminución de su potencial para incrementar su población (Akbar et al., 2018).

Metaloproteínas son proteasas catalíticas que contienen como característica un ion metálico divalente, varían en orden de la secuencia de aminoácidos, muchas de ellas contienen zinc como sitio catalítico, pero también pueden presentar cobalto, magnesio, manganeso o níquel.

Termolisina es una metaloproteinasa bien conocida conformada con zinc, histidina y glutamina, muchas metaloproteinasas tienen la siguiente secuencia HEXXH, con ligandos de histidina para la unión de Zn. Se han reportado cerca de 30 familias metaloproteasas entre las que existen 17 endopeptidasas, exopeptidasas o mixtas, su función es disminuir la energía del insecto ocupando los aminoácidos esenciales, lo que provoca un retraso en el crecimiento del insecto (Broadway et al., 1996 Akbar et al., 2018).

Métodos analíticos usados para la detección de metabolitos secundarios

Estos metabolitos son detectados y valorados por técnicas de identificación que van desde técnicas de titulación, colorimétricas y de separación como la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), la detección de las aminas incluye la electroforesis capilar, columnas de intercambio catiónico, cromatografía de líquidos con apareamiento iónico, espectrometría de fluorescencia y UV y espectrometría de masas por electrospray (Lv, 2015; Vikram et al., 2015).

Principales fitoextractos usados

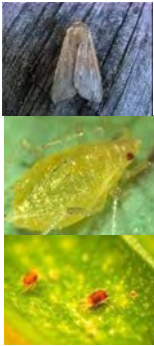
Dentro de los extractos más usados históricamente encontramos el extracto de canela y extractos de ajo, chile picante, ejercen una actividad metastásica probado en *Meloidogyne incognita*, favoreciendo el desarrollo de las plantas tratadas con extracto de: ajo y canela, mostrando también reducción en el número de agallas en la raíz, número de huevos y número de larvas (Ayvar et al., 2018). Se ha usado también

el aceite de cilantro como insecticidas por sus principales componentes de linalol contra *Triboleum castaneum*, *Lasioderma serricorne* y *Sitophilus oryzae* con una exposición de 24 hrs a una dosis de 625 µl/L causa una mortalidad del 100 % en laboratorio (Sriti *et al.*, 2017). El aceite esencial de *Foeniculum vulgare* ha presentado toxicidad para los adultos masculinos y femeninos de *C.*

maculatus con LC₅₀ en concentraciones de 390,38 µL/m². Además, el aceite de *Satureja hortensis* se reportó más tóxico para machos y hembras adultos siendo efectivo para el control del escarabajo de la semilla del caupí (Heydarzade & Moravvej, 2012). Como se aprecia en la tabla 2.1 en la actualidad hay un sin número de plantas que suelen ser usadas para control biológico.

Tabla 1. Investigaciones realizadas en la aplicación de extractos

Planta extraída	Plaga	Cultivo económico	Aplicación	Resultado	Autor
<i>Ricinus communis</i> (Higuera) <i>Dysphania ambrosioides</i> (Epazote) <i>Ocimum basilicum</i> (Albaca)	<i>Frankliniella occidentalis</i> (trips) 	<i>Phaseolus Vulgaris</i> (Ejote francés)	Infusión a campo abierto 50 días	Nocivo a la plaga	(Ajiquichí, 2013)
<i>Cymbopogon</i> <i>Citrus</i> (Zacate limón) <i>Cymbopogon</i> <i>Nardus</i> (Citronela) <i>cymbopogon</i> <i>Martinii</i> (Palmarosa)	<i>O. surinamensis</i> <i>S. zeamais</i> 	<i>Phaseolus Vulgaris</i> <i>Nicotiana tabacum</i>	Aceite esencial <i>In vitro</i> 24 hrs/ 5 dosis	Repelente	(Hernández, et al, 2015)
<i>Azadirachta indica</i> (neem) <i>Allum sativum</i> (ajo)	<i>Sitophilus zeamais</i> <i>S. oryzae</i> <i>Callosobruchus maculatus</i> 	<i>Oryza sativa</i> <i>Zea mays</i> <i>Vigna unguiculata</i>	Polvo <i>In vitro</i> 5 días / dosis diaria	La mezcla de ambos es mortal al 100% <i>S. zae</i> y <i>S. oryzae</i> y 95% para <i>C. maculatus</i>	(Onu, M, 2015)

Planta extraída	Plaga	Cultivo económico	Aplicación	Resultado	Autor
<i>Curcuma longa</i> (Curcuma) <i>Azadirachta indica</i> (neem)	<i>Necrobia sp</i> 	-----	<i>In vitro</i>	Polvo repelente al 7% más efectivo curcuma	(Lithi <i>et al</i> , 2012)
<i>Moringa oleifera</i> (moringa)	<i>Callosobruchus Maculatus</i> (Escarabajos Bruquidos) 	Semillas de Caupi	<i>In vitro</i>	Polvo de flores es nocivo	(Adenekan <i>et al</i> , 2013)
<i>Nicotiana tabacum</i> (Tabaco) Linn., <i>Solanaceae</i> (Pimiento)	Aphidoidea (pulgones) 	Hojas de vegetales	<i>In vitro</i> y en campo	Extracto por maceración en aceite al 0.1%, eficiente	(Puripatta navong <i>et al</i> ,2013)
<i>A. squamosa</i> (moringa) <i>A. gaumeri</i> (Catzin negro) <i>A. indica</i> (neem) <i>T. arborea</i> <i>C. myriantha</i> <i>P. alliaceae</i> (Hierba de ajo)	Aleyroideae (mosca blanca) 	Chile habanero	Infusión y extracto etanólico	Efectos insecticidas eficientes extractos etanólicos de <i>T. arborea</i> y <i>P. alliaceae</i> en ninfas y huevos	(Estrada <i>et al.</i> , 2013)
<i>Mosla Chinensis</i> <i>Maxib</i> (Mosla)	<i>Mythimna separata</i> (Polilla), <i>Myzus persicae</i> (pulgón), <i>Sitophilus zeamais</i> (gorgojo de Maíz), <i>Musca domestica</i> mosca doméstica y <i>Tetranychus cinnabarinus</i> ácaros 	Frijol y trigo	Aceite esencial, <i>in vitro</i> e invernadero	Eficiente insecticida contra 5 plagas	(Lu <i>et al</i> , 2020)
<i>Kion ajo</i>	<i>Helminthosp orium oryzae</i> 	Arroz	Maceración En agua por 21 días	Eficiente	(Hussain J, 2018)

Fuente: adaptación (Flores, 2020) Imágenes: google

Los fitoextractos se aplican usualmente en la mañana antes que salga el sol o en la tarde cuando el sol ya ha bajado debido a que es la forma de proteger a los insectos benéficos diurnos como las abejas, dejando que realicen sus actividades biológicas, se deben aplicar varias dosis en intervalos variables dependiendo el tipo de planta y de plaga durante 3 a 5 días y en algunos casos se combina con aceite o jabón para producir una mayor adherencia del producto (Flores, 2020).

Conclusión

Obtener conocimiento de las estrategias que se pueden realizar, así como planificarlas en forma combinada permiten tener alternativas de protección al cultivo y con ello disminuir la cantidad de sustancias químicas sintéticas, teniendo con ello cultivos en suelo más sano y libre de tóxicos. Así también conocer la naturaleza química de los componentes presentes en las plantas así como determinar en qué momento la planta puede incrementar la presencia de estos compuestos, aunado con el conocer las propiedades proteolíticas de las enzimas digestivas de las plagas de insectos, ofrece la oportunidad para desarrollar estrategias de control biorracional de las plagas en cultivos de importancia económica, adecuadas, sustentables, a través del uso de inhibidores de proteínas, producidas por las plantas.

Referencias bibliográficas

Alonso, M. J. Z. (2009). Efecto de la biofumigación y biosolarización en el control de agentes fitopatógenos (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Valencia).

Akbar, S. M. D., Jaba, J., Regode, V., Siva Kumar, G., & Sharma, H. C. (2018). Plant protease inhibitors and their interactions with insect gut proteinases.

Ayvar Serna, S., Díaz Nájera, J. F., Alvarado Gómez, O. G., Velázquez Millán, I., Peláez Arroyo, A., & Tejeda Reyes, M. A. (2018). Actividad nematocida de extractos botánicos contra *Meloidogyne incognita* (KOFOID Y WHITE) EN OKRA (*Hibiscus esculentus* L. MOENCH).

Broadway, R. M., and S. S. Duffey. 1986. Plant proteinase inhibitors: mechanism of action and effect on the growth and digestive physiology of larval *Heliothis zea* and *Spodoptera exigua*. *J Insect Physiol.* 32: 827–833.

Celis, A., Mendoza, C. F., & Pachón, M. E. (2009). Uso de extractos vegetales en el manejo integrado de plagas, enfermedades y arvenses: revisión. *Temas agrarios*, 14(1), 5–16.

Camarena-Gutiérrez, G., & De la Torre-Almaráz, R. (2007). Resistencia sistémica adquirida en plantas: estado actual. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(2), 157–162.

Corneal, K., Campbell, J., Evans, N., & Emani, C. (2018). The coevolution of the plant-insect interaction networks. In *the Biology of Plant-Insect Interactions* (pp. 74–92). CRC Press.

Emani, C. (Ed.) (2018). *The biology of plant-insect interactions: a compendium for the plant biotechnologist*. CRC Press.

