

Uso de los pesticidas y su efecto en el cultivo de *Zea mays*: Una revisión de la literatura

Pesticide use and its effect on *Zea mays* cultivation: A review of the literature.

Uso de pesticidas e seu efeito no cultivo de *Zea mays*: uma revisão da literatura.

Mercedes Carranza-Patiño
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mcarranza@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>



Merilin Contreras-Mora
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mcontrerasm4@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-9601-4433>



Maria Macias-Leon
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mmaciasl3@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-7293-270X>



Paola Pincay-Pin
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
ppincayp@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-8565-9889>



Elena Rendón-Margallón
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mrendonm3@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-0975-5549>



Robinson J. Herrera-Feijoo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
rherreraf2@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/nE2/219>

Como citar:

Carranza-Patiño, M., Contreras-Mora, M., Macias-Leon, M., Pincay-Pin, P., Rendón-Margallón, E., Herrera-Feijoo, R.J. (2023). Uso de los pesticidas y su efecto en el cultivo de *Zea mays*: Una revisión de la literatura. *Código Científico Revista de Investigación*, 4(E2), 1258-1286.

Recibido: 02/07/2023

Aceptado: 27/08/2023

Publicado: 29/09/2023

Resumen

El *Zea mays* (maíz) es un cultivo esencial para la economía mundial y la seguridad alimentaria. El uso excesivo de pesticidas en este cultivo plantea riesgos ambientales y para la salud. El objetivo es promover prácticas agrícolas sostenibles. Esta revisión examina críticamente la investigación sobre los efectos del uso de pesticidas en el cultivo de maíz. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura utilizando bases de datos académicas como Google Scholar, Scielo y Redalyc. Se analizaron estudios publicados entre 2005-2023 sobre el impacto de insecticidas, fungicidas y herbicidas en el maíz. Los estudios revelan efectos perjudiciales del uso excesivo de pesticidas como contaminación del suelo y agua, resistencia de plagas, reducción de la biodiversidad y daños fisiológicos en las plantas. Se encontraron residuos de insecticidas en suelos agrícolas, representando riesgos adicionales. Las alternativas como biopesticidas, extractos botánicos y control biológico emergen como opciones viables y sostenibles. Esta revisión subraya los riesgos del uso excesivo de pesticidas en el maíz y la necesidad de adoptar estrategias integrales, incluyendo prácticas responsables, manejo integrado de plagas y variedades resistentes. Es imperativo implementar soluciones basadas en evidencia científica para garantizar la productividad y sostenibilidad de este cultivo vital.

Palabras clave: Plagas, enfermedades, contaminación, demanda de alimentos, malas hierbas, seguridad alimentaria.

Abstract

Maize *Zea mays* is an essential crop for the global economy and food security. Excessive use of pesticides on this crop poses environmental and health risks. The aim is to promote sustainable agricultural practices. This review critically examines research on the effects of pesticide use in maize cultivation. A comprehensive literature review was conducted using academic databases such as Google Scholar, Scielo and Redalyc. Studies published between 2005-2023 on the impact of insecticides, fungicides and herbicides on maize were analysed. The studies reveal detrimental effects of pesticide overuse such as soil and water contamination, pest resistance, reduced biodiversity and physiological damage to plants. Insecticide residues were found in agricultural soils, posing additional risks. Alternatives such as biopesticides, botanical extracts and biological control emerge as viable and sustainable options. This review highlights the risks of overuse of pesticides in maize and the need to adopt comprehensive strategies, including responsible practices, integrated pest management and resistant varieties. It is imperative to implement evidence-based solutions to ensure the productivity and sustainability of this vital crop.

Keywords: Pests, diseases, contamination, food demand, weeds, food safety.

Resumo

O milho *Zea mays* é uma cultura essencial para a economia global e a segurança alimentar. O uso excessivo de pesticidas nessa cultura representa riscos ambientais e à saúde. O objetivo é promover práticas agrícolas sustentáveis. Esta análise examina criticamente as pesquisas sobre os efeitos do uso de pesticidas na cultura do milho. Foi realizada uma revisão abrangente da literatura usando bancos de dados acadêmicos, como Google Scholar, Scielo e Redalyc. Foram analisados estudos publicados entre 2005 e 2023 sobre o impacto de inseticidas, fungicidas e herbicidas no milho. Os estudos revelam os efeitos prejudiciais do uso excessivo de pesticidas, como contaminação do solo e da água, resistência a pragas, redução da biodiversidade e danos fisiológicos às plantas. Foram encontrados resíduos de inseticidas em solos agrícolas, o que representa riscos adicionais. Alternativas como

biopesticidas, extratos botánicos e controle biológico surgen como opções viáveis e sustentáveis. Esta análise destaca os riscos do uso excessivo de pesticidas no milho e a necessidade de adotar estratégias abrangentes, incluindo práticas responsáveis, manejo integrado de pragas e variedades resistentes. É imperativo implementar soluções baseadas em evidências para garantir a produtividade e a sustentabilidade dessa cultura vital.

Palavras-chave: Pragas, doenças, contaminação, demanda de alimentos, ervas daninhas, segurança alimentar.

Introducción

El *Zea mays* (maíz) es uno de los cultivos más relevantes a nivel global, siendo la base alimenticia de millones de personas y un producto agrícola estratégico para la economía de numerosos países (Guamán et al., 2020; Guzmán et al., 2014). El maíz se puede emplear como alimento tanto para humanos como para animales en todas las etapas de su crecimiento y producción (Sánchez, 2014). La producción mundial que supera los 1,000 millones de toneladas anuales, el maíz representa una fuente primordial de calorías y nutrición, particularmente en regiones en vías de desarrollo (Shiferaw et al., 2011). Se estima que más de 900 millones de personas dependen del maíz como fuente crucial de alimento y subsistencia (Fisher et al., 2015).

A medida que la demanda de alimentos sigue creciendo, surge un problema crítico: el incremento en la aplicación de pesticidas como respuesta a la necesidad de aumentar la producción agrícola y prevenir pérdidas en los cultivos. El uso extensivo de pesticidas plantea preocupaciones tanto para la salud humana como para el medio ambiente, convirtiéndose en un desafío crucial que debe abordarse. El incremento en la aplicación de pesticidas se ha producido como consecuencia de la necesidad de aumentar la producción de alimentos y prevenir las pérdidas en los cultivos (Mahmood et al., 2016). Los pesticidas, incluyendo insecticidas, fungicidas y herbicidas, se han vuelto indispensables para proteger los cultivos de maíz frente a plagas, enfermedades y malezas. Se estima que más del 99% de la superficie global sembrada con maíz utiliza algún tipo de pesticida para maximizar rendimientos (Douglas & Tooker, 2015). El uso indiscriminado de pesticidas plantea preocupaciones sobre

sus posibles efectos negativos en el cultivo de maíz y en el medio ambiente en general (Zhang et al., 2019). Los fungicidas, por su parte, previenen enfermedades fúngicas devastadoras como la roya, el tizón foliar y pudriciones de mazorca. Finalmente, los herbicidas reducen la competencia de malezas agresivas que pueden causar mermas del 30-40% en la producción de maíz (Soltani et al., 2016).

