

# El peligro de los agroquímicos y los microorganismos como una alternativa

Estephanie Elizabeth Luna-Pérez\* , Jesús Muñoz-Rojas\*\* 

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, Puebla, México.

Autores para correspondencia: \*[estephanie.lunaperez@viep.com.mx](mailto:estephanie.lunaperez@viep.com.mx);

\*\*[jesus.munoz@correo.buap.mx](mailto:jesus.munoz@correo.buap.mx)

DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.14652505>

**Editado por:** D.C. América Paulina Rivera Urbalejo (Facultad de Estomatología, Benemérita universidad Autónoma de Puebla).

**Revisado por:**

M.C. Lester Emmanuel López Cruz (Laboratorio de Ecología y Biotecnología Aplicada (LEBA), dirección de investigación y posgrado, Universidad Iberoamericana Puebla).

D.C. Lilia Isela López Lara (Secretaria de Educación de Jalisco; Esc. Sec. Gral. No. 81 J. Jesús González Gallo y Esc. Sec. Gral. No. 116 Manuel Gómez Morín).

## Resumen

Los agroquímicos son compuestos de origen químico utilizados para fertilizar los cultivos y eliminar o controlar organismos fitopatógenos. A primera instancia los agroquímicos generan ventajas para la agricultura, pero debido a sus numerosos efectos adversos, no es así. En este manuscrito se describen las desventajas más relevantes que tienen estos compuestos, que van desde la contaminación al medio ambiente hasta los diversos peligros a la salud humana. Finalmente se mencionan alternativas para reducir el uso de los agroquímicos y con ello sus impactos negativos.

**Palabras clave:** agroquímicos; fertilizantes; pesticidas; herbicidas; efectos adversos.



## Abstract

Agrochemicals are chemical compounds used to fertilize crops and eliminate or control phytopathogenic organisms. At first glance, agrochemicals are highly advantageous for agriculture, but this is not the case due to their numerous adverse effects. This manuscript describes the most significant disadvantages of these compounds, ranging from environmental pollution to various risks to human health. Finally, it will discuss alternatives to reduce the use of agrochemicals and their negative impacts.

**Keywords:** agrochemicals; fertilizers; pesticides; herbicides; adverse effects.

## Introducción

La revolución verde fue un periodo que surgió a mediados del siglo XX en el cual debido a la alta demanda alimentaria se implementó el uso de semillas híbridas, el empleo de fertilizantes y el uso de pesticidas de origen químico, con la finalidad de aumentar el rendimiento de los cultivos. Los agroquímicos se pueden clasificar en fertilizantes y pesticidas, los fertilizantes tienen como función aportar nutrientes a las plantas para su crecimiento, en cambio, los pesticidas tienen como finalidad erradicar plagas que afectan a los cultivos, estos a su vez se pueden clasificar de acuerdo con la plaga que ataca (figura 1) [1].

Esta revolución tuvo como pionero a Norman E. Borlaug, e inicialmente fue implementada en México y en India en cereales como maíz, arroz y trigo, implementando su producción [2]. Sin embargo, esta práctica tuvo grandes consecuencias al medio ambiente, ocasionando efectos adversos en los suelos, mantos acuíferos y en la calidad del aire, además años más tarde se descubrieron efectos nocivos para la salud ocasionados por los agroquímicos (figura 2) [3].

## Fertilizantes

Estos compuestos aportan los macronutrientes que son necesarios para el crecimiento de las plantas. Los fertilizantes pueden ser de origen natural o químico, y tienen tres elementos esenciales: nitrógeno, potasio y fósforo.



También pueden tener otros nutrientes como calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, entre otros [4].

Los fertilizantes químicos o sintéticos son aquellos que son obtenidos por medio de procesos industriales, como la urea, nitrato de amonio y el superfosfato triple. Estos fertilizantes tienen preferencia en el ámbito agrónomo debido a los altos niveles de macronutrientes y a su fácil asimilación por los cultivos, sin embargo, ocasionan efectos negativos para el medio ambiente como la erosión de suelos, la pérdida de biodiversidad, la contaminación atmosférica, entre otros [3, 5] (Figura 2).

Los fertilizantes naturales son aquellos que se pueden obtener a partir de la descomposición de compuestos vegetales como la composta, o bien se pueden producir a partir de desechos de animales como lo es la gallinaza. La principal desventaja de este tipo de fertilizantes es la asimilación de los nutrientes por parte de las plantas, ya que es más lenta en comparación con los fertilizantes sintéticos [6].