Fischbein, D. (2012). Introducción a la teoría del control biológico de plagas. *Serie Técnica: Manejo Integrado de Plagas Forestales*, 1–21.

- Flores Minguillo, S. B. (2020). Revisión Bibliográfica del uso de plantas para el control de plagas y enfermedades agrícolas.
- García Roa, F. A., Mosquera, A. T., Vargas, C. A., & Rojas, L. (1999). Manejo integrado del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (JE Smith).
- García Enciso, E. L., Robledo Olivo, A., Benavides Mendoza, A., Solís Gaona, S., & González Morales, S. (2018). Efecto de elicitors de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9 (SPE20), 4212-4221.
- Godoy, H. (2012). Experiencias en biofumigación. Técnicas, efecto térmico y mejoramiento de la fertilidad del suelo. 4to. Diplomado Internacional de Horticultura Protegida. Intagri. México.
- Gutiérrez-Ramírez, A., Robles-Bermúdez, C. Santillán-Ortega, M. Ortiz-Catón, y O. J. Cambero-Campos (2013). Control biológico como herramienta sustentable de plagas y su uso en el Estado de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* 2(3): 102-112.
- Herrera, C. F., Combatt, E. M., & Jiménez, H. R. (2011). Algunas características de la entomofauna de suelos sulfatados ácidos en Córdoba, Colombia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 461-470.
- Heydarzade, A., & Moravvej, G. (2012). Contact toxicity and persistence of essential oils from *Foeniculum vulgare*, *Teucrium polium* and *Satureja hortensis* against *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae) adults. *Turkish Journal of Entomology*, 36(4), 507-518.
- INTAGRI. 2017. La Inducción de Defensa en las Plantas a través de Elicitores. Serie Fitosanidad Núm. 92. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.
- Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-induccion-de-defensa-en-las-plantas-a-traves-de-elicitores> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.

- Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 45–66.
- Jack N. Losso (2008) The Biochemical and Functional Food Properties of the Bowman-Birk Inhibitor, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48:1, 94–118, doi: 10.1080/10408390601177589
- Kedia, A., Prakash, B., Mishra, P. K., Singh, P., & Dubey, N. K. (2015). Botanicals as eco-friendly biorational alternatives of synthetic pesticides against *Callosobruchus* spp. (Coleoptera: Bruchidae)—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1239–1257.
- Kubar, M. I., Khoso, F. N., Khatri, I., Khuhro, N. H., & Gilal, A. A. (2021). Effect of different management strategies on melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), infestation in cucurbit vegetables. *Sarhad Journal of Agriculture*, 37(3), 915–920.
- Lemus Soriano B.A. (2018). Importancia del Manejo Biorracional de Plagas y Enfermedades en la Agricultura Actual. Serie Fitosanidad. Artículos Técnicos del Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. México. 2
- Lv, X., Zhao, S., Ning, Z., Zeng, H., Shu, Y., Tao, O., ... & Liu, Y. (2015). Citrus fruits as a treasure trove of active natural metabolites that potentially provide benefits for human health. *Chemistry Central Journal*, 9(1), 1–14.
- Ochoa, M. G., Llanos, L. A., & Cisneros, M. G. V. (2017). Control sustentable de insectos plaga empleando fitoextractos *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 4(1): 48–52.
- Pizarro, D., Silva, G., Tapia, M., Rodríguez, J. C., Urbina, A., Lagunes, A., & Aguilar-Medel, S. (2013). Actividad insecticida del polvo de *Peumus boldus* Molina (Monimiaceae) contra *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12(4), 420–430.
- Robayo, M. Y. D., & Gutiérrez, M. C. (2014). Mecanismos de Resistencia sistémica en plantas. *Acta Iguazu*, 3(2), 1–19. doi.: 10.48075/actaiguaz. v3i2.10277.

- Roel A, Vendramim, J. (2006). Efeito residual do extracto acetato de etila de *Trichilia pallida* Swartz (Meliaceae) para lagartas de diferentes idades de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). *Ciencia Rural* 36, 1049–1054.
- Rodríguez Hernández C. (2021). Insecticidas Vegetales, herramientas eficaces contra las plagas agrícolas. Intagri Datos Cofepris 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=zj7u1cP1nbQ&list=PL0jFPks6t4KP8a5SVgBgxGFjD2EhpE31R&index=5&t=3687s> Consultado septiembre 2021.
- Santiago, R., Barros-Rios, J., Malvar, R.A., (2013). Impact of cell wall composition on maize resistance to pests and diseases. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 6960–6980.
- Sriti Eljazi, J., Bachrouh, O., Salem, N., Msaada, K., Aouini, J., Hammami, M., ... & Mediouni Ben Jemaa, J. (2017). Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from coriander fruit against *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae*, and *Lasioderma serricorne*. *International journal of food properties*, 20(sup3), S2833–S2845.
- Terra, W. R., Ferreira, C., Jordao, B. P., & Dillon, R. J. (1996). Digestive enzymes. In *Biology of the insect midgut*. Springer, Dordrecht. 153–194.
- Vikram, A., Uckoo, R. M., Murthy, K. N. C., Patil, B. S., & Jayaprakasha, G. K. (2015). Citrus: a treasure trove of health-promoting phytochemicals. Jayaprakasha GK, Bhimanagouda S, Patil BS. *Nutraceuticals and functional foods-chemistry and health promoting properties of fruits and beverages involved in focused toward prevention of chronic diseases: encyclopedia of life support systems*. Oxford: *Eolss Publishers Co. Ltd*, 143–177.
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior*, 7(10), 1306–1320
- Zanón Alonso, MJ. (2009). Efecto de la biofumigación y biosolarización en el control de agentes fitopatógenos. Jordá Gutiérrez, MC. dir. Valencia, España.
- Zhang, Z., Temuer, B., Wang, X., Bao, S., Liu, J., & Zhao, D. (2020). Comparative transcriptome analysis between thrips-resistant and thrips-susceptible alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Capítulo III. Compartiendo conocimiento a los agricultores del estado de Puebla respecto al impacto ambiental derivado del uso de agroquímicos

Adriana Carbajal-Armenta, Elizabeth Alonso Torres,
Yolanda Elizabeth Morales-García* , Jesús Muñoz-Rojas**
<http://doi.org/10.5281/zenodo.5936317>

Grupo Ecology and Survival of Microorganisms, Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana,
Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla.

Resumen

El conjunto de tecnologías que se usan para una agricultura intensiva se ha denominado revolución verde y abarcan el manejo de fertilizantes químicos, herbicidas, pesticidas, riego sin estudios de impacto ambiental, entre otras tecnologías. A pesar del vasto conocimiento que se tiene referente a este aspecto, los agricultores de México y en especial los del Estado de Puebla no han recibido información adecuada sobre los riesgos que existen al seguir usando las tecnologías derivadas de la revolución verde. Por esta razón, con el apoyo del

CONCYTEP se desarrollaron una serie de capacitaciones para mostrar algunos de los efectos derivados del uso de agroquímicos, se invitó a los agricultores a disminuir el uso de estos agroquímicos y brindaron alternativas ecológicas y sustentables para continuar con una agricultura sana libre de compuestos tóxicos al ambiente. Especialmente se mostró el uso de inoculantes de segunda generación como alternativa para asegurar el rendimiento de los cultivos, con la disminución del uso de fertilizantes nitrogenados, pesticidas y herbicidas.

* Email autores corresponsales: *lissiamor@yahoo.com.mx; **joymerre@yahoo.com.mx

Introducción

34

En el ambiente académico científico es ampliamente conocido que muchos de los agroquímicos usados para incrementar los rendimientos de los cultivos tienen efectos adversos para la agricultura (Koli *et al.*, 2019). Esos efectos adversos pueden ir desde la contaminación de los mantos acuíferos (Horak *et al.*, 2021), impacto negativo en la salud humana (Horn *et al.*, 2020) y en el peor de los casos debilitando la capa de ozono y su concomitante efecto en el cambio climático (Pazos-Rojas *et al.*, 2016). El conjunto de tecnologías que se usan para una agricultura intensiva se ha denominado revolución verde y abarcan el manejo de fertilizantes químicos, herbicidas, pesticidas, riego sin estudios de impacto ambiental, entre otras tecnologías (Camacho, 2017). La adopción mundial de estas tecnologías se intensificó a partir de 1970 y sus efectos han repercutido a nivel mundial (Pazos-

Rojas *et al.*, 2016). A pesar del vasto conocimiento que se tiene referente a este aspecto, los agricultores de México y en especial los del Estado de Puebla no han recibido información adecuada sobre los riesgos que existen al seguir usando las tecnologías derivadas de la revolución verde. Por esta razón, en apoyo con el CONCYTEP se desarrollaron una serie de capacitaciones para mostrar algunos de los efectos derivados del uso de agroquímicos, se invitó a los agricultores a disminuir el uso de estos agroquímicos y brindaron alternativas ecológicas y sustentables para continuar con una agricultura sana libre de compuestos tóxicos al ambiente. A continuación, se muestran dos de los razonamientos que se compartieron con los agricultores de distintas regiones de los municipios de Atlixco, San Martín Texmelucan y Huejotzingo, todos del Estado de Puebla.