El manejo de malezas mediante herbicidas representa casi la mitad de todo el uso mundial de pesticidas y representa un desafío constante para los agricultores (Sharma et al., 2019). Los productos químicos pueden tener consecuencias indeseables, como la contaminación del suelo y del agua lo cual afecta la calidad de los recursos y la salud de las criaturas que dependen de ellos (Flores-Villegas et al., 2022). En las últimas décadas el uso de pesticidas ha aumentado significativamente. El incremento del uso de pesticidas se debe a la creciente demanda de alimentos y la necesidad de obtener rendimientos óptimos en los cultivos. Los pesticidas se han convertido en una herramienta indispensable para el control de plagas y enfermedades que pueden afectar la calidad y cantidad de la cosecha de maíz (Tudi et al., 2021).

Si bien el uso de pesticidas ha permitido incrementar y estabilizar rendimientos, su empleo excesivo e indiscriminado conlleva graves consecuencias ambientales y para la salud humana. Investigaciones en países productores de maíz como Estados Unidos, China y Brasil han detectado niveles preocupantes de residuos tóxicos en suelos y aguas (Tudi et al., 2021; Nasution et al., 2021). Asimismo, se ha reportado toxicidad de pesticidas en especies no objetivo, como abejas, aves y microorganismos benéficos del suelo (Douglas & Tooker, 2015). La tecnología ha traído ahorros económicos y mejoras en el rendimiento, así como una gestión más eficiente de las malezas. El uso continuado de pesticidas junto con cultivos resistentes ha dado lugar al desarrollo de malezas resistentes, lo que ha llevado a un aumento en la utilización de labranza y otros herbicidas (Duke, 2015).

Considerando estos antecedentes, la presente revisión bibliográfica examina en detalle publicaciones recientes sobre el impacto de pesticidas en maíz, con el fin de promover estrategias más sostenibles en este cultivo estratégico. La finalidad de esta revisión es proporcionar una comprensión completa de la relación entre el uso de pesticidas y el cultivo de maíz para promover prácticas agrícolas más sostenibles y garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo. Al entender los efectos de los pesticidas en este cultivo crucial, podremos promover estrategias de manejo más efectivas y responsables, minimizando los efectos negativos en el entorno y en la salud humana.

Metodología

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda en las bases de datos Google Académico, Dimensions, SCIELO, Redalyc y ResearchGate utilizando combinaciones de las palabras clave "pesticidas", "maíz", "impacto ambiental" y "salud humana" tanto en español como en inglés. Se priorizó la identificación de artículos científicos, revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en revistas especializadas en los últimos ocho años (2015-2023). No se aplicaron restricciones geográficas en la búsqueda.

Selección de estudios

Los estudios identificados fueron examinados en una primera fase según su título y resumen, descartando aquellos que no cumplían los criterios de inclusión: 1) estudios enfocados en el cultivo de maíz, 2) que evaluaran el impacto ambiental o en la salud humana de los pesticidas, 3) cuyos resultados fueran empíricos o estadísticamente analizados. En una segunda fase, se realizó una lectura a texto completo de los estudios preseleccionados para confirmar su relevancia.

Extracción y análisis de datos

La información clave de los estudios incluidos fue extraída y registrada en una tabla resumen en Excel. Los datos compilados incluyeron autor, año, título del estudio, objetivo, métodos, resultados principales y conclusiones (datos no mostrados). Los artículos fueron analizados en relación con los objetivos y preguntas de investigación para sintetizar la evidencia disponible sobre el tema de manera objetiva y luego separados por afinidad en la tabla donde se incluyó las áreas y los autores.

Contexto teórico y conceptual

Pesticidas en maíz: herramientas útiles con un uso responsable

Dentro del ámbito de la producción de maíz, los pesticidas más prevalentes, incluyendo insecticidas, herbicidas y fungicidas, han demostrado su importancia vital para resguardar los cultivos contra amenazas biológicas. Los compuestos químicos juegan un papel constructivo en la optimización de la producción de maíz al protegerlo de plagas perjudiciales, malezas y enfermedades fúngicas (Productividad & Agroproductividad, 2018). Es de suma importancia llevar a cabo una aplicación prudente y controlada de estos pesticidas. La falta de precaución o una aplicación inadecuada pueden desencadenar consecuencias adversas, entre ellas, la generación de resistencia en las plagas, la contaminación del suelo y el agua, el impacto en organismos no deseados y la disminución de la biodiversidad (Togola et al., 2018).

En un enfoque más profundo, hallar un equilibrio entre la utilización de pesticidas y la conservación del entorno natural adquiere un carácter esencial para asegurar una producción sostenible y de alta calidad de maíz (Loddo et al., 2020). La armonización entre la actividad agrícola y la preservación ambiental resulta crítica para garantizar la continuidad de la disponibilidad de maíz de forma sostenible.

Insecticidas para el control del gusano cogollero en maíz: solución efectiva con posibles riesgos

En el cultivo de maíz se destaca la preferencia por la aplicación de insecticidas, especialmente los organofosforados y piretroides con el objetivo de controlar de manera efectiva la presencia del gusano cogollero (Gutiérrez-Olivares et al., 2006). El gusano es una plaga de considerable importancia en este ámbito agrícola al representar una amenaza significativa para la cosecha de maíz en el ámbito agrícola (Pascual & Peris, 1992). Los compuestos químicos contribuyen esencialmente a mitigar el impacto adverso de esta plaga al limitar su proliferación. Es fundamental resaltar que el uso excesivo y prolongado de estos insecticidas acarrea una serie de consecuencias negativas. Uno de los problemas más notorios consiste en la aparición de resistencia por parte del gusano cogollero hacia estos compuestos químicos (Flores-Villegas et al., 2022). Con el tiempo, las poblaciones del gusano pueden evolucionar y adaptarse, lo que disminuye la eficacia de los insecticidas y dificulta su capacidad para controlar la plaga de manera efectiva (Guerrero Padilla, 2018). La resistencia al gusano cogollero surge debido a la selección natural de individuos que presentan algún grado de inmunidad a los insecticidas, lo que gradualmente da paso a una población de plagas más resistentes en su conjunto (Morillo & Notz, 2001). El uso indiscriminado de los insecticidas también perjudica a los insectos beneficiosos presentes en el entorno (Devine et al., 2008). Los insectos cumplen una función crucial en la regulación natural de las poblaciones de plagas al actuar como depredadores naturales (Devine et al., 2008).

La aplicación de insecticidas organofosforados y piretroides en el cultivo de maíz para el control del gusano cogollero (Gutiérrez-Olivares et al., 2006), presenta una solución inmediata para atenuar los daños ocasionados por esta plaga Maia et al. (2016a) . No obstante, es primordial considerar el riesgo de desarrollar resistencia y los posibles efectos secundarios en los insectos beneficiosos (Maia et al., 2016a). En este sentido, adoptar un enfoque integral de gestión de plagas, que abarque diversas estrategias como la utilización de insecticidas selectivos y la promoción de enemigos naturales de las plagas, resulta

fundamental para mantener el equilibrio en el ecosistema agrícola y prevenir consecuencias no deseadas a largo plazo.