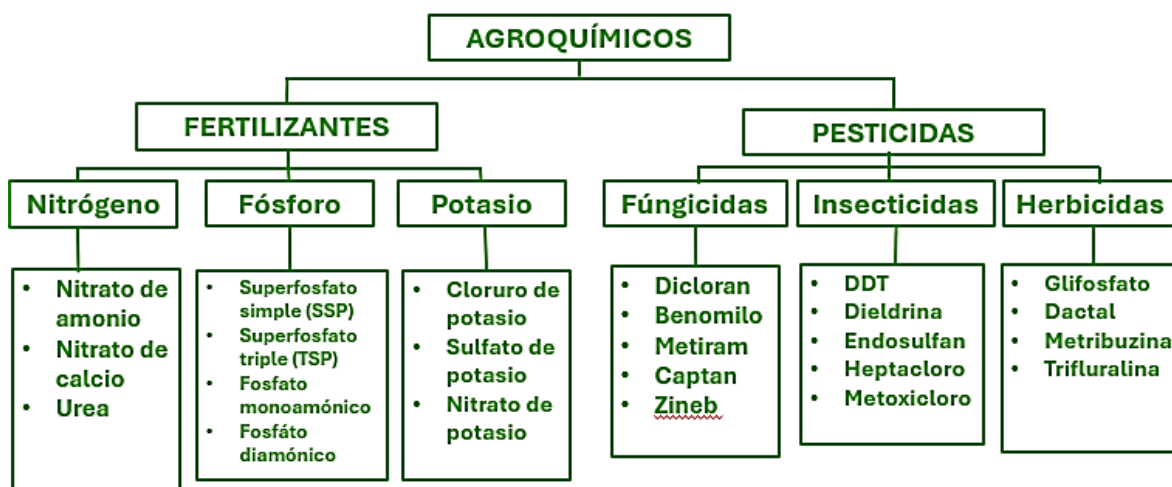


Figura 1. Clasificación de los agroquímicos. Los agroquímicos se clasifican en fertilizantes y pesticidas, los fertilizantes usualmente se dividen de acuerdo con el nutriente que aporta a las plantas, y los pesticidas se pueden clasificar a su vez en fungicidas, insecticidas y herbicidas, estos de acuerdo con la plaga que ataca el compuesto [7].

## Pesticidas

Los pesticidas se definen como compuestos químicos de amplio espectro que tienen como finalidad erradicar o controlar una plaga que afecta a un cultivo de interés agrícola [8]. Estas sustancias se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios, como lo es con base a: su composición química, la plaga que ataca, su toxicidad al humano, el modo de entrada en el organismo blanco, su formulación y su persistencia en el medio ambiente [9].

Estos compuestos tienen como principal ventaja el mantenimiento de los niveles de producción y la rentabilidad de los cultivos, por otro lado, múltiples investigaciones han concluido que los pesticidas tienen efectos negativos en el medio ambiente, en el ecosistema y en la salud humana [10].



Figura 2. Efectos adversos a la salud y medio ambiente provocados por los agroquímicos. Los pesticidas y fertilizantes se han correlacionados con numerosos padecimientos como la leucemia y el cáncer, los cuales pueden llegar a ser mortales. Por otro lado, diversos estudios han demostrado el impacto negativo de los agroquímicos en el medio ambiente, estos compuestos provocan una contaminación en los suelos, agua y aire [3].

## Efectos adversos al medio ambiente

Los fertilizantes y los pesticidas han aumentado la producción agrícola a las últimas seis décadas, ya que han permitido un aumento en la cosecha y una disminución en las pérdidas causadas por plagas [11]. Sin embargo, debido a su composición química y formulación, pueden ocasionar una alteración en el agroecosistema, es decir, en suelos donde son aplicados, en el aire de la zona y en los mantos acuíferos cercanos, además de una pérdida de la biodiversidad ocasionada por la contaminación [12].

Los fertilizantes nitrogenados como la urea y el nitrato de amonio contribuyen al calentamiento global y por consecuencia al cambio climático, esto se debe a que las diversas formas del nitrógeno pueden ser transformadas a compuestos como amonio y óxidos de nitrógeno, los cuales son formas reactivas del nitrógeno, estos son compuestos que pueden contribuir al efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua, acidificación del agua y suelos, erosión de suelos y una pérdida en la biodiversidad [13, 14].