El uso de fertilizantes nitrogenados y su impacto en el ambiente

Sin lugar a duda, uno de los dilemas más fuertes al que nos enfrentamos a nivel mundial es si el uso de los fertilizantes nitrogenados es adecuado o no (Zhang, 2017; Singh, 2018). Si bien, éstos permiten cubrir las necesidades alimenticias, el costo ecológico y ambiental es muy caro y en la actualidad estamos viviendo sus efectos negativos a flor de piel (Savci, 2012; Srivastav, 2020).

En los cultivos agrícolas, los fertilizantes nitrogenados se aplican en varias formas químicas (Figura 3.1); cuyos nombres comerciales varían en función del fabricante. La finalidad de aplicar estos compuestos es otorgar a la planta de una fuente de nitrógeno suficiente para la nutrición de las plantas (Fernandes and Rossiello, 1995; Nurmanov *et al.*, 2019). Sin embargo, los cultivos requieren cada vez una mayor adición de fertilizantes nitrogenados, debido a la erosión que se desencadena tras realizar cultivos intensivos (Pimentel *et al.*, 1987; Singh, 2018).

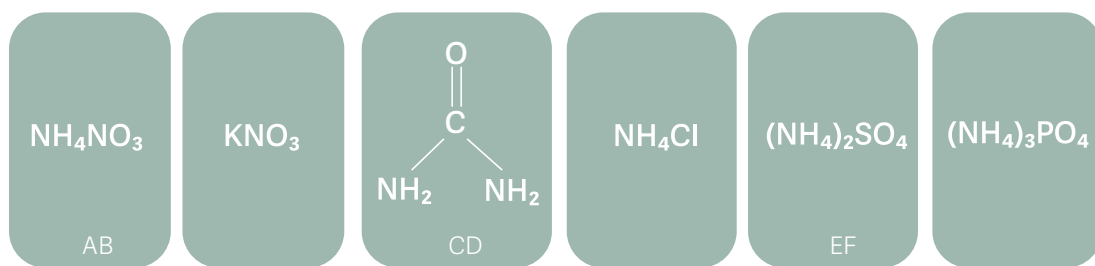


Figura 3.1. Ejemplo de formas nitrogenadas aplicadas en los cultivos agrícolas. A) Nitrato de amonio, B) nitrato de potasio, C) urea; D) Cloruro de amonio; E) sulfato de amonio y F) fosfato de amonio. Estas formas son conocidas de forma general como nitrógeno combinado.

Se ha demostrado que la aplicación de fertilizantes nitrogenados impacta negativamente en el microbioma que compone a las plantas y en consecuencia en el tipo de reacciones que se llevan a cabo en el suelo de la rizosfera (Zhu *et al.*, 2016); disminuyendo la materia orgánica y debilitando al suelo.

En acuerdo con varias investigaciones, del total de nitrógeno aplicado en un cultivo solo un porcentaje aproximado al 30 % se absorbe por las plantas, el resto se pierde por lixiviación hacia los mantos acuíferos (Tilman and Lehman, 2001; Bouwman *et al.*, 2009; Pazos-Rojas *et al.*, 2016) (Figura 3.2). La lixiviación es un proceso de lavado de compuestos químicos por arrastre del agua de lluvia (Di and Cameron, 2002). Esto produce una contaminación enorme por nitrógeno combinado de dichos mantos. En la actualidad, no se ha estudiado el

impacto directo del consumo de este tipo de agua por parte de los animales, sin embargo, se intuye que podría ser perjudicial a la salud de los seres vivos. Los mantos acuíferos alimentan a los ríos y lagunas, y el nitrógeno combinado presente en estos mantos provoca un fenómeno denominado eutrofización (Arauzo, 2010). Este fenómeno se caracteriza por tres aspectos: 1) transformación de las formas nitrogenadas a óxidos de nitrógeno; lo que consume oxígeno, 2) aparición de una fina y delgada capa de nitrógeno combinado que impide el intercambio de oxígeno al interior del agua y 3) sobrecrecimiento de plantas como lirio acuático o bien algas en las lagunas y ríos. Debido a ello, los seres vivos que habitan estos lugares, como los peces, mueren asfixiados al sufrir una disminución de oxígeno (Dodds *et al.*, 2009).

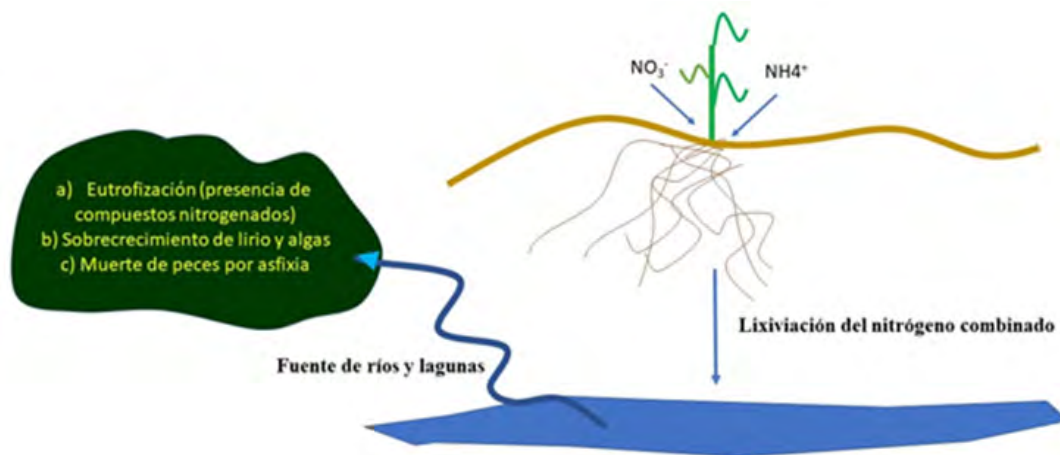


Figura 3.2. Contaminación de los mantos acuíferos por compuestos nitrogenados derivados de la agricultura y fenómeno de eutrofización en ríos y lagunas.

En las lagunas y en los ríos, los compuestos nitrogenados son convertidos en óxidos de nitrógeno diversos (Kurvits and Marta, 1998; Bouwman *et al.*, 2002), por ejemplo, el óxido de nitrógeno (V) (N_2O_5) o el óxido de nitrógeno (III) (N_2O_3). A estos compuestos se les denomina NO_x , denotando que la x es el número de oxígenos asociados al nitrógeno en función del grado de oxidación del nitrógeno. Los NO_x son compuestos volátiles que viajan a la atmósfera y que, al contacto con el agua de las nubes, reaccionan produciendo los ácidos correspondientes; por ejemplo, el ácido trioxonítrico (V) (HNO_3) y el ácido dioxonítrico (III) (HNO_2). Estos ácidos precipitan durante las lluvias, fenómeno conocido como lluvia ácida (Shammas *et al.*, 2019). La lluvia ácida es perjudicial para la agricultura, las estructuras e incluso para la salud humana (Shammas *et al.*, 2019; Grennfelt *et al.*, 2020) (Figura 3.3). Ese nitrógeno nuevamente retorna en la forma de NO_x a la atmósfera acumulándose con nuevos NO_x derivados de la lixiviación agrícola. Debido a la volatilidad de estos compuestos y a su peso molecular pequeño, pueden alcanzar a la troposfera, donde reaccionan con la capa de ozono debilitándola (Crutzen and Oppenheimer, 2008). La agricultura intensiva conduce a una contaminación enorme por compuestos NO_x que continuamente afectan a la capa de ozono, contribuyendo fuertemente al debilitamiento de la

misma y en consecuencia a que los rayos solares penetren al planeta Tierra con mayor intensidad (Almaraz *et al.*, 2018; Pillar-Little and Guzman, 2018; Nassif *et al.*, 2020). El cambio climático se ha intensificado en los últimos tiempos y en gran parte es debido al debilitamiento de la capa de ozono por los compuestos NO_x derivados de la agricultura (Pillar-Little and Guzman, 2018; Yan *et al.*, 2022) (Figura 3.3).

Si dimensionamos un poco nos daremos cuenta de que este es un problema bastante serio. Solo en México en acuerdo con la FAO se adicionan en promedio 1,200,000 Toneladas de urea por cada año, en los campos agrícolas (Figura 3.4). En acuerdo con Tilman (Tilman and Lehman, 2001), si consideramos un escenario óptimo de crecimiento de las plantas y asumimos que se absorbe un 30 % de ese fertilizante nitrogenado, significa que 800,000 Toneladas (no absorbidas) están disponibles para lixiviar los mantos freáticos y de ahí sufrir transformación química a compuestos NO_x (Almaraz *et al.*, 2018). No es difícil imaginar cómo estamos bombardeando a la troposfera con estos compuestos y como la agricultura afecta fuertemente en el cambio climático del planeta.