El rol clave de los herbicidas en el control de malezas en cultivos de maíz

Los herbicidas desempeñan un papel esencial al controlar las malezas que compiten con los cultivos por recursos como nutrientes, agua y luz solar (Damalas et al., 2018a). Entre las variedades más utilizadas, destacan aquellos que actúan como inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ACL), y el glifosato (Bolaños-Jiménez et al., 2017), los cuales demuestran ser especialmente efectivos en el manejo de malezas de hoja ancha (Loddo et al., 2020). Los herbicidas intervienen en el proceso de crecimiento de las malezas, restringiendo su capacidad para desarrollarse y competir con los cultivos de maíz. Además de su aplicación durante la temporada de crecimiento, también se emplean herbicidas residuales antes de la siembra (Rehman et al., 2017b). Los herbicidas generan una especie de barrera en el suelo que previene el crecimiento temprano de las malezas (Loddo et al., 2020b). Al utilizar los herbicidas se contribuye a establecer un ambiente favorable para el maíz desde el principio, minimizando la competencia con las malezas desde las etapas iniciales de desarrollo (Beckie, 2006).

Entre las categorías de herbicidas, se encuentran los de contacto y los sistémicos, cada uno presentando particularidades en términos de ventajas, desventajas y posibles impactos adversos sobre las plantas de maíz. Los herbicidas de acción contacto son aquellos que generan un efecto al entrar en contacto directo con las partes visibles de las plantas. Estos productos suelen afectar principalmente las zonas expuestas de las malezas, provocando daños al interrumpir procesos como la fotosíntesis. Aunque pueden manifestar resultados visibles y rápidos en las malezas, su efectividad se ve limitada en situaciones de resistencia o cuando la aplicación no es uniforme. Por otra parte, los herbicidas sistémicos son absorbidos por las plantas y se trasladan a través de su sistema vascular. Este mecanismo posibilita la

distribución del herbicida por toda la planta, inclusive en partes no expuestas, como las raíces y otras áreas subterráneas. Los herbicidas sistémicos tienden a ser más efectivos en el control de malezas de difícil acceso y pueden proporcionar una acción prolongada, ya que afectan el crecimiento continuo de la planta tratada. Además, existe un riesgo potencial de afectar a las plantas de maíz si no se manejan adecuadamente, ya que podrían ser absorbidos por el cultivo y causar daños. Las ventajas y desventajas de los herbicidas incluyen su capacidad para reducir la competencia de las malezas por recursos como agua, nutrientes y luz solar, lo que puede beneficiar el rendimiento de cultivos como el maíz. Además, existen inconvenientes y posibles efectos negativos a considerar. Su uso excesivo o incorrecto de herbicidas puede llevar al desarrollo de malezas (Beckie & Reboud, 2009), afectar cultivos no destinados a ser tratados y tener consecuencias perjudiciales para el medio ambiente, como la contaminación del suelo, agua, y afectar a organismos beneficiosos, como microorganismos y lombrices, que son fundamentales para la salud del suelo y el ciclo de nutrientes (Flores-Villegas et al., 2022).

Los herbicidas, especialmente los inhibidores de la acetolactato sintasa ACL, son herramientas cruciales en la gestión de malezas en los cultivos de maíz. El uso estratégico y responsable de los herbicidas puede contribuir a mejorar los rendimientos y la calidad de la cosecha al reducir la competencia con las malezas, como destacan (Bolaños-Jiménez et al., 2017). Es vital tomar precauciones para prevenir el desarrollo de resistencia y la contaminación ambiental (Asela et al., 2014). La implementación de una gestión integrada de malezas, que combine diversos herbicidas, estrategias de manejo cultural y la rotación de cultivos, puede desempeñar un papel fundamental en la preservación de la eficacia de estas herramientas a lo largo del tiempo y en la reducción de su impacto adverso en el entorno (Togola et al., 2018c).

Fungicidas en maíz: control de enfermedades con un enfoque responsable

En el ámbito de la agricultura centrada en el maíz, los fungicidas desempeñan una función vital al prevenir y controlar enfermedades que podrían impactar significativamente en la salud y el rendimiento de los cultivos (Mariscal-Amaro et al., 2020). Entre los fungicidas más comunes utilizados, se destacan los triazoles y las estrobilurinas. Estas sustancias muestran una gran efectividad en la prevención de enfermedades como la roya y el tizón del maíz, patologías que pueden propagarse rápidamente y causar daños considerables a los cultivos (Carmona & Sautua, 2021). También la acción de los triazoles y las estrobilurinas radica en la interferencia de los procesos metabólicos de los hongos patógenos, lo que limita su capacidad de crecimiento y reproducción. La eficacia de los fungicidas contribuye a salvaguardar la vitalidad y productividad de las plantas de maíz al protegerlas de las infecciones fúngicas. Es importante destacar que la aplicación correcta y en el momento adecuado de estos fungicidas puede marcar una diferencia significativa en la salud de los cultivos y en los rendimientos obtenidos (Piñeros-Guerrero et al., 2019).

Es crucial resaltar que el uso excesivo y prolongado de fungicidas puede tener consecuencias adversas, según lo plantea (Guerrero Padilla, 2018). Un aspecto importante es la aparición de cepas de hongos resistentes a estos productos químicos. De manera similar a las plagas de insectos, la exposición constante a los fungicidas puede conducir a la evolución de hongos patógenos con menor susceptibilidad a sus efectos (Piñeros-Guerrero et al., 2019). La resistencia debilita la eficacia de los tratamientos y complica el control de enfermedades fúngicas en el futuro. Una intensiva utilización de fungicidas puede dar lugar a la acumulación de residuos tóxicos en los granos de maíz, los cuales eventualmente ingresan en la cadena alimentaria humana y animal (Mariscal-Amaro et al., 2020). La presencia de estos residuos plantea preocupaciones relacionadas con la seguridad alimentaria y la salud pública. Por lo tanto, resulta esencial adoptar prácticas de manejo responsable que reduzcan la

necesidad de un uso excesivo de fungicidas y que consideren la protección del entorno y la salud de los consumidores (Strada et al., 2012).

Los fungicidas, como los triazoles y las estrobilurinas, desempeñan un papel crucial en la protección de los cultivos de maíz contra enfermedades fúngicas dañinas. Su aplicación adecuada puede ser una estrategia efectiva para garantizar rendimientos saludables (Mariscal-Amaro et al., 2020). Es fundamental evitar un uso inadecuado de estos productos con el fin de prevenir la resistencia de hongos patógenos y la acumulación de residuos tóxicos en los alimentos. Un enfoque equilibrado y sostenible en la gestión de enfermedades fúngicas es esencial para asegurar la vitalidad de los cultivos y la seguridad de la cadena alimentaria.