El uso de los pesticidas se ha incrementado durante las últimas décadas, los estragos que han ocasionado al medio ambiente son alarmantes ya que estos compuestos no solo contaminan el suelo donde son aplicados, también afectan el aire, agua y el ecosistema [15]. Una de las razones por las cuales provocan un fuerte impacto en el ambiente es dado a que solo un pequeño porcentaje de los pesticidas aplicados cumplen con la finalidad de erradicar la plaga, el porcentaje restante se queda retenido en los suelos, la degradación de estos compuestos es muy lenta, aunque esto depende de la naturaleza del pesticida [16]. Al quedarse retenidos en el suelo, los pesticidas afectan a la biodiversidad que va desde organismos polinizadores hasta los microorganismos que conforman el microbioma de la rizosfera [17]. Como se mencionó anteriormente la mayor parte de los pesticidas se quedan retenidos en los suelos, cuando llueve o los cultivos son regados estos compuestos se pueden lixiviar y llegar aguas subterráneas que posteriormente llegan a ríos o lagos, afectando la vida marina [18]. Los pesticidas son uno de los causantes del efecto invernadero al volatilizarse o evaporarse. Uno de los gases más contaminantes es el óxido nitroso, que proviene de la transformación de los compuestos nitrogenados, además estos compuestos también pueden generar ozono el cual es uno de los gases de efecto invernadero más nocivos [19].

## Efectos adversos a la salud

Los efectos de los agroquímicos a la salud son alarmantes, estos compuestos son tóxicos para el ser humano y pueden producir efectos agudos y crónicos [20]. El daño que ocasionan los agroquímicos al ser humano se puede dar por un contacto directo (agricultores o campesinos), o bien, por contacto indirecto (residuos en alimento o por contaminación ambiental). Según la OMS anualmente fallecen 11,000 personas debido a los agroquímicos, y se ha reportado que en el periodo 2006-2018 se han intoxicado cerca de 385 millones de personas [21]. Los efectos que tienen a la salud son variados y dependen del tipo de contacto (directo o indirecto), los síntomas o padecimientos que son desencadenados por estos compuestos van desde efectos agudos como dolor de cabeza hasta enfermedades letales como el cáncer [22].

Los pesticidas organoclorados como el diclorodifeniltricloroetano (DDT) o hexaclorobenceno (HCB), fueron de los primeros compuestos utilizados para erradicar plagas en cultivos. Sin embargo, debido a su alta toxicidad fueron retirados del mercado ya que diversos estudios correlacionaban el uso de estos pesticidas con enfermedades como leucemia, diabetes y cáncer [23]. No obstante, debido al uso indiscriminado que se le dio a este tipo de pesticidas, hoy en día persisten en los suelos, agua y fauna, provocando estragos en la salud del ser humano [24].

Actualmente pesticidas altamente tóxicos siguen siendo utilizados para el control de plagas, tal es el caso del glifosfato, el cual es el herbicida más usado en el mundo. Se ha demostrado que el glifosfato puede ser tóxico para el sistema nervioso, además de estar clasificado como un potencial carcinógeno por la Agencia Internacional Contra el Cáncer [25, 26].

Los fertilizantes nitrogenados tienen como producto final a los nitratos, estos remanentes pueden llegar a los mantos acuíferos, debido a ello en países en desarrollo estos nitratos pueden llegar hasta el agua que se consume por el nulo tratamiento o a un tratamiento inadecuado. El consumo de agua con nitratos y de vegetales con remanentes de nitratos, es la fuente principal de exposición a fertilizantes nitrogenados en el ser humano, y este tipo de contaminantes causan afecciones a la salud como diabetes, metahemoglobinemia y cáncer [27, 28].

Lamentablemente la mayor parte de las personas que trabajan en el campo no tienen la información necesaria respecto al manejo de los agroquímicos, además de la falta de un equipo de protección adecuado para el manejo de estos compuestos. En Ghana, África, la manipulación de los agroquímicos se hace sin ningún tipo de equipo de protección, debido a ello se ha reportado que un 80% de los agricultores de hortalizas han presentado síntomas de intoxicación por agroquímicos como: debilidad muscular, dolor de cabeza, tos e impotencia sexual; se han notificado resultados similares en Uganda y Kenia [29]. Así mismo, en la mayoría de los países latinoamericanos se utilizan los agroquímicos sin ningún tipo de vigilancia o regulación adecuada, por ejemplo, en México los pesticidas y fertilizantes se utilizan sin EPP (Equipo de Protección Personal) el cual incluye: mascarilla respiratoria, lentes o careta protectora, guantes, botas y traje de protección, debido a la falta de protección en los agricultores, se ha reportado un aumento en los casos de intoxicación por plaguicidas del año 2000 al 2019, en la última década se han empleado en promedio más de media tonelada por cada mil hectáreas de tierra de cultivo, dentro de estos compuesto se encuentran más de treinta pesticidas que han sido prohibidos en otros países debido a su toxicidad [30, 31].