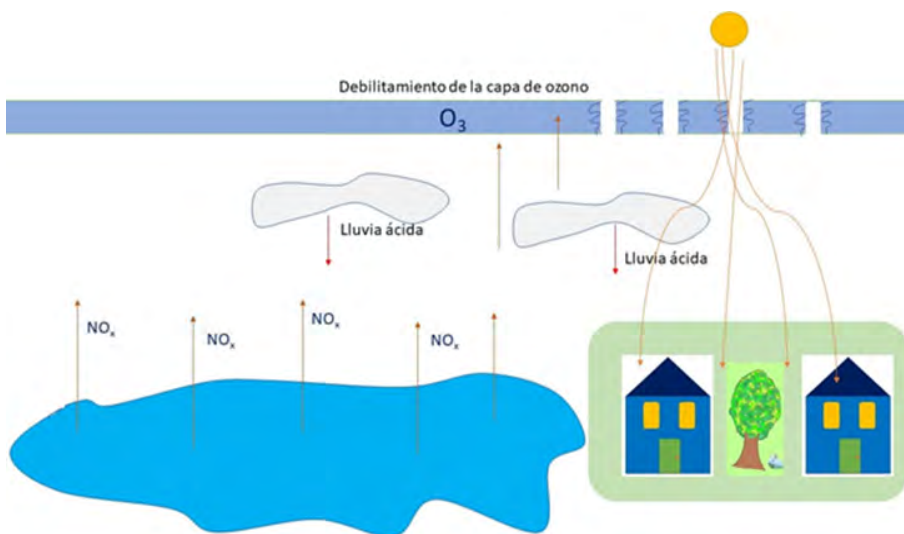


Figura 3.3. Representación de la generación de óxidos de nitrógeno (NO_x) en lagos eutrofizados, su reacción con agua de las nubes (lluvia ácida) y sus efectos sobre la capa de ozono.

38

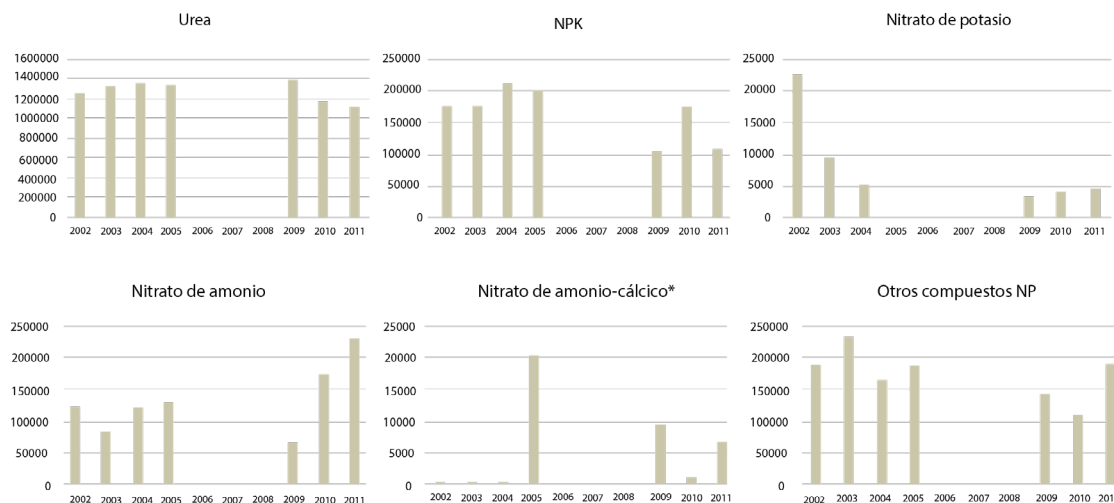


Figura 3.4. Análisis de la cantidad de fertilizante nitrogenado en México en el periodo 2002 a 2011. Los valores están graficados en Toneladas. Los datos fueron tomados de la base de datos de la FAO (<http://www.fao.org/faostat/es/#data/RFB>). Los años donde no hay barras es debido a que no se tienen datos disponibles en la FAO.

Este razonamiento se practicó con los agricultores de Puebla, ellos fueron muy perceptivos para entender el problema al que se enfrenta el planeta (Figura 3.5). Además, se realizó un ejercicio, donde se preguntó a los agricultores asistentes ¿Cuál es el número de bultos de urea o de otros compuestos nitrogenados que adicionan?, la respuesta fue que ellos adicionan desde 4 bultos por hectárea hasta 12 bultos por hectárea en un ciclo de cultivo. Las regiones de riego logran hacer dos ciclos o hasta tres ciclos. La respuesta más recurrente fue que usan 8-9 bultos por hectárea por cada ciclo de cultivo, lo que implicaría 6 bultos aproximadamente se lixivian y pueden transformarse en NO_x tras la eutrofización. ¿Te imaginas la cantidad de compuestos NO_x que se generan en Puebla? Es un panorama bastante desalentador.

Fue interesante interaccionar de viva voz con los agricultores poblanos, hubo de todo, preguntas interesantes, descontento por no conocer con anterioridad estos temas, pero lo más importante, ellos mismos querían saber cómo podemos contribuir a mejorar la calidad de vida del planeta. En nuestro punto de vista esto se generó porque entendieron que son los protagonistas de este problema y que podrían impactar positivamente haciendo modificaciones en sus actividades agrícolas. Sin embargo, antes de pasar a las soluciones para este problema, se analizó un segundo inconveniente que afecta a la salud de los seres vivos, la contaminación por compuestos xenobióticos, en especial los pesticidas y herbicidas (Rashid *et al.*, 2010).



Figura 3.5. Ejemplo de charla a los agricultores del estado de Puebla. Es importante resaltar que estuvieron muy atentos al mensaje científico que se les entregó.

Los pesticidas y herbicidas un problema para la salud humana

Los pesticidas y herbicidas son productos químicos que han llegado a la agricultura con el propósito de resolver problemas que afectan a las plantas, como las plagas, enfermedades y malas hierbas (Rashid *et al.*, 2010). Es una forma práctica de controlar a los enemigos de las plantas, que evita trabajo físico para los agricultores, razón por la que se ha adoptado por la gran mayoría de ellos. Lamentablemente su toxicidad y permanencia en los suelos ha sido un tema de debate en los últimos años (Mahmood *et al.*, 2016; Choudri *et al.*, 2018); en especial porque la mayoría de estos productos químicos resultan adversos para la salud de los seres vivos y en particular de los humanos (Blair *et al.*, 2015).

Hay trabajos que han analizado la cantidad de pesticidas y herbicidas aplicados en las distintas regiones del mundo, por ejemplo, en Sinaloa dependiendo del tipo de cultivo y la región, se adicionan varios de estos compuestos (Hernández-Antonio and Hansen, 2011). En Puebla no tenemos registro de este tipo de trabajos, pero en entrevista con los agricultores de las regiones visitadas, todos adicionan una gran cantidad de pesticidas y herbicidas. En nuestra opinión falta trabajo que documente el tipo de herbicidas y pesticidas adicionados a los cultivos agrícolas de Puebla y que esa información sea de

acceso libre para toda la población, para concientizar acerca de las consecuencias a la salud que pueden ocasionar.

Un problema grave es que tanto los pesticidas como los herbicidas pueden ser lixiviados hacia mantos acuíferos, contaminando los ríos, lagos y otros cuerpos de agua, predisponiendo a los seres vivos que están en contacto con el agua de esos efluentes (Münze *et al.*, 2017). Por otro lado, tanto los pesticidas como los herbicidas han sido localizados en los frutos y alimentos de origen animal como la leche (Pastor Ciscato *et al.*, 2002; Kumari *et al.*, 2006; Fenik *et al.*, 2011; Akhtar and Ahad, 2017), incrementando la probabilidad de que estos contaminantes impacten negativamente sobre la salud de la población que los consume. Además, la predisposición de pesticidas y herbicidas ya sea por estar en contacto directo al aplicarlos en la agricultura, el consumo de agua o de alimentos contaminados con estos compuestos, es una causa cada vez más documentada de cáncer y otros desórdenes en la salud humana (Sabarwal *et al.*, 2018; Han *et al.*, 2019; Rani *et al.*, 2021).

Los agricultores que fueron visitados ya tenían noción de lo peligroso que son los pesticidas y herbicidas, por lo que no fue difícil hacer una reflexión que los concientizó para ya no hacer uso de estos compuestos o por lo menos de reducir su uso en caso de que realmente se requieran. Sin embargo, se viene la pregunta ¿Qué alternativas tenemos para evitar el uso de estos compuestos tan tóxicos?

La propuesta para solucionar el problema

Como parte de la solución se expusieron dos alternativas para evitar el uso de pesticidas y herbicidas, la primera es usar extractos de plantas que evitan el crecimiento de plantas, es una estrategia preventiva y se ha considerado en el capítulo anterior. La segunda alternativa es el uso de bacterias benéficas para la agricultura que se explicará a continuación.

Las bacterias son los colonizadores primarios de este planeta y gracias a ellas los sistemas geoquímicos y los diversos organismos funcionan (Morales-García *et al.*, 2010). En la actualidad, se conoce la importancia de los microbiomas para el buen funcionamiento de las plantas (Amaya Zambrano, 2020; Mahadevakumar and Sridhar, 2020; Mokrani and El-Hafid, 2020). Los microbiomas se definen como el conjunto de microorganismos y funciones que desempeñan en un ser vivo superior (Alfaro Santiesteban, 2021). Dentro de los microbiomas las bacterias desempeñan funciones muy importantes (Dolores Raymundo, 2021). Sin las bacterias, no podríamos desarrollar nuestras funciones biológicas, por ejemplo, ellas son responsables de la degradación de compuestos tóxicos que se ingieren por el humano (Pedraza-Pérez *et al.*, 2017). De hecho, en el caso de los humanos, los microbiomas son necesarios para

mantener la salud (Gilbert *et al.*, 2018), un punto interesante que ha desencadenado diversas investigaciones de frontera.