Los fungicidas desempeñan un papel crucial en la prevención de enfermedades fúngicas en los cultivos de maíz. La aplicación repetida de los mismos fungicidas puede propiciar la aparición de cepas resistentes de hongos. Estas cepas pueden ser más difíciles de controlar y debilitar la efectividad de los tratamientos, aumentando así el riesgo de pérdida de cultivos. Estos efectos adversos en conjunto pueden tener un impacto negativo en la productividad y calidad del cultivo de maíz en el mediano y largo plazo (Asela et al., 2014).

Efectos de los plaguicidas en el cultivo de maíz

En el ámbito de la agricultura del maíz, los insecticidas juegan un papel esencial al controlar insectos perjudiciales, aunque su alcance no se limita únicamente a estas plagas (Guerrero Padilla, 2018). También pueden afectar a insectos benéficos, que desempeñan un papel vital en la regulación natural de las poblaciones de plagas. La alteración en el equilibrio del ecosistema puede permitir que las plagas se multipliquen sin control alguno. Además, la aplicación repetida de los mismos insecticidas puede provocar la resistencia en las plagas que se busca controlar. A medida que estas plagas se exponen de manera constante a los mismos productos químicos, pueden desarrollar resistencia, lo que reduce la eficacia de los

insecticidas y puede requerir medidas más drásticas para mantenerlas bajo control (Nasution et al., 2021).

El desequilibrio ecológico, la resistencia en las plagas, los residuos de herbicidas en el suelo y la aparición de cepas resistentes de hongos pueden socavar las estrategias de manejo y afectar la salud y el rendimiento de los cultivos con el paso del tiempo. Por ende, es esencial adoptar un enfoque integral en la gestión de plagas y enfermedades. Esto implica la rotación de diferentes tipos de pesticidas, la promoción de prácticas agrícolas que beneficien a los insectos benéficos, la consideración de medidas de manejo cultural y la búsqueda de alternativas sostenibles que minimicen los impactos negativos en el ecosistema y en la producción sostenible de maíz (Jáquez-Matas et al., 2022).

Tendencias en el uso de plaguicidas en maíz

En el contexto de la agricultura relacionada con el maíz, se está observando una marcada tendencia hacia la reducción en el uso de pesticidas químicos sintéticos. Esta tendencia se está materializando a través de diversas estrategias, como la rotación de cultivos, la adopción de variedades de maíz resistentes a plagas y enfermedades, y la implementación de métodos de control biológico (Guerrero Padilla, 2018). El objetivo principal es lograr un enfoque en la gestión de plagas que integre diversas prácticas, con el propósito de brindar una protección óptima al cultivo y, al mismo tiempo, minimizar los efectos adversos en el entorno y la salud humana (Pascual & Peris, 1992). Esta transición hacia métodos de manejo más sostenibles y en armonía con el entorno surge de la conciencia de los desafíos y riesgos asociados al uso excesivo de pesticidas químicos. Por ejemplo, la rotación de cultivos implica cambiar los tipos de cultivos en una zona específica, lo que interrumpe el ciclo de vida de las plagas y reduce su presencia. Como resultado, se reduce la dependencia de los pesticidas como única medida de control.

Las variedades de maíz con resistencia a plagas y enfermedades se han convertido en una herramienta altamente valorada (Damalas et al., 2018). Estas variedades son el resultado de modificaciones genéticas que incorporan características que disminuyen la susceptibilidad del cultivo frente a amenazas biológicas. Este enfoque no solo reduce la necesidad de emplear pesticidas, sino que también refuerza la capacidad global del cultivo para afrontar desafíos. En paralelo, la adopción de métodos de control biológico se fundamenta en la introducción de enemigos naturales de las plagas con el propósito de mantener sus poblaciones bajo control (William Fernando et al., 2020). Entre estas estrategias se incluye la liberación de insectos depredadores o parásitos que se alimentan de las plagas, lo que reduce su número y minimiza los daños al cultivo. Para lograr la exitosa implementación de estas prácticas, es esencial contar con un profundo entendimiento de los agroecosistemas y proporcionar capacitación adecuada a los agricultores (Yesenia García-Pineda & Danilo Bravo-Vallejos, 2022). Los agricultores deben estar informados sobre las estrategias más efectivas y tener la capacidad de adaptarlas a las condiciones locales específicas. Además, se requiere un compromiso a largo plazo para implementar y ajustar estas estrategias a medida que se acumula conocimiento sobre su eficacia y su impacto en el terreno.

La corriente actual en la agricultura del maíz busca reducir la dependencia de pesticidas químicos sintéticos a través de la adopción de prácticas más sostenibles, como la rotación de cultivos, la utilización de variedades resistentes y la aplicación de técnicas de control biológico. Este cambio tiene como propósito alcanzar un equilibrio entre la protección de los cultivos y la conservación del entorno. Sin embargo, para que estas estrategias sean efectivas, se requiere un mayor nivel de educación y capacitación para que los agricultores puedan llevar a cabo estas prácticas de manera eficaz (Chapagain 2011).

El uso de plaguicidas en el cultivo de maíz: riesgos y alternativas

Según las investigaciones realizadas por Guamán-Guamán et al., (2020), el maíz tiene una relevancia global destacada. Costantini & Bacenetti (2021) respaldan esta afirmación, enfatizando su uso principal en alimentación humana, animal y, más recientemente, como fuente de biocombustibles. Para abordar la protección del maíz frente a plagas y enfermedades, se recurre comúnmente a plaguicidas, incluyendo insecticidas, fungicidas y herbicidas (Hernández et al., 2019). El empleo excesivo o inapropiado de estos compuestos puede tener efectos perjudiciales en rendimiento y calidad de la cosecha (Zhang et al., 2019). Las principales categorías de plaguicidas aplicados al cultivo de maíz comprenden insecticidas, utilizados para controlar insectos perjudiciales como el gusano cogollero, (Togola et al., 2018); herbicidas empleados para suprimir malezas como la grama Rhodes, (Owen & Zelaya, 2005); y fungicidas, usados para mitigar enfermedades fúngicas como la podredumbre de la mazorca. No obstante, una proporción significativa de estos agentes químicos posee alta toxicidad y residuos persistentes, lo que plantea riesgos ambientales y para la salud humana (Niewiadomska et al., 2018). Pese a estos riesgos, su utilización ofrece la capacidad de controlar plagas y enfermedades que, de lo contrario, ocasionarían notables pérdidas en la producción.