## Alternativas para contrarrestar plagas sin el uso de agroquímicos

Teniendo en cuenta las desventajas de los agroquímicos anteriormente mencionadas, se han buscado opciones para estimular el crecimiento vegetal y controlar plagas, el uso de microorganismos en la agricultura como biofertilizantes y biopesticidas ha ido en aumento, debido a la seguridad que tienen para el medio ambiente y para el consumidor [32]. Actualmente en México no hay ningún tipo de restricción para el uso de inoculantes microbianos, sin embargo, para la comercialización de estos productos es necesario realizar pruebas de efectividad biológica y un etiquetado que especifique adecuadamente su composición [33, 34].

Los biofertilizantes son formulaciones basadas en bacterias y/u hongos que tienen como finalidad promover el crecimiento vegetal a través de diversos mecanismos como la fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, producción de fitohormonas y producción de enzimas antioxidantes [35].

Los biopesticidas son sustancias de origen natural o agentes biológicos que tienen como finalidad erradicar o controlar una plaga [36]. Estos compuestos se pueden clasificar en: pesticidas microbianos, pesticidas bioquímicos y protectores incorporados en plantas (PIP).

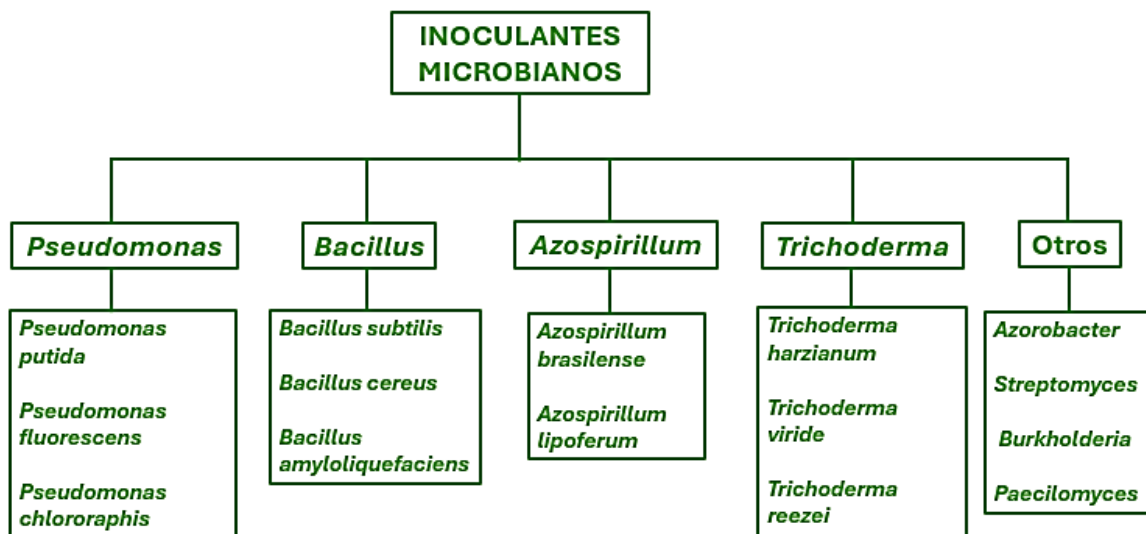
La composición de los pesticidas microbianos se basa en microorganismos como bacterias, hongos, virus y protozoos que tienen un amplio potencial para inhibir a microorganismos causantes de enfermedades en cultivos. Los mecanismos de inhibición incluyen: producción de antibióticos, producción de toxinas, síntesis de compuestos volátiles, producción de antifúngicos, colonización directa, inducción del sistema de defensa en la planta y competencia por los nutrientes y espacio [36, 37].

Por otra parte, los pesticidas bioquímicos tienen función insecticida y antimicrobiana, estas sustancias pueden estar basadas en aceites esenciales, extractos vegetales, feromonas de insectos y reguladores del crecimiento de insectos, estos compuestos han demostrado efectividad en el manejo de plagas causadas por bacterias, hongos, insectos, virus y nematodos [38].

Por último, los protectores incorporados en plantas (PIP) son el material genético que tiene como producto final proteínas pesticidas, este material se inserta en el genoma de las plantas mediante ingeniería genética para producir plantas que fabriquen los compuestos y de esta forma sea resistente al ataque de plagas [39].