Dentro de los microbiomas de las plantas existen bacterias que desempeñan funciones que permiten una buena salud para ellas (Mahadeva Kumar and Sridhar, 2020). Desde tiempos pasados se han aislado bacterias con funciones que potencian el crecimiento de las plantas. Los mecanismos por los cuales éstas promueven el crecimiento de las plantas se abordarán en el capítulo siguiente, pero de forma general pueden ser directos e indirectos (Molina-Romero *et al.*, 2015). Estas bacterias se han usado para formular inoculantes mono-especie (con un solo tipo de bacteria), co-inoculantes (dos especies) o inoculantes multi-especie (con más de tres especies de microorganismos) (Morales-García *et al.*, 2019). El propósito del desarrollo de estos inoculantes es que los agricultores los puedan usar para promover el crecimiento de plantas en condiciones de campo (Vivanco-Calixto *et al.*, 2016). Muchas bacterias ya están disponibles para comercializarse y aprovechar sus beneficios. Las bacterias benéficas podrían aprovecharse porque ellas tienen varias funciones que evitarían el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, así como evitarían el uso de compuestos tóxicos como los pesticidas y los herbicidas (Baez-Rogelio *et al.*, 2017). Entre las bacterias con propiedades beneficiosas para las plantas, con capacidades de promoción

de crecimiento y biorremediación se encuentran las siguientes: *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas putida*, *Paraburkholderia unamae*, *Sphingomonas sp.*, *Rhizobium etli*, entre otras (Morales-García *et al.*, 2019). En el periodo de 2010-2013, se ha documentado, que el uso de formulaciones con dos o más especies microbianas es más efectivo para promover el crecimiento de plantas que las formulaciones con una sola especie (Molina-Romero *et al.*, 2015). Más recientemente se han desarrollado inoculantes de segunda generación que contienen bacterias compatibles, con funciones diversas y que promueven el crecimiento de plantas de forma más efectiva y que son capaces de reducir la cantidad de compuestos tóxicos (pesticidas y herbicidas) presentes en el suelo (Baez-Rogelio *et al.*, 2017; Morales-García *et al.*, 2020). Además, las cepas de estos inoculantes permiten que las plantas estén más sanas, porque contienen cepas que inducen la respuesta de defensa en plantas y ejercen un antimicrobiano directo (Molina-Romero *et al.*, 2015; Cesa-Luna *et al.*, 2020). En las charlas a los agricultores del Estado de Puebla, se les capacitó para entender porque los inoculantes de segunda generación son la mejor alternativa para incrementar el rendimiento de los cultivos de una forma económica y amigable con el medio ambiente. La aplicación de estos inoculantes permite disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados y evita el uso de pesticidas y herbicidas sin disminuir el

rendimiento de los cultivos, manteniendo las plantas sanas y protegidas contra patógenos (Morales-García *et al.*, 2019; Morales-García, *et al.*, 2020; Molina-Romero *et al.*, 2021).

Conclusión

El uso de fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas provocan efectos adversos al ambiente y a la salud humana. Es urgente disminuir su aplicación en la agricultura mundial para evitar la contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud humana como el cáncer. Para ello, se requieren de alternativas efectivas que acompañen a la decisión de los agricultores para optar por una agricultura más amigable con el medio ambiente. Los inoculantes de segunda generación contienen bacterias benéficas compatibles que promueven el crecimiento de plantas, degradan compuestos tóxicos y mantienen a las plantas más sanas, permitiendo rendimientos elevados de los cultivos a pesar de un uso moderado de fertilizantes nitrogenados y disminución del uso de pesticidas y herbicidas. Por esta razón, el uso de los inoculantes de segunda generación fue recomendado a los agricultores del Estado de Puebla con el fin de que en el futuro la agricultura poblana sea libre de compuestos tóxicos y manteniendo una productividad elevada para cubrir las necesidades alimentarias de la población.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido por CONCYTEP para el desarrollo de nuestro proyecto. También agradecemos a la VIEP-BUAP por el acompañamiento y apoyo en nuestro desarrollo científico.

Referencias bibliográficas

Akhtar, S. and Ahad, K. (2017) Pesticides Residue in Milk and Milk Products: Mini Review. *Pakistan J Anal Environ Chem* **18**: 37–45.

Alfaro Santiesteban, P.F. (2021) 18–11–2021 Uso de los microbiomas para incremento de calidad de lácteos y carne en modelos rumiantes. In, Morales–García, Y.E. (ed), *Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas*. Puebla, México: APCM, p. Sesión 203.

Almaraz, M., Bai, E., Wang, C., Trousdell, J., Conley, S., Faloona, I., and Houlton, B.Z. (2018) Agriculture is a major source of NO₂ and PM_{2.5} pollution in California. *Sci Adv* **4**: eaao3477.

Amaya Zambrano, N. (2020) 3–10–2020 Ponencia sobre la patente: “Un proceso de construcción de microbiomas funcionales específicos para promover el crecimiento de las plantas, la salud de las plantas y el suelo, el control biológico y la biorremediación.” In, BUAP, J.M.–R. (Instituto de C. (ed), *Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas*. Puebla, México: APCM, p. Sesión 142.

Arauzo, M. (2010) Effect of nitrogen fertilization excess on the water resources quality. A case in the Oja–Tirón basin (La Rioja, Castilla y León). *Tierras Castilla y León Agric* **172**: 129.

Baez–Rogelio, A., Morales–García, Y.E., Quintero–Hernández, V., and Muñoz–Rojas, J. (2017) Next generation of microbial inoculants for agriculture and bioremediation. *Microb Biotechnol* **10**: 19–21.

Blair, A., Ritz, B., Wesseling, C., and Beane Freeman, L. (2015) Pesticides and human health. *Occup Environ Med* **72**: 81 LP – 82.

Bouwman, A.F., Beusen, A.H.W., and Billen, G. (2009) Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970–2050. *Global Biogeochem Cycles* **23**:

- Bouwman, A.F., Van Vuuren, D.P., Derwent, R.G., and Posch, M. (2002) A Global Analysis of Acidification and Eutrophication of Terrestrial Ecosystems. *Water Air Soil Pollut* **141**: 349–382.
- Camacho, E.C. (2017) “Green Revolution” Agriculture and land, contributions and controversies. *Rev la Carrera Ing Agronómica - UMSA* **3**: 844–859.
- Cesa-Luna, C., Baez, A., Quintero-Hernández, V., De la Cruz-Enríquez, J., Castañeda-Antonio, M.D., and Muñoz-Rojas, J. (2020) The importance of antimicrobial compounds produced by beneficial bacteria on the biocontrol of phytopathogens. *Acta Biológica Colomb* **25**: 140–154.
- Choudri, B.S., Charabi, Y., and Ahmed, M. (2018) Pesticides and Herbicides. *Water Environ Res* **90**: 1663–1678.
- Crutzen, P.J. and Oppenheimer, M. (2008) Learning about ozone depletion. *Clim Change* **89**: 143–154.
- Di, H.J. and Cameron, K.C. (2002) Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutr Cycl Agroecosystems* **64**: 237–256.
- Dodds, W.K., Bouska, W.W., Eitzmann, J.L., Pilger, T.J., Pitts, K.L., Riley, A.J., et al. (2009) Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages. *Environ Sci Technol* **43**: 12–19.
- Dolores Raymundo, H.G. (2021) 17-11-2021 Exploración de microbiomas en animales (B). In, Morales-García, Y.E. (ed), *Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas*. Puebla, México: APCM, p. Sesión 202.
- Fenik, J., Tankiewicz, M., and Biziuk, M. (2011) Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *TrAC Trends Anal Chem* **30**: 814–826.
- Fernandes, M.S. and Rossiello, R.O.P. (1995) Mineral Nitrogen in Plant Physiology and Plant Nutrition. *CRC Crit Rev Plant Sci* **14**: 111–148.

Gilbert, J.A., Blaser, M.J., Caporaso, J.G., Jansson, J.K., Lynch, S. V, and Knight, R. (2018) Current understanding of the human microbiome. *Nat Med* **24**: 392–400.

Grennfelt, P., Engleryd, A., Forsius, M., Hov, Ø., Rodhe, H., and Cowling, E. (2020) Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy. *Ambio* **49**: 849–864.

Han, M.A., Kim, J.H., and Song, H.S. (2019) Persistent organic pollutants, pesticides, and the risk of thyroid cancer: systematic review and meta-analysis. *Eur J Cancer Prev* **28**..

Hernández-Antonio, A. and Hansen, A.M. (2011) Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Rev Int Contam Ambient* **27**: 115–127.

Horak, I., Horn, S., and Pieters, R. (2021) Agrochemicals in freshwater systems and their potential as endocrine disrupting chemicals: A South African context. *Environ Pollut* **268**: 115718.

46 — Horn, S., Pieters, R., and Bøhn, T. (2020) May agricultural water sources containing mixtures of agrochemicals cause hormonal disturbances? *Sci Total Environ* **711**: 134862.

Koli, P., Bhardwaj, N.R., and Mahawer, S.K. (2019) Agrochemicals: Harmful and Beneficial Effects of Climate Changing Scenarios. In, Choudhary, K.K., Kumar,A., and Singh,A.K.B.T.-C.C. and A.E. (eds), *Climate Change and Agricultural Ecosystems. Current Challenges and Adaptation*. Woodhead Publishing, pp. 65–94.

Kumari, B., Madan, V.K., and Kathpal, T.S. (2006) Monitoring of Pesticide Residues in Fruits. *Environ Monit Assess* **123**: 407–412.