El maíz se enfrenta a la amenaza de diversos parásitos animales que ocasionalmente se convierten en plagas, tales como ácaros, insectos, nemátodos, roedores y aves. Estos agentes provocan daños en diferentes partes de la planta. Las cuatro principales categorías de agentes patógenos que afectan al cultivo de maíz son hongos, bacterias, virus y mollicutes. Estas enfermedades representan desafíos significativos para los productores de maíz en múltiples países. A pesar de que se ha considerado el uso de fungicidas para controlar estas enfermedades, estudios realizados en invernaderos, como el llevado a cabo por Beckie, (2006), han demostrado que la aplicación de bacterias epifíticas en las plantas puede reducir

notablemente la gravedad de enfermedades como el tizón en el cultivo de maíz. La producción de maíz se ve impactada por diversas condiciones, incluyendo sequías o exceso de precipitaciones, entre otros factores, como lo apuntan García Juárez et al. (2019). Para abordar estos retos adversos, comúnmente se recurre al uso de productos químicos agrícolas, lo que puede causar daños secundarios al medio ambiente y a la salud humana. La producción y consumo del maíz han tenido una importancia sobresaliente desde tiempos prehispánicos, como indica el mismo autor. La aplicación de insecticidas y la adopción de enfoques como el control físico, natural y biológico son contemplados como opciones efectivas para combatir las plagas y enfermedades que afectan al cultivo (Jáquez-Matas et al., 2022). La aplicación de pesticidas conllevan un potencial riesgo para la seguridad alimentaria, al presentar amenazas a la inocuidad del maíz, lo que podría originar una eventual amenaza a la seguridad alimentaria (García Juárez et al., 2019).

Las tendencias actuales apuntan hacia la reducción en la utilización de plaguicidas sintéticos. Una de las opciones es la aplicación de estrategias como la rotación de cultivos (Veres et al., 2020), junto con la adopción de variedades resistentes y la implementación de controles biológicos están tomando cada vez más relevancia (Hernández et al., 2019). El objetivo es lograr una gestión integrada de plagas que garantice la protección del cultivo a la vez que se minimizan los impactos negativos sobre el medio ambiente. Estas prácticas demandan una comprensión más profunda de los agroecosistemas y una mayor capacitación de los agricultores. La continua utilización de plaguicidas químicos está contribuyendo a una crisis agrícola que dificulta la conservación de los ecosistemas y los recursos naturales. El uso indiscriminado también afecta la salud de las comunidades rurales y de los consumidores urbanos (Asela et al., 2014) Un aspecto particularmente afectado es el agua, elemento vital para la vida y la agricultura. Los plaguicidas contaminan fácilmente este recurso, siendo

arrastrados y vertidos en fuentes como mares, ríos y pozos, lo que resulta en la toxicidad del agua (Guerrero Padilla, 2018).

En síntesis, las investigaciones respaldan la importancia global del maíz, utilizado en alimentación humana, animal y como fuente de biocombustibles. Para protegerlo de amenazas, se recurre comúnmente a plaguicidas, como insecticidas, fungicidas y herbicidas. El uso excesivo de estos compuestos puede tener consecuencias negativas. Aunque presentan riesgos, su aplicación adecuada es esencial para controlar plagas y enfermedades que podrían causar pérdidas importantes en la producción.

Resultados

Los resultados de las investigaciones examinadas se organizaron en categorías principales que se relacionaron con los autores de cada investigación (Tabla 1). Diversos estudios se han enfocado en evaluar estrategias para reducir el uso de insecticidas y herbicidas en el cultivo de maíz, dado los impactos ambientales y de salud asociados al uso excesivo de estos compuestos químicos (Coupe & Capel, 2016; Martín-Pozo et al., 2023). Otro conjunto de investigaciones ha examinado los efectos del uso de herbicidas sobre el control de malezas, evidenciando beneficios en productividad, pero también riesgos de generar resistencia y contaminación de suelos y aguas (Loddo et al., 2020; Bartucca et al., 2019).

Tabla 1

Resultados de las principales investigaciones relacionadas con uso de los pesticidas y su efecto en el cultivo de Zea mays.

Área de estudio	Autores relacionados
Reducción del uso insecticida y herbicidas	(Coupe & Capel, 2016; Martín-Pozo et al., 2023)
Aplicación de los herbicidas para el control de maleza	(Bartucca et al., 2019; Damalas et al., 2018; Idziak et al., 2023; Loddo et al., 2020; Nadeem et al., 2008; Niewiadomska et al., 2018; Rehman et al., 2017)
Uso de Plaguicidas en	(Figuroa Gualteros et al., 2019; Hernández et al., 2019; Jáquez-

el cultivo de <i>Zea mays</i>	Matas et al., 2022; Maia et al., 2016; Nasution et al., 2021; Wang et al., 2021; Zhang et al., 2019)
Maíz transgénico resistente a los pesticidas	(Duke, 2015; Owen & Zelaya, 2005; Suriani et al., 2023)
Uso de los fungicidas para tratar el hongo de maíz	(Flores-Villegas et al., 2022; Hernández-Trejo et al., 2019; Langemeier et al., 2017; Togola et al., 2018)
Tipos de maíz resistentes a plagas	(Brookes & Dinh, 2021)
Hongos entomopatógenos en el cultivo de maíz	(Arispe-Vázquez et al., 2023; Nadeem et al., 2008; Russo et al., 2019; Veres et al., 2020; Wang et al., 2021)

Impactos ambientales de los pesticidas en cultivos de maíz

Diversos estudios han evidenciado efectos perjudiciales de los pesticidas sobre el medio ambiente en cultivos de maíz. El uso excesivo de estos compuestos químicos puede provocar la contaminación de suelos y fuentes hídricas (Niewiadomska et al., 2018). Asimismo, investigaciones de Coupe & Capel (2016) señalan que la acumulación de residuos de pesticidas en el entorno agrícola genera un impacto negativo sobre la biodiversidad, afectando a especies no objetivo como insectos benéficos, aves y microorganismos del suelo. Se han encontrado residuos de insecticidas organofosforados y piretroides en muestras de suelo provenientes de campos cultivados con maíz, representando tanto un riesgo ecológico como para la salud humana (Togola et al., 2018). Asimismo, la presencia de pesticidas en los suelos reduce la actividad microbiana y enzimática, crucial para la descomposición de materia orgánica y reciclaje de nutrientes (Niewiadomska et al., 2018).

Otros efectos ambientales adversos de los pesticidas incluyen perturbaciones en la composición de nutrientes y pigmentos en las plantas de maíz (Wang et al., 2021). También se han reportado daños fisiológicos en el cultivo, como la inhibición de la fotosíntesis, reducción del crecimiento y necrosis foliar (Turkyilmaz Unal & Esiz Dereboylu, 2015). A

nivel de ecosistemas, el uso prolongado de estas sustancias puede afectar negativamente la diversidad biológica de los agroecosistemas y áreas naturales circundantes.

Resistencia a los pesticidas

A pesar de la introducción de cultivos de maíz genéticamente modificados resistentes a herbicidas, el uso total de pesticidas a nivel global no ha disminuido de forma significativa en las últimas décadas (Coupe & Capel, 2016). Por el contrario, se observa un aumento alarmante en la resistencia de insectos y malezas a los pesticidas químicos, incluso en cultivos transgénicos. Este es un problema complejo, que subraya la necesidad urgente de implementar estrategias integrales y diversificadas para el manejo de plagas, que vayan más allá del control químico.