### Microorganismos más utilizados como biofertilizantes y biopesticidas

Una de las mejores alternativas para la disminución del uso de agroquímicos son los inoculantes microbianos o biopesticidas, los cuales también pueden controlar enfermedades causadas por fitopatógenos. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB por sus siglas en inglés) y algunos hongos aislados de suelos, son los microorganismos más usados en las formulaciones de los inoculantes, siendo *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum* y *Trichoderma* los géneros de microorganismos más estudiados [40] (Figura 3).



**Figura 3.** Principales microorganismos utilizados como biofertilizantes y controladores de fitopatógenos.

*Pseudomonas* es uno de los géneros bacterianos más estudiados por sus beneficios reportados, este género produce metabolitos secundarios que controlan el crecimiento de fitopatógenos y potencia el crecimiento de las plantas; dentro de las especies más representativas de este género se encuentran: *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas chlororaphis* [41]. Los metabolitos producidos por estas bacterias con poder de inhibir a microorganismos fitopatógenos son: 2,4 diacetilfloroglucinol (DAPG), fenazina ácido carboxílico (PCA), pirrolnitrina (PRN), pioluterina (PLT), cianuro de hidrógeno (HCN) y la piocianina (PYN) [42]. Además de inhibir fitopatógenos también promueven el crecimiento vegetal al ser fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, productoras de ácido indol acético (IAA) y sideróforos [43].

El género *Bacillus* es muy abundante en la rizósfera de plantas, es por ello que ha sido ampliamente estudiado, y se han reportado propiedades de biocontrol, bioremediación y biofertilización [44]. *Bacillus cereus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis* y *Bacillus amyloliquefaciens* son algunas de las especies más estudiadas debido a la producción de sustancias antimicrobianas como: fengicinas, iturinas, quitinasas, proteínas Cry y  $\delta$ -endotoxinas [45]. El uso de este género bacteriano como biofertilizante provee múltiples beneficios ya que estas bacterias fijan el nitrógeno atmosférico,

solubilizan el hierro y el fósforo inorgánico, y dan protección a las plantas ante estrés biótico y abiótico [46].

Uno de los géneros más usados en la agricultura como inoculante bacteriano (biofertilizante y biocontrolador) es *Azospirillum*, las cepas bacterianas de este género tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico, de inducir la resistencia sistémica inducida (ISR) y de producir fitohormonas como el ácido indol-3-acético (IAA), citoquininas, auxinas, ácido abscísico, giberelinas, etileno y ácido salicílico [47]. *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum lipoferum* son las especies más representativas, estos microorganismos son usados en la agricultura principalmente por su poder como fertilizante, pero también sintetizan sustancias como sideróforos, ácido fenilacético (PAA) y cianuro de hidrógeno, que controlan el crecimiento de fitopatógenos [48].

Algunos hongos también son estudiados por sus beneficios en la agricultura, tal es el caso del hongo *Trichoderma* spp., las especies más estudiadas por sus propiedades de biocontrol son: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride*, *Trichoderma rezei* y *Trichoderma polysporum* [49]. Los mecanismos por los cuales *Trichoderma* puede inhibir una amplia variedad de fitopatógenos se deben a una competencia por nutrientes, a un micoparasitismo, síntesis de antimicrobianos y enzimas hidrolíticas, las moléculas secretadas por este hongo con capacidad de biocontrol son:  $\beta$ -glucuronidasa (GUS), proteína verde fluorescente (GFP), higromicina B fosfotransferasa (hygB) y endoquitinasa [50].

Otros microorganismos también han sido estudiados y utilizados como inoculantes microbianos debido a que estimulan el crecimiento vegetal, y controlan enfermedades por fitopatógenos, dentro de estos microorganismos se encuentran las bacterias de los géneros: *Azorobacter*, *Streptomyces*, *Burkholderia* y *Paecilomyces* [51].

## Conclusiones

El uso de agroquímicos en la agricultura moderna debe de ser reducido dado a sus numerosos impactos negativos al medio ambiente, a la salud del ser humano y otros seres vivos. Es importante difundir todos los efectos adversos a la salud del aplicador y consumidor, ya que como se mencionó anteriormente muchos agricultores no cuentan con las medidas adecuadas para el uso de los fertilizantes y pesticidas. Conocer el impacto ambiental también es de suma

importancia para concientizar los efectos a corto y largo plazo que pueden ocasionar los agroquímicos, y así promover el uso de alternativas como los biofertilizantes y biopesticidas los cuales están basados en microorganismos benéficos, y a diferencia de los agroquímicos no ocasionan efectos secundarios como lo es la contaminación de mantos acuíferos, la contaminación atmosférica y la pérdida de la biodiversidad, entre otros efectos ya mencionados. Por todo lo abordado en esta revisión se puede concluir que los inoculantes microbianos son los productos idóneos para alcanzar una agricultura sustentable y sostenible.