Kurvits, T. and Marta, T. (1998) Agricultural NH₃ and NO_x emissions in Canada. *Environ Pollut* **102**: 187–194.

Mahadevakumar, S. and Sridhar, K.R. (2020) Plant-Microbe Interaction: Current Developments and Future Challenges. In, Yadav,A.N., Rastegari,A.A., Yadav,N., and Kour,D. (eds), *Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture: Diversity and Biotechnological Applications*. Singapore: Springer Singapore, pp. 1–38.

- Mahmood, I., Imadi, S.R., Shazadi, K., Gul, A., and Hakeem, K.R. (2016) Effects of Pesticides on Environment BT - Plant, Soil and Microbes: Volume 1: Implications in Crop Science. In, Hakeem, K.R., Akhtar, M.S., and Abdullah, S.N.A. (eds). Cham: Springer International Publishing, pp. 253–269.
- Mokrani, S. and El-Hafid, N. (2020) Rhizospheric Microbiome: Biodiversity, Current Advancement and Potential Biotechnological Applications BT - Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture: Diversity and Biotechnological Applications. In, Yadav, A.N., Rastegari, A.A., Yadav, N., and Kour, D. (eds). Singapore: Springer Singapore, pp. 39–60.
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. del R., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y.E., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., and Muñoz-Rojas, J. (2015) Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias , aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas* **17**: 24–34.
- Molina-Romero, D., Juárez-Sánchez, S., Venegas, B., Ortiz-González, C.S., Baez, A., Morales-García, Y.E., and Muñoz-Rojas, J. (2021) A Bacterial Consortium Interacts With Different Varieties of Maize, Promotes the Plant Growth, and Reduces the Application of Chemical Fertilizer Under Field Conditions. *Front Sustain Food Syst* **4**:
- Molina-Romero, D., Morales-García, Y.E., Bustillos-Cristales, M.R., Rodríguez-Andrade, O., Santiago-Saenz, Y., Muñoz-Rojas, J., and Castañeda-Lucio, M. (2015) Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias , aislamientos en América y potencial biotecnológico Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias , aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Rev la DES Ciencias Biológico Agropecu* **17** (2): 24–34.
- Morales-García, Y.-E., Duque, E., Rodríguez-Andrade, O., de la Torre, J., Martínez-Contreras, R.-D., Pérez, R., and Muñoz-Rojas, J. (2010) Bacterias Preservadas, una Fuente Importante de Recursos Biotecnológicos. *Bio Tecnol* **14**: 11–29.
- Morales-García, Y.E., Baez, A., Juárez-Hernández, D., Hernández-Tenorio, A.-L., and Muñoz-Rojas, J. (2020) Inoculantes de segunda generación como alternativa de solución para mitigar el cambio climático. In, *Seminarios del grupo Ecology and Survival of Microorganisms.*, pp. 1–2.

Morales-García, Y.E., Baez, A., Quintero-Hernández, V., Molina-Romero, D., Rivera-Urbalejo, A.P., Pazos-Rojas, L.A., and Muñoz-Rojas, J. (2019) Bacterial mixtures, the future generation of inoculants for sustainable crop production. In, Maheshwari, D.K. and Dheeman, S. (eds), *Field Crops: Sustainable Management by PGPR*. Cham: Springer International Publishing, pp. 11–44.

Morales-García, Y.E., Juárez-Hernández, D., Hernández-Tenorio, A.-L., Muñoz-Morales, J.M., Baez, A., and Muñoz-Rojas, J. (2020) Inoculante de segunda generación para incrementar el crecimiento y salud de plantas de jardín. *Alianzas y Tendencias BUAP* 5: 136–154.

Münze, R., Hannemann, C., Orlinskiy, P., Gunold, R., Paschke, A., Foit, K., et al. (2017) Pesticides from wastewater treatment plant effluents affect invertebrate communities. *Sci Total Environ* 599–600: 387–399.

Nassif, W.G., Al-Taai, O.T., and Abbood, Z.M. (2020) The Influence of Solar Radiation on Ozone Column Weight over Baghdad City. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 928: 72089.

48 — Nurmanov, Y.T., Chernenok, V.G., and Kuzdanova, R.S. (2019) Potato in response to nitrogen nutrition regime and nitrogen fertilization. *F Crop Res* 231: 115–121.

Pastor Ciscato, C.H., Gebara, A.B., and de Souza Spinosa, H. (2002) Pesticide residues in cow milk consumed in São Paulo city (Brazil). *J Environ Sci Heal Part B* 37: 323–330.

Pazos-Rojas, L.A., Marín-Cevada, V., Elizabeth, Y., García, M., and Baez, A. (2016) Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Rev Iberoam Ciencias* 3: 72–85.

Pedraza-Pérez, Y., Morales-García, Y.E., Bustillos-Cristales, M. del R., Fuentes-Ramírez, L.E., Carreño-López, R., Baez, A., and Muñoz-Rojas, J. (2017) Platillos típicos mexicanos como fuente de compuestos antimicrobianos y de microorganismos benéficos. *Alianzas y Tendencias BUAP* 2: 6–13.

Pillar-Little, E.A. and Guzman, M.I. (2018) An Overview of Dynamic Heterogeneous Oxidations in the Troposphere. *Environ* 5:.

- Pimentel, D., Allen, J., Beers, A., Guinand, L., Linder, R., McLaughlin, P., et al. (1987) World Agriculture and Soil Erosion. *Bioscience* **37**: 277–283.
- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A.S., et al. (2021) An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *J Clean Prod* **283**: 124657.
- Rashid, B., Husnain, T., and Riazuddin, S. (2010) Herbicides and Pesticides as Potential Pollutants: A Global Problem BT – Plant Adaptation and Phytoremediation. In, Ashraf, M., Ozturk, M., and Ahmad, M.S.A. (eds). Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 427–447.
- Sabarwal, A., Kumar, K., and Singh, R.P. (2018) Hazardous effects of chemical pesticides on human health–Cancer and other associated disorders. *Environ Toxicol Pharmacol* **63**: 103–114.
- Savci, S. (2012) Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. *APCBEE Procedia* **1**: 287–292.
- Shammas, N.K., Wang, L.K., and Wang, M.-H.S. (2019) Sources, Chemistry and Control of Acid Rain in the Environment. In, *Handbook of Environment and Waste Management*, Handbook of Environment and Waste Management. WORLD SCIENTIFIC, pp. 1–26.
- Singh, B.- (2018) Are Nitrogen Fertilizers Deleterious to Soil Health? *Agron* **8**..
- Srivastav, A.L. (2020) Chemical fertilizers and pesticides: role in groundwater contamination. In, Prasad Treatment and Remediation, M.N.V.B.T.-A.D. (ed), *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation. Pesticides and Chemical Fertilizers*. Butterworth-Heinemann, pp. 143–159.
- Tilman, D. and Lehman, C. (2001) Human-caused environmental change: Impacts on plant diversity and evolution. *Proc Natl Acad Sci* **98**: 5433 LP – 5440.
- Vivanco-Calixto, R., Molina-Romero, D., Morales-García, Y.E., Quintero-Hernández, V., Munive-Hernández, J.A., Baez-Rogelio, A., and Muñoz-Rojas, J. (2016) Reto agrobiotecnológico: inoculantes bacterianos de segunda generación. *Alianzas y Tendencias BUAP* **1**: 1–10.

Yan, C., Nie, W., Vogel, A., Dada, L., Lehtipalo, K., Stolzenburg, D., et al. (2022) Size-dependent influence of NO_x on the growth rates of organic aerosol particles. *Sci Adv* **6**: eaay4945.

Zhang, X. (2017) A plan for efficient use of nitrogen fertilizers. *Nature* **543**: 322–323.

Zhu, S., Vivanco, J.M., and Manter, D.K. (2016) Nitrogen fertilizer rate affects root exudation, the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize. *Appl Soil Ecol* **107**: 324–333.

CAPÍTULO IV. INOCREP: inoculante de segunda generación

Yolanda Elizabeth Morales-García^{1,4*} [iD](#), Edgar Tonatiuh Sánchez-Navarrete² [iD](#), Eric Romero Navarro¹, América Paulina Rivera-Urbalejo^{3,4} [iD](#)
<http://doi.org/10.5281/zenodo.5936350>

Resumen

La aplicación de herbicidas, pesticidas y fertilizantes químicos en la producción de productos del campo ha provocado una acumulación de compuestos contaminantes a lo largo de décadas. Aunque en un principio estos productos implicaron un aumento del rendimiento en la producción de los cultivos, posteriormente se ha observado su impacto negativo en el medio ambiente y la generación de enfermedades silenciosas como lo es el cáncer.

El desarrollo de los inoculantes de segunda generación ha permitido un avance biotecnológico, que permitirá una productividad agrícola más sana y libre de compuestos contaminantes. En este capítulo se muestra cómo se diseñaron estos inoculantes y ejemplos de su aplicación.

51

¹ Lic. en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas BUAP.

² Lic. en Químico Farmacobiólogo, Facultad de Ciencias Químicas BUAP.

³ Lic. en Estomatología, Facultad de Estomatología BUAP.

⁴ Grupo "Ecology and Survival of Microorganisms" Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Instituto de Ciencias, BUAP.