Entre los factores que propician la resistencia se encuentran el uso repetido de los mismos productos químicos, la expansión de monocultivos y prácticas agronómicas homogenizadas. Es indispensable abordar las causas subyacentes de las plagas y diversificar las estrategias de control a campo como la rotación de principios activos e incorporación de otras medidas preventivas y curativas.

Alternativas sostenibles a los pesticidas convencionales

Frente a esta problemática, se han propuesto alternativas más amigables con el medio ambiente, como biopesticidas, extractos botánicos y control biológico de plagas. Éstas representan opciones viables y eficaces para proteger los cultivos de una manera más sostenible.

Dentro de los biopesticidas, los hongos entomopatógenos son particularmente promisorios para el control de plagas en el cultivo de maíz, como lo demuestran los estudios de Wang et al. (2021) y Veres et al. (2020). Estos organismos pueden reducir las poblaciones de insectos perjudiciales sin los efectos colaterales de los pesticidas sintéticos. Asimismo, se han

obtenido resultados positivos con el empleo de extractos vegetales, como los derivados de *Datura stramonium*, para el control de la mosca sierra en maíz (Flores-Villegas et al., 2022).

Otra alternativa son los cultivos transgénicos que sintetizan compuestos bioinsecticidas, como las feromonas. Un ejemplo es el desarrollo de maíz Bt con genes que codifican para una feromona sexual que confunde a la palomilla del maíz, reduciendo su apareamiento y daños al cultivo (Suriani et al., 2023). Si bien la biotecnología puede aportar soluciones prometedoras, es necesario evaluar meticulosamente sus impactos ambientales y sociales antes de la liberación comercial de cualquier evento transgénico.

La diversidad de cultivos y el cultivo en asocio pueden aumentar la eficacia de los enemigos naturales y optimizar las funciones y los procesos del agroecosistema, tales como la regulación de los organismos dañinos, el reciclaje de nutrientes, la producción de biomasa y la formación de materia orgánica. El uso exitoso del cultivo en asocio para el manejo de plagas depende de un entendimiento riguroso de cómo las características de cada cultivo y sus combinaciones influyen en el comportamiento de las plagas y en la eficacia de los enemigos naturales (Smith et al., 2012).

El uso excesivo de pesticidas químicos en el cultivo de maíz ha generado problemas como la contaminación ambiental, efectos negativos en la salud y la aparición de resistencia en plagas y enfermedades. En vista de esta problemática, resulta necesario transitar hacia un manejo más sostenible de los problemas fitosanitarios en este cultivo.

Recomendaciones para un manejo sostenible de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz

- Implementar programas integrales de manejo de plagas, incorporando principios de control biológico, biopesticidas, manejo de hábitat, variedades resistentes y otras estrategias preventivas.

- Monitorear las poblaciones de insectos plaga y malezas para determinar los umbrales de daño económico antes de aplicar cualquier pesticida químico.
- Diversificar los métodos de control y principios activos utilizados, evitando la sobre dependencia en un solo producto. Rotar insecticidas y herbicidas con diferentes modos de acción para prevenir resistencias.
- Fomentar el uso de variedades de maíz con resistencia natural a plagas prioritarias de la zona o país.
- Invertir en investigación participativa con agricultores para validar alternativas sostenibles de control fitosanitario en las condiciones locales.
- Desarrollar tecnologías de precisión para optimizar la aplicación de pesticidas, como drones, imágenes satelitales y sistemas de dosificación variable.
- Implementar buenas prácticas agronómicas como rotación de cultivos, manejo de rastrojos y fertilización balanceada para prevenir plagas.
- Educar a los productores sobre el uso responsable, dosificación y técnicas seguras de aplicación de pesticidas para minimizar riesgos.
- Establecer políticas que incentiven la transición hacia manejo integrado de plagas y penalicen el uso excesivo de pesticidas altamente tóxicos.

Es fundamental avanzar hacia sistemas de producción de maíz más diversificados y ecológicamente sustentables, que combinen adecuadamente métodos biológicos, biotecnológicos y químicos para el manejo fitosanitario. Se requieren mayores inversiones en investigación agroecológica participativa para validar alternativas viables en diferentes contextos socioambientales. Las políticas públicas deben desincentivar el control químico excesivo e incentivar la adopción de estrategias integrales para la gestión de plagas. La literatura enfatiza los riesgos del control químico excesivo de plagas y malezas en el maíz. Se

requiere un enfoque holístico, combinando métodos biológicos, biotecnológicos, culturales y químicos responsables, para lograr una producción sustentable.

Discusión

Los estudios examinados revelan que el uso excesivo de pesticidas en el cultivo de maíz conlleva efectos perjudiciales tanto ambientales como para la salud humana. A pesar de la adopción de variedades transgénicas resistentes, no se ha logrado una reducción sustancial en el empleo de estos compuestos químicos (Coupe & Capel, 2016). Por el contrario, surge un patrón alarmante de resistencia de malezas e insectos, demandando estrategias diversificadas de manejo integrado de plagas. Este problema subraya la necesidad de implementar estrategias integrales y diversificadas para el manejo de plagas, que vayan más allá del control químico.

Investigaciones en México evidenciaron altos costos ecológicos del control químico en maíz (Jáquez-Matas et al., 2022), mientras que en Colombia se validó la efectividad de biopesticidas vegetales como alternativa más sostenible (Figuroa-Gualteros et al., 2019). El potencial de hongos entomopatógenos para el control biológico de plagas también ha sido demostrado por múltiples estudios (Wang et al., 2021; (Arispe-Vázquez et al., 2023). Además de los impactos ambientales, se han observado efectos negativos en el cultivo de maíz debido al uso de pesticidas. Estos efectos incluyen perturbaciones en la composición de nutrientes y pigmentos en las plantas, así como daños fisiológicos como la inhibición de la fotosíntesis, la reducción del crecimiento y la necrosis foliar (Turkyilmaz Unal & Esiz Dereboylu, 2015).

Si bien los herbicidas facilitan el manejo de malezas, su uso repetitivo puede llevar a resistencia y daños ambientales por contaminación de suelos y cursos de agua (Bartucca et al., 2019). Una combinación balanceada con otros métodos de control culturales y mecánicos,

así como la rotación de principios activos con distintos mecanismos de acción, es altamente recomendable (Idziak et al., 2023).

En cuanto a insecticidas, se ha reportado fitotoxicidad en el propio cultivo de maíz dependiendo de la variedad y dosis aplicada (Turkyilmaz Unal & Esiz Dereboylu, 2015). Además, en varios estudios se han detectado residuos de estos compuestos en granos cosechados, representando un riesgo para los consumidores (Togola et al., 2018). Esta problemática enfatiza la necesidad de implementar estrategias de control biológico más seguras.