## Conflicto de interés

Los autores no tienen ningún conflicto de interés con el contenido de este manuscrito.

## Agradecimientos

A la VIEP-BUAP por el apoyo para llevar a cabo nuestras investigaciones. Estephanie Elizabeth Luna-Pérez es becaria del CONAHCyT y agradece a dicha institución por el apoyo otorgado. Dr. Jesús Muñoz-Rojas es miembros del S.N.I.; por lo que agradecen al CONAHCYT por su apoyo. También agradecemos a la Dirección Internacionalización de la Investigación de la BUAP, quienes amablemente nos apoyan para que el conocimiento rebase las fronteras nacionales.

## Referencias

[1]. Yadav IC, Devi NL. Pesticides Classification and Its Impact on Human and Environment. En: Kumar A, Singhal JC, Techato K, Molina LT, Singh N, Kumar P, *et al.*, editors. Environmental Science and Engineering. USA: Studium Press LLC; 2017. p. 140–57. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/313445102\\_Pesticides\\_Classification\\_and\\_Its\\_Impact\\_on\\_Human\\_and\\_Environment](https://www.researchgate.net/publication/313445102_Pesticides_Classification_and_Its_Impact_on_Human_and_Environment)



- [2]. Phillips RL. Green revolution: Past, present, and future. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. 2014; 529–38. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444525123002084?via%3Dihub>
- [3]. Jastrzębska M, Kostrzevska M, Saeid A. Chapter 1 - Conventional agrochemicals: Pros and cons. En: Saeid KCA, editor. Smart Agrochemicals for Sustainable Agriculture. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128170366000091>
- [4]. Priya E, Sarkar S, Maji PK. A review on slow-release fertilizer: Nutrient release mechanism and agricultural sustainability. J Environ Chem Eng. 2024;12(4):113211. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2024.113211>
- [5]. Chandini RK, Kumar R, Om P. The Impact of Chemical Fertilizers on our Environment and Ecosystem. In: Research Trends in Environmental Sciences, 2nd Edition, 2019; 71-86. <https://www.researchgate.net/publication/331132826>
- [6]. Sharma A, Chetani R. A Review on the Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Plants. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). 2017; 5(II):677–680. Disponible en: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=6329>
- [7]. Aloo BN, Mbega ER, Makumba BA, Tumuhairwe JB. Effects of agrochemicals on the beneficial plant rhizobacteria in agricultural systems. Environ Sci Pollut Res Int. 2021; 28(43):60406–24. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-16191-5>
- [8]. Rajmohan KS, Chandrasekaran R, Varjani S. A review on occurrence of pesticides in environment and current technologies for their remediation and management. Indian J Microbiol. 2020; 60(2):125–38. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s12088-019-00841-x>
- [9]. Megha M. Akashe, Uday V. Pawade, Ashwin V. Nikam. CLASSIFICATION OF PESTICIDES: A REVIEW. International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy. 2018; 9(4):144–50. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/327536516\\_CLASSIFICATION\\_OF\\_PESTICIDES\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/327536516_CLASSIFICATION_OF_PESTICIDES_A_REVIEW)

- [10]. Ha TM. A review on the development of Integrated Pest Management and its integration in modern agriculture. *Asian J Agric Food Sci*. 2014;2(4): 336-340. Disponible en: <https://www.ajouronline.com/index.php/AJAFS/article/view/1587>
- [11]. Babafemi OP, Iyiola AO, Ojeleye AE, Adebayo QS. Advantages and potential threats of agrochemicals on biodiversity conservation. *Sustainable Development and Biodiversity*. 2022; 29: 267–92. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-3326-4\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-3326-4_10)
- [12]. Gnanaprakasam PD, Vanisree AJ. Recurring detrimental impact of agrochemicals on the ecosystem, and a glimpse of organic farming as a possible rescue. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022;29(50):75103–12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-22750-1>
- [13]. Gnanaprakasam PD, Vanisree AJ. Recurring detrimental impact of agrochemicals on the ecosystem, and a glimpse of organic farming as a possible rescue. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022;29(50):75103–12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-22750-1>
- [14]. Walling E, Vaneeckhaute C. Nitrogen Fertilizers and the Environment. En: *Nitrate Handbook: Environmental, Agricultural and Health Effects*. CRC PRESS Taylor and Francis; 2022. p. 1–48. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429326806-8/nitrogen-fertilizers-environment-eric-walling-celine-vaneeckhaute>
- [15]. Sharma A, Kumar V, Shahzad B, Tanveer M, Sidhu GPS, Handa N, *et al*. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Appl Sci*. 2019;1:1446. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- [16]. Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, *et al*. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(3):1112. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- [17]. Shahid M, Khan MS. Ecotoxicological implications of residual pesticides to beneficial soil bacteria: A review. *Pestic Biochem Physiol*. 2022; 188(105272): 105272. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105272>
- [18]. Rad SM, Ray AK, Barghi S. Water pollution and agriculture pesticide. *Clean Technol*. 2022; 4(4): 1088–102. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2571-8797/4/4/66>