Email autor corresponsal: *lissiamor@yahoo.com.mx

Introducción

La contaminación por productos para el campo como lo son los insecticidas, herbicidas y fertilizantes se han ido acumulando por más de 80 años; a partir de la revolución verde que proponía la producción masiva de los cultivos agrícolas, con la esperanza de finalizar la escasez de los alimentos a nivel mundial (Pazos-Rojas *et al.*, 2016). Esto trajo consigo consecuencias desagradables para el medio ambiente, en las que podemos enumerar: 1) el aumento del consumo de fertilizantes químicos a los campos donde el 40 % es aprovechado por las plantas y el resto es lixiviado a los mantos freáticos, 2) la producción de fertilizantes químicos requieren del uso de energía proveniente del petróleo; lo que implica contaminación por hidrocarburos, 3) el aumento de la utilización de fertilizantes químicos a los campos de cultivo para sostener los rendimientos deseados (Pazos-Rojas *et al.*, 2016; Perkins, 1990), estas acciones han ocasionado que los campos agrícolas se encuentren contaminados debido a la prácticas agrícolas y tal vez se lleve el doble de tiempo para poder restablecer las características de un campo saludable.

Hoy tenemos la oportunidad de buscar la salud de los campos agrícolas; disminuyendo la aplicación de herbicidas, pesticidas y fertilizantes químicos con la ayuda de los microorganismos benéficos, ya sean bacterias (Rivera-Urbalejo *et al.*, 2019), hongos (Mujica Pérez & Fuentes Martínez, 2012) o algas (Zermeño-González *et al.*, 2015).

Un breve semblante del desarrollo de inoculantes

Los inoculantes son formulaciones que contienen uno o más microorganismos benéficos contenidos en un acarreador; cuya función del acarreador es la de mantener viables a los microorganismos desde el laboratorio donde son producidos hasta el campo donde se desean sus beneficios (Bashan, 1998). En función del tipo de microorganismos que porta el inoculante estos pueden ser llamados con distintos nombres (Molina-Romero *et al.*, 2015), por ejemplo, los que contienen bacterias fijadoras de nitrógeno que aportan este nutriente esencial son llamados biofertilizantes, los que contienen bacterias que solubilizan fósforo son llamados biosolubilizantes, aquellos que contienen microorganismos que realizan biorremediación se denominan biorremediantes y los que contienen microorganismos que producen hormonas como el ácido indol acético se denominan fitoestimulantes.

Bashan en 1998, propone que los estudios que deben hacerse para formular un monoinoculante son: 1) Elección de una cepa competitiva para el ambiente en el que será aplicada. 2) Deben ser microorganismos con la capacidad de promover el crecimiento de las plantas e incrementar el rendimiento del cultivo; cuyos mecanismos ya se hayan determinado. 3) Los microorganismos

deben tener la capacidad de colonizar a las plantas ya sea a nivel de rizosfera, raíces, endofíticamente o en la superficie (Bashan, 1998).

Con estas características surgieron los primeros inoculantes y en México uno de los primeros fue desarrollado a base de *Azospirillum brasilense* (Fuentes-Ramírez y Caballero-Mellado, 1995).

Posteriormente se observó que microorganismos en coinoculación pueden ser más efectivos para promover el crecimiento de plantas y varias combinaciones conteniendo dos microorganismos de especies diferentes fueron exploradas, por ejemplo, la de *Azospirillum brasilense* con hongos micorrícicos, *Azospirillum brasilense* con *Rhizobium etli*, *Bacillus* sp. con *Pseudomonas* sp. entre otras (Molina-Romero *et al.*, 2015).

Nacimiento de los inoculantes de segunda generación

Los inoculantes de primera generación ya sea de tipo monoinoculante o coinoculante han mostrado resultados variables de efectividad en campo, para promover el crecimiento de plantas. Por ejemplo, las formulaciones a base de *A. brasilense* han mostrado ser efectivos en aproximadamente un 70 % de los casos a donde se han aplicado (Fuentes-Ramírez and Caballero-Mellado, 2005).

Sin embargo, algunas formulaciones han tenido menos éxito como aquellas a base de *Pseudomonas* sp. Para aumentar la probabilidad de éxito de los inoculantes se planeó un diseño de ellos basado en 8 aspectos que se mencionaran adelante; pero entre los que destaca el hecho de que las bacterias benéficas no se deben mezclar sin tener conocimiento de sus relaciones inhibitorias (Vivanco-Calixto *et al.*, 2016). Por esta razón se dice que estos inoculantes contienen bacterias compatibles. Es importante mencionar que los inoculantes de segunda generación permiten excelentes rendimientos de los cultivos a pesar de que se disminuye la aplicación de fertilizantes nitrogenados al 50 % (Molina-Romero *et al.*, 2021).

54 — Este conocimiento se ha ido ampliando en función de los diferentes trabajos de varios grupos de investigación a nivel mundial. En el grupo de Ecología Molecular Microbiana del CICM-ICUAP, se han desarrollado inoculantes de segunda generación, que son inoculantes bacterianos constituidos por cuatro especies o más pertenecientes a géneros bacterianos diferentes. Un ejemplo de estos inoculantes de segunda generación desarrollados en la BUAP es la formulación INOCREP® (Muñoz Rojas *et al.*, 2013), que está compuesta por 6 especies bacterianas benéficas diferentes, compatibles entre sí y con mecanismos promotores de crecimiento variados y otras capacidades como biorremediación, producción de sustancias inhibitorias,

desencadenamiento de respuesta de defensa en plantas. La ficha técnica de este producto se puede encontrar en el siguiente enlace (<https://inocrep.blogspot.com/2020/06/inoculante-multiespecies-inocrep.html>).

Capacidades de INOCREP® y su diseño

INOCREP® es capaz de promover el crecimiento de las plantas de interés agrícola, aumentar el rendimiento del cultivo, provocar en las plantas la defensa contra patógenos, mantener a la planta saludable en procesos de estrés como la falta de agua o bajas temperaturas. Para su diseño se realizaron 8 estudios adicionales a nivel de laboratorio, respecto a los inoculantes de primera generación: 1) se evaluó la compatibilidad de las cepas bacterianas; 2) se desarrollaron experimentos de tolerancia a diferentes tipos de estrés, como lo es la desecación, salinidad o cambios de temperatura; 3) se realizó el diseño de consorcios con características específicas como son la de promover el crecimiento de plantas o que produzcan alguna sustancia inhibitoria contra patógenos; 4) se llevó a cabo el diseño de medios de selección para cada una de las cepas involucradas en el consorcio a evaluar, con la intención de poder cuantificar cada una de ellas de manera individual en las dinámicas de población

en interacción con plantas de interés agrícola; 5) se realizaron metodologías para una identificación molecular rápida, para tener una herramienta confirmatoria de la identificación molecular de cada una de las cepas que constituyen un consorcio bacteriano; 6) se evaluó la capacidad de las bacterias del consorcio para interactuar con plantas, ya sea en forma de consorcio o de forma individual; 7) se evaluó la capacidad de promoción de crecimiento de las bacterias a nivel de laboratorio, de invernadero y en campo; y por último 8) se llevó a cabo la aplicación del consorcio bacteriano en diferentes modelos de plantas y en diferentes condiciones de campo (Morales-García *et al.*, 2020).

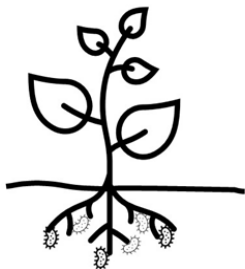
INOCREP® ha sido evaluado en planta de interés agrícola como el maíz, tomate, pepino y en flores de interés económico, por ejemplo; la flor de nochebuena, la flor de cempasúchil y diferentes tipos de especies de suculentas, en todos los casos con resultados exitosos para la promoción del crecimiento de las plantas (Morales-García *et al.*, 2019).

Por otra parte, las bacterias que habitan en la rizosfera de las plantas se les han clasificado en tres grupos: el primero considera bacterias que son benéficas para las plantas, en este grupo se consideran a los microorganismos que poseen mecanismos que ayudan al crecimiento de las plantas, por ejemplo, debido a la producción de fitohormonas que ayudan en la promoción del crecimiento y elongación de las raíces,

tallos y hojas de la planta, o por la producción de enzimas específicas de parte de estos microorganismo que ayudan a disminuir la concentración de sustancias recalcitrantes como los herbicidas, pesticidas o plaguicidas; ya que estas enzimas descomponen a estos compuestos contaminantes. La producción de sideróforos por parte de los microorganismos hace que compitan por espacio y alimento contra otros microorganismos que podrían ser patógenos para las plantas. El segundo grupo considera a las bacterias neutras para las plantas y el tercer grupo son bacterias que se consideran patógenas (Molina-Romero *et al.*, 2015), de estos grupos podemos hablar poco, pues aún no se sabe cuáles son sus funciones en la rizosfera.

Estas características en conjunto se han considerado en la formulación de INOCREP® ya que las bacterias que lo conforman fueron seleccionadas con el propósito de ayudar al desarrollo de la planta, es decir tienen mecanismos promotores del crecimiento vegetal. Las bacterias que conforman INOCREP® tienen una excelente capacidad de adherencias a semillas, por lo que no requieren de adherentes para poder llevar a cabo la colonización de la superficie de la semilla y posteriormente en la rizosfera de la planta.

Inoculantes de segunda generación



Aumenta el desarrollo de la planta que los inoculantes convencionales



Son económicos



Los microorganismos tienen mecanismos de adhesión y colonización y por tanto no requieren de adherentes

Foto 4.1. Beneficios de los inoculantes de segunda generación.