Respecto a fungicidas, aunque su uso es indispensable para combatir enfermedades como el tizón del maíz, también presentan desventajas como el desarrollo de resistencia en los patógenos blanco y la presencia de residuos en la cosecha (Langemeier et al., 2017). Por ello, se sugiere complementarlos con variedades de maíz resistentes, prácticas culturales preventivas y posible biofungicidas. Los hongos entomopatógenos y los extractos vegetales han demostrado ser eficaces en el control de plagas sin los efectos colaterales de los pesticidas sintéticos (Wang et al., 2021). Además, se han desarrollado cultivos transgénicos que sintetizan compuestos bioinsecticidas, como feromonas, para el control de plagas específicas (Suriani et al., 2023).

Un reto clave es la validación de alternativas ecológicas para el manejo fitosanitario del maíz en diferentes contextos agroclimáticos y socioeconómicos. Como señalan Veres et al. (2020), se requiere mayor investigación participativa con agricultores para adaptar y adoptar estas estrategias sostenibles en función de sus necesidades y condiciones. El uso integrado y responsable de opciones químicas y no químicas parece ser la solución más equilibrada. Es importante destacar que el éxito en la gestión de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz requiere un enfoque integral. Esto incluye la implementación de programas de manejo de plagas que incorporen principios de control biológico, biopesticidas, manejo de hábitat,

variedades resistentes y otras estrategias preventivas. También es esencial monitorear las poblaciones de plagas y malezas para determinar los umbrales de daño económico antes de aplicar cualquier pesticida químico y diversificar los métodos de control y principios activos utilizados.

Es necesario transitar hacia un manejo agroecológico de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz, mediante la reducción de la dependencia en pesticidas sintéticos e incorporando alternativas biológicas, biotecnológicas y culturales validadas localmente. Las políticas públicas pueden fomentar este proceso mediante incentivos a la reconversión productiva agroecológica y mayor apoyo a la investigación participativa con agricultores en tecnologías apropiadas de control fitosanitario. Los avances científicos actuales proveen herramientas prometedoras para avanzar en esta dirección hacia sistemas de producción de maíz más sustentables.

El uso excesivo de pesticidas químicos en el cultivo de maíz ha generado una serie de problemas ambientales y de salud. Para abordar esta problemática de manera efectiva, es crucial avanzar hacia sistemas de producción de maíz más diversificados y ecológicamente sustentables, que combinen adecuadamente métodos biológicos, biotecnológicos y químicos para el manejo fitosanitario. Esto requerirá inversiones en investigación agroecológica participativa y políticas públicas que promuevan prácticas agrícolas responsables y sostenibles.

Conclusión

Si bien los pesticidas ayudan a controlar plagas y mejorar rendimientos, su uso excesivo conlleva graves consecuencias tanto ecológicas como para la salud que deben abordarse. La creciente resistencia de malezas e insectos a los agroquímicos resalta la necesidad urgente de implementar un manejo integrado de plagas, rotando principios activos e incorporando

métodos biológicos y culturales. Alternativas más sostenibles como biopesticidas, extractos botánicos y control biológico han mostrado ser opciones viables para reemplazar parcialmente los pesticidas sintéticos en el cultivo de maíz.

Se requiere mayor investigación para validar estas alternativas ecológicas en diferentes contextos locales, a través de ensayos participativos con agricultores. Las políticas públicas pueden contribuir promoviendo variedades de maíz resistentes, regulando pesticidas altamente tóxicos y fomentando la transición agroecológica mediante incentivos.

La evidencia indica que es necesario transformar los sistemas productivos de maíz para reducir la dependencia en pesticidas e incorporar alternativas más seguras y sustentables, a fin de preservar la salud y el ambiente sin afectar la productividad. Se necesitan mayores esfuerzos integrales en investigación, extensión agrícola y políticas públicas para viabilizar esta transición.

Referencias bibliográficas

- Arispe-Vázquez, J. L., Sánchez-Arizpe, A., Cadena-Zamudio, D. A., Galindo-Cepeda, M. E., Noriega-Cantú, D. H., Barrón-Bravo, O. G., Carnero-Avilés, L., Mayo-Hernández, J., Ramírez-Sánchez, S. E., & Antonio-Bautista, A. (2023). The Beneficial Effect of *Trichoderma* spp. in Seed Treatment of Four Maize (*Zea mays* L.) Genotypes. *American Journal of Plant Sciences*, 14(06), 625–637. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.146042>
- Asela, D., Del Puerto Rodríguez, M., Susana, D., Tamayo, S., Daniel, L., & Palacio Estrada, E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud Effects of pesticides on health and the environment. In *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* (Vol. 52, Issue 3).
- Bartucca, M. L., Mimmo, T., Cesco, S., Panfili, I., & Del Buono, D. (2019). Effect of metribuzin on nitrogen metabolism and iron acquisition in *Zea mays*. *Chemistry and Ecology*, 35(8), 720–731. <https://doi.org/10.1080/02757540.2019.1641493>
- Beckie, H. J. (2006). Herbicide-Resistant Weeds: Management Tactics and Practices. *Weed Technology*, 20(3), 793–814. <https://doi.org/10.1614/wt-05-084r1.1>
- Beckie, H. J., & Reboud, X. (2009). Selecting for Weed Resistance: Herbicide Rotation and Mixture. *Weed Technology*, 23(3), 363–370. <https://doi.org/10.1614/wt-09-008.1>
- Bolaños-Jiménez, J., Uscanga-Mortera, E., Tafoya-Razo, J. A., Kohashi-Shibata, J., & Torres-García, J. R. (2017). Aprobado: septiembre. In *Publicado como ARTÍCULO en*

Agrociencia (Vol. 52).

- Brookes, G., & Dinh, T. X. (2021). The impact of using genetically modified (GM) corn/maize in Vietnam: Results of the first farm-level survey. *GM Crops and Food*, 12(1), 71–83. <https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1816800>
- Carmona, M. A., & Sautua, F. J. (2021). 41 (2) *Rev. Facultad de agRonomía UBA* (Vol. 41, Issue 2).
- Chapagain, R. (2011). Ensayo. *Rev Costarr Salud Pública*, 20(2), 124–129.
- Costantini, M., & Bacenetti, J. (2021). Soybean and maize cultivation in South America: Environmental comparison of different cropping systems. *Cleaner Environmental Systems*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100017>
- Coupe, R. H., & Capel, P. D. (2016). Trends in pesticide use on soybean, corn and cotton since the introduction of major genetically modified crops in the United States. *Pest Management Science*, 72(5), 1013–1022. <https://doi.org/10.1002/ps.4082>
- Damalas, C. A., Gitsopoulos, T. K., Koutroubas, S. D., Alexoudis, C., & Georgoulas, I. (2018). Weed control and selectivity in maize (*Zea mays* L.) with tembotrione mixtures. *International Journal of Pest Management*, 64(1), 11–18. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1293307>
- Devine, G. J., Eza, D., Ogusuku, E., & Furlong, M. J. (2008). USO DE INSECTICIDAS: CONTEXTO Y CONSECUENCIAS ECOLÓGICAS* INSECTICIDE USE: CONTEXT AND ECOLOGICAL CONSEQUENCES. In *Rev Peru Med Exp Salud Publica* (Vol. 25, Issue 1).
- Douglas, M. R., & Tooker, J. F. (2015). Large-scale deployment of seed treatments has driven rapid increase in use of neonicotinoid insecticides and preemptive pest management in US field crops. *Environmental Science & Technology*, 49(8), 5088–5097.
- Duke, S. O. (2015). Perspectives on transgenic, herbicide-resistant crops in the United States almost 20 years after introduction. *Pest Management Science*, 71(5), 652–657. <https://doi.org/10.1002/ps.3863>
- Figueroa Gualteros, A. M., Castro Triviño, E. A., Castro Salazar, H. T., FIGUEROA GUALTEROS, A. M., CASTRO TRIVIÑO, E. A., & CASTRO SALAZAR, H. T. (2019). Efecto bioplaguicida de extractos vegetales para el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 58–66. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69333>
- Fisher, M., Abate, T., Lunduka, R. W., Asnake, W., Alemayehu, Y., & Madulu, R. B. (2015). Drought tolerant maize for farmer adaptation to drought in sub-Saharan Africa: Determinants of adoption in eastern and southern Africa. *Climatic Change*, 133, 283–299.
- Flores-Villegas, M. Y., Ordaz-Díaz, L. A., Madrid-Del Palacio, M., García-Gutiérrez, C., Zazueta-Álvarez, D. E., Bailón-Salas, A. M., Flores-Villegas, M. Y., Ordaz-Díaz, L. A., Madrid-Del Palacio, M., García-Gutiérrez, C., Zazueta-Álvarez, D. E., & Bailón-Salas, A. M. (2022). Insecticida biorracional contra el gusano de la raíz del maíz en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(8), 1423–1431. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i8.2934>

- García Juárez, G., Hernández Vázquez, M., Orozco Bolaños, H., & Suárez González, G. (2019). Agroquímicos y presencia de aflatoxinas en maíz de temporal almacenado: riesgos para la seguridad alimentaria en el estado de Tlaxcala, México. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 8(16), 106–130. <https://doi.org/10.23913/ciba.v8i16.93>
- Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., & Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 047–056. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Guerrero Padilla, A. M. (2018). Manejo de plaguicidas en cultivos de *Zea mays* L. (Poaceae), *Brassica cretica* Lam. (Brassicaceae), *Apium graveolens* L., *Coriandrum sativum* L. (Apiaceae), *Allium fistulosum* L. (Amaryllidaceae) en la campiña de Moche, Trujillo, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 159–178. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25110>
- Gutiérrez-Olivares, M., Concepción Rodríguez-Maciél, J., Llanderal-Cázares, C., Terán-Vargas, A. P., Lagunes-Tejeda, Á., & Díaz-Gómez, O. (2006). *Aprobado: Septiembre*.
- Guzmán, E., de la Garza Carranza, M. T., Farías, J. P. G., & Martínez, J. H. (2014). Análisis de los costos de producción de maíz en la Región Bajío de Guanajuato. *Análisis Económico*, 29(70), 145–156.
- Hernández-Trejo, A., Estrada Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., García Giron, J. M., Patiño-Arellano, S. A. A., Osorio-Hernández, E., Hernández-Trejo, A., Estrada Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., García Giron, J. M., Patiño-Arellano, S. A., & Osorio-Hernández, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 803–813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>
- Hernández, H. U. B., Aguilar, H. T., Cruz, G. S., Velasco, L. R., & Martínez, A. Z. (2019). Uso de plaguicidas en el cultivo de maíz en zonas rurales del Estado de Oaxaca, México. *Revista de Salud Ambiental*, 19(1), 23–31.
- Idziak, R., Sobczak, A., Waligora, H., & Szulc, P. (2023). Impact of Multifunctional Adjuvants on Efficacy of Sulfonylurea Herbicide Applied in Maize (*Zea mays* L.). *Plants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051118>
- Jáquez-Matas, S. V., Pérez-Santiago, G., Márquez-Linares, M. A., Pérez-Verdín, G., Jáquez-Matas, S. V., Pérez-Santiago, G., Márquez-Linares, M. A., & Pérez-Verdín, G. (2022). IMPACTOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LOS PLAGUICIDAS EN CULTIVOS DE MAÍZ, ALFALFA Y NOGAL EN DURANGO, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38. <https://doi.org/10.20937/RICA.54169>
- Langemeier, C. B., Robertson, A. E., Wang, D., Jackson-Ziems, T. A., & Kruger, G. R. (2017). Factors affecting the development and severity of Goss's bacterial wilt and leaf blight of corn, caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis*. *Plant Disease*, 101(1), 54–61. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-15-0038-RE>
- Loddo, D., Scarabel, L., Sattin, M., Pederzoli, A., Morsiani, C., Canestrà, R., & Tommasini, M. G. (2020). Combination of herbicide band application and inter-row cultivation provides sustainable weed control in maize. *Agronomy*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy10010020>
- Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A., & Hakeem, K. R. (2016). Effects of pesticides on environment. *Plant, Soil and Microbes: Volume 1: Implications in Crop*

Science, 253–269.

- Maia, J. B., Carvalho, G. A., Medina, P., Garzón, A., Gontijo, P. da C., & Viñuela, E. (2016). Lethal and sublethal effects of pesticides on *Chrysoperla carnea* larvae (Neuroptera: Chrysopidae) and the influence of rainfastness in their degradation pattern over time. *Ecotoxicology*, 25(5), 845–855. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1641-y>
- Mariscal-Amaro, L. A., Villaseñor-Mir, H. E., Solís-Moya, E., Hortelano-Santa Rosa, R., & Martínez-Cruz, E. (2020). EFFECT OF FUNGICIDES ON AGRONOMIC TRAITS, YIELD AND LEAF BLIGHTS IN RAINFED WHEAT IN MEXICO. In *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex* (Vol. 43, Issue 1).
- Martín-Pozo, L., Arena, K., Cacciola, F., Dugo, P., & Mondello, L. (2023). Development and validation of a multi-class analysis of pesticides in corn products by comprehensive two-dimensional liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1701, 464064. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2023.464064>
- Morillo, F., & Notz, A. (2001). *Entomotropica antes/formerly Boletín de Entomología Resistencia de Spodoptera frugiperda (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil*. 16(2), 79–87.
- Nadeem, M. A., Ahmad, R., Khalid, M., Naveed, M., Tanveer, A., & Ahmad, J. N. (2008). GROWTH AND YIELD RESPONSE OF AUTUMN PLANTED MAIZE (*ZEA MAYS* L.) AND ITS WEEDS TO REDUCED DOSES OF HERBICIDE APPLICATION IN COMBINATION WITH UREA. In *Pak. J. Bot* (Vol. 40, Issue 2).
- Nasution, E. K. I., Harahap, S., Bisri, A., & Nasution, K. F. (2021). Test of Some Varieties and Application Pesticides of Cloves Leaves to Eliminate Worm in Corn (*Zea mays* L.). *Jurnal Pertanian Tropik