- [19]. Kaka H, Opute PA, Maboeta MS. Potential impacts of climate change on the toxicity of pesticides towards earthworms. *J Toxicol.* 2021;2021:1–14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2021/8527991>
- [20]. Weisenburger DD. Human health effects of agrichemical use. *Hum Pathol.* 1993;24(6):571–6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8505035/>
- [21]. Devi PI, Manjula M, Bhavani RV. Agrochemicals, environment, and human health. *Annu Rev Environ Resour.* 2022;47(1):399–421. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-120920-111015>
- [22]. Eskenazi B, Chevrier J, Rosas LG, Anderson HA, Bornman MS, Bouwman H, *et al.* The Pine River statement: Human health consequences of DDT use. *Environ Health Perspect.* 2009;117(9):1359–67. Disponible en: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.11748>
- [23]. Jayaraj R, Megha P, Sreedev P. Review Article. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdiscip Toxicol.* 2016; 9(3–4): 90–100. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1515/intox-2016-0012>
- [24]. Zaragoza-Bastida A, Valladares-Carranza B, Ortega-Santana C, Zamora-Espinosa J, Velázquez-Ordoñez V, Aparicio-Burgos J. Repercusiones del uso de los organoclorados sobre el ambiente y salud pública. *Abanico Vet.* 2016; 6(1): 43–55. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-61322016000100043](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322016000100043)
- [25]. Costas-Ferreira C, Durán R, Faro LRF. Toxic effects of glyphosate on the nervous system: A systematic review. *Int J Mol Sci.* 2022;23(9):4605. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms23094605>
- [26]. González-Moscoso M, Meza-Figueroa D, Martínez-Villegas NV, Pedroza-Montero MR. GLYPHOSATE IMPACT on human health and the environment: Sustainable alternatives to replace it in Mexico. *Chemosphere.* 2023; 340(139810): 139810. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139810>
- [27]. Ahmad MF, Ahmad FA, Alsayegh AA, Zeyaulah M, AlShahrani AM, Muzammil K, *et al.* Pesticides impacts on human health and the environment

with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Heliyon*. 2024; 10(7): e29128. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128>

[28]. Suwanaruang T. Pesticides, toxicity and its effects on human health and environment. *B P International*; 2024. Disponible en: <https://stm.bookpi.org/PTIEHHE/article/view/13025>

[29]. Demi SM, Sicchia SR. Agrochemicals use practices and health challenges of smallholder farmers in Ghana. *Environ Health Insights* [Internet]. 2021;15:117863022110430. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/11786302211043033>

[30]. Ordoñez-Beltrán, V.; Frías-Moreno, M.N.; Parra-Acosta, H.; Martínez-Tapia, M.E. Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud. *Revista de Toxicología*. 2019; 36(2): 148-162. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91967023011>

[31]. Moreno-Godínez ME, Flores-Alfaro E, Parra-Rojas I, Medina-Díaz IM, Rojas-García AE, Avilés-Ramírez C, *et al.* Trends on deaths from acute pesticide poisoning in Mexico, 2000–2021. *Rev Bras Epidemiol*. 2024;27. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-549720240001>

[32]. Pirttilä AM, Mohammad Parast Tabas H, Baruah N, Koskimäki JJ. Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: How to identify and develop new potent microbial strains and traits. *Microorganisms*. 2021;9(4):817. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms9040817>

[33]. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-077-FITO-2000, POR LA QUE SE ESTABLECEN LOS REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS INSUMOS DE NUTRICIÓN VEGETAL. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/204179/Mod\\_NOM-077-FITO-2000\\_191211.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/204179/Mod_NOM-077-FITO-2000_191211.pdf)

[34]. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-182-SSA1-2010, ETIQUETADO DE NUTRIENTES VEGETALES. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4371/salud1a1/salud1a1.htm>

[35]. Kumar S, Diksha, Sindhu SS, Kumar R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Curr Res*

Microb Sci. 2022;3(100094):100094. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>

[36]. Kumar J, Ramlal A, Mallick D, Mishra V. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*. 2021;10(6):1185. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10061185>

[37]. Wend K, Zorrilla L, Freimoser FM, Gallet A. Microbial pesticides – challenges and future perspectives for testing and safety assessment with respect to human health. *Environ Health* [Internet]. 2024;23(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12940-024-01090-2>

[38]. Daraban GM, Hlihor R-M, Suteu D. Pesticides vs. Biopesticides: From pest management to toxicity and impacts on the environment and human health. *Toxics* [Internet]. 2023;11(12):983. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/toxics11120983>

[39]. Parker KM, Sander M. Environmental fate of insecticidal plant-incorporated protectants from genetically modified crops: Knowledge gaps and research opportunities. *Environ Sci Technol* [Internet]. 2017;51(21):12049–57. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b03456>

[40]. Pathak DV, Kumar M. Microbial inoculants as biofertilizers and biopesticides. En: *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. New Delhi: Springer India; 2016. p. 197–209. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2647-5\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2647-5_11)

[41]. Mehmood N, Saeed M, Zafarullah S, Hyder S, Rizvi ZF, Gondal AS, *et al.* Multifaceted impacts of plant-beneficial *Pseudomonas* spp. In managing various plant diseases and crop yield improvement. *ACS Omega*. 2023;8(25):22296–315. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/acsomega.3c00870>

[42]. Someya N, Ikeda S, Tsuchiya K. *Pseudomonas* inoculants as agents for plant disease management. En: *Bacteria in Agrobiolgy: Disease Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 219–41. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33639-3\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33639-3_8)

[43]. Sánchez Carrillo R, Guerra Ramírez P. *Pseudomonas* spp. benéficas en la agricultura. *Rev Mex De Cienc Agric*. 2022;13(4):715–25. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>



- [44]. Gadhave KR, Devlin PF, Ebertz A, Ross A, Gange AC. Soil inoculation with *Bacillus* spp. Modifies root endophytic bacterial diversity, evenness, and community composition in a context-specific manner. *Microb Ecol*. 2018;76(3):741–50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00248-018-1160-x>
- [45]. Villarreal-Delgado MF, Villa-Rodríguez ED, Cira-Chávez LA, Estrada-Alvarado MI, Parra-Cota FI, De los Santos-Villalobos S. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Rev Mex Fitopatol*. 2018; 36(1): 95–130. Disponible en: <https://www.rmfm.smf.org.mx/ojs/index.php/RMF/article/view/100>
- [46]. Corrales-Ramírez MSc LC, Caycedo-Lozano L, Gómez-Méndez MA, Ramos-Rojas SJ, Rodríguez-Torres JN. *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*. 2017;15(27):46–65. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702017000100046](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702017000100046)
- [47]. Fukami J, Cerezini P, Hungria M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express* [Internet]. 2018;8(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>
- [48]. Mehnaz S. Azospirillum: A biofertilizer for every crop. En: *Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets*. New Delhi: Springer India; 2015. p. 297–314. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2068-8\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2068-8_15)
- [49]. Charles Oluwaseun Adetunji and Osikemekha Anthony Anani. Bio-fertilizer from *Trichoderma*: Boom for Agriculture Production and Management of Soil- and Root-Borne Plant Pathogens. En: *Innovations in Food Technology*. Singapur, Singapur: Springer; 2020. p. 245–55. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/344667268\\_Bio-fertilizer\\_from\\_Trichoderma\\_Boom\\_for\\_Agriculture\\_Production\\_and\\_Management\\_of\\_Soil- and\\_Root-Borne\\_Plant\\_Pathogens](https://www.researchgate.net/publication/344667268_Bio-fertilizer_from_Trichoderma_Boom_for_Agriculture_Production_and_Management_of_Soil- and_Root-Borne_Plant_Pathogens)
- [50]. Manzar N, Kashyap AS, Goutam RS, Rajawat MVS, Sharma PK, Sharma SK, *et al*. *Trichoderma*: Advent of versatile biocontrol agent, its secrets and insights into mechanism of biocontrol potential. *Sustainability*. 2022;14(19):12786. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12786>

[51]. Elnahal ASM, El-Saadony MT, Saad AM, Desoky E-SM, El-Tahan AM, Rady MM, *et al.* The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *Eur J Plant Pathol* [Internet]. 2022;162(4):759–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>