Ejemplos de plantas inoculadas con INOCREP®

56

Experimentos de plantas desarrolladas en invernaderos como el pepino (*Cucumis sativus*) en Cuautla, Morelos en 2019 (Foto 4.2.), nos permite observar la producción en baja concentración de fertilizante químico, destacando que la aplicación de INOCREP® es sencilla en semillas de pepino. Otro ejemplo es la producción del jitomate en invernadero en Zapotitlán Salinas, Puebla en el 2015 (Foto 4.3), donde los resultados mostraron la disminución de infecciones por patógenos y el aumento de cortes al jitomate, así como un ahorro en la cantidad de agua utilizada para riego (Guevara Rivera, 2019). Es importante señalar que se ha tenido la oportunidad de mostrar a la comunidad de agricultores, en diferentes talleres, los beneficios del INOCREP®;

en la fotografía 4.4 se aprecia la raíz de una planta de papa, cultivada en maceta. Se observa un aumento en la longitud de raíz, así como una gran cantidad de raíces secundarias, esto permite una mayor absorción de los nutrientes que se encuentran en el suelo.



Foto 4.2. Producción de pepino (*Cucumis sativus*) en invernadero de traspatio. Cuautla, Morelos. 2019.



Foto 4.3. Producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero. Zapotitlán Salinas, Puebla. 2015



Foto 4.4. Rizosfera de una planta de papa (*Solanum tuberosum*)
Taller de agricultura urbana, San Andrés Cholula, Puebla,
México. 2019.

campo poblano. Cabe señalar que este es un proceso que se debe de realizar con la colaboración de los trabajadores del campo, el desarrollo de productos amigables con el medio ambiente como lo son los inoculantes bacterianos de segunda generación son una alternativa que se ofrece para restablecer las características de un campo saludable (Morales-García *et al.*, 2020).

INOCREP® y CONCYTEP

Una actividad coordinada por el CONCYTEP (Consejo de Ciencia y Tecnología-Puebla), realizada en el tercer trimestre del año 2021 y con colaboración de Investigadores e Instituciones, permitió el uso de INOCREP® en parcelas con cultivo de maíz en diferentes regiones de Puebla, por ejemplo, en la comunidad de San Buenaventura Nealtican, Puebla. Con el objetivo de realizar conciencia colectiva en el uso de fertilizantes, herbicidas y pesticidas, se dieron charlas a los agricultores y después de haber realizado el ejercicio de reflexión de lo que provocan esos agroquímicos se les invitó a disminuir su utilización en el

Conclusión

La oportunidad que nos brinda el conocimiento de las interacciones bacterianas entre las plantas y el suelo han sido un beneficio a favor de la agricultura y a favor de la salud humana; debido que hoy se conocen varios mecanismos por los cuales las bacterias tienen la capacidad de degradar compuestos recalcitrantes como lo son los herbicidas y pesticidas. Además, las bacterias benéficas tienen la capacidad para promover el crecimiento vegetal, por lo que las plantas aprovechan mejor los nutrientes. En este sentido, la adición de fertilizantes químicos se puede disminuir sin afectar los rendimientos de los cultivos. Este conocimiento ha permitido el diseño de inoculantes de segunda generación que son formulaciones multiespecies que contienen bacterias compatibles y que han sido diseñados considerando 8 aspectos adicionales a los inoculantes de primera generación. Las formulaciones de segunda generación son más constantes en su capacidad para beneficiar a las plantas y al medio ambiente, por lo que son recomendables para su aplicación futura; disminuyendo el uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes nitrogenados sin disminuir el rendimiento de los cultivos. Los inoculantes de segunda generación son más eficientes por lo que su aplicación asegurará el éxito de los cultivos agrícolas.

Agradecimientos

Agradecemos al CONCYTEP (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Puebla), por el apoyo para la realización de charlas a los agricultores sobre las bondades de los inoculantes de segunda generación. También agradecemos a la Vicerrectoría de Estudios de Posgrados (VIEP-BUAP) por el apoyo recibido para realizar nuestras investigaciones.

Referencias bibliográficas

- Bashan, Y. (1998). INOCULANTS OF PLANT GROWTH-PROMOTING BACTERIA FOR USE IN AGRICULTURE. *Biotechnology Advances*, 16(4), 729–770.
- Fuentes-Ramirez L.E., Caballero-Mellado J. (2005) Bacterial Biofertilizers. In: Siddiqui Z.A. (eds) *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7_5
- Guevara Rivera, M. (2019). Evaluación del inoculante multiespecies EMMIM-1 en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* Var. *Saladette*) en condiciones de invernadero.
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. del R., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y. E., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., & Muñoz-Rojas, J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*, 17(2), 24–34.
- Molina-Romero D., Juárez-Sánchez S., Venegas B., Ortíz-González C.S., Baez A., Morales-García Y.E. and Muñoz-Rojas J. (2021) A Bacterial Consortium Interacts With Different Varieties of Maize, Promotes the Plant Growth, and Reduces the Application of Chemical Fertilizer Under Field Conditions. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:616757. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.616757>
- Morales-García, Y. E., Baez, A., Quintero-Hernández, V., Molina-Romero, D., Rivera-Urbalejo, A. P., Pazos-Rojas, L. A., & Muñoz-Rojas, J. (2019). Bacterial Mixtures, the Future Generation of Inoculants for Sustainable Crop Production. In D. Maheshwari & S. Dheeman (Eds.), *Field Crops: Sustainable Management by PGPR. Sustainable Development and Biodiversity* (Springer, pp. 11–44). https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8_2
- Morales-García, Y. E., Juárez-Hernández, D., Hernández-Tenorio, A. L., Muñoz-Morales, J. M., Baez, A., & Muñoz-Rojas, J. (2020). Inoculante de segunda generación para incrementar el crecimiento y salud de plantas de jardín. In *Alianzas y Tendencias-BUAP*, 5(20), 136–154.

Mujica Pérez, Y., & Fuentes Martínez, A. G. (2012). Efecto a la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo del tomate en condiciones de estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(4), 40–46. <http://www.ediciones.inca.edu.cu>

Muñoz Rojas, J., Morales García, Y. E., Juárez Hernández, D., Fuentes Ramírez, L. E., & Munive Hernández, J. A. (2013). Formulación de un inoculante multiespecies para potenciar el crecimiento de plantas (Patent No. 340596). In *Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) Secretaría de Economía* (No. 340596). https://lp.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=4&ND=3&adjacent=true&locale=es__LP&FT=D&date=20150108&CC=MX&NR=2013007978A&KC=A

Pazos-Rojas, L. A., Marín-Cevada, V., Morales García, Y. E., Baez, A., Villalobos-López, M. A., Pérez-Santos, M., & Muñoz-Rojas, J. (2016). Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Revista Iberoamericano de Ciencias*, 3(7), 72–85. <http://www.reibci.org/publicados/2016/dic/2000114.pdf>

Perkins, J. H. (1990). *The Rockefeller Foundation and the Green Revolution, 1941–1956*.

60 — Rivera-Urbalejo, A. P., Juárez-Hernández, D., Hernández-Tenorio, A. L., & Morales-García, Y. E. (2019). Aplicaciones potenciales de *Gluconacetobacter diazotrophicus* para incrementar los rendimientos agrícolas. In *Alianzas y Tendencias-BUAP* (Vol. 4, Issue 13).

Vivanco-Calixto, Raúl, Molina-Romero, Dalia, Morales-García, Yolanda Elizabeth, Quintero-Hernández, Verónica, Munive-Hernández, Antonio, Baez-Rogelio, Antonino, & Muñoz-Rojas, Jesús. (2016). Reto agrobiotecnológico: inoculantes bacterianos de segunda generación. In *Alianzas y tendencias BUAP*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5069043>

Zermeño-González, A., Cárdenas-Palomo, J. O., Ramírez-Rodríguez, H., Benavides-Mendoza, A., Cadena-Zapata, M., & Campos-Magaña, S. G. (2015). Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 2399–2408. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263143809012>

Reflexiones y perspectivas

Programas como éste permiten una interacción importante entre los campesinos, pequeños y medianos productores, permitiendo evidenciar los aspectos que requieren atención no solo en productos nutritivos para el campo sino el generar conocimiento con respecto a técnicas que les permitan solucionar problemas en su día a día, el transferir el conocimiento que se genera en las universidades permitirá una mejor evaluación de lo funcional que es la investigación que se reporta, así también hay una retroalimentación de las necesidades a trabajar en la investigación dando pie a técnicas funcionales y dirigidas específicamente a resolver problemas locales del campo.

El programa de rescate al campo poblano fue un primer acercamiento a los campesinos y productores sin embargo el tiempo en el que se hizo es muy corto, por lo que es necesario mantener estos por programas por un mayor tiempo en forma periódica y continua para ver resultados en adopción de tecnología y desarrollo de capacidades y poder acompañar al productor en el seguimiento de recomendaciones, solo así se podrá

evaluar en campo el esfuerzo realizado por las instituciones gubernamentales, las instituciones educativas, campesinos y productores, quienes son los primeros beneficiados pero que son acciones con las que nos beneficiamos todos como sociedad al tener alimentos más sanos, disminución de contaminantes y trabajadores del campo con mejor calidad de salud.



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

CONCYTEP
Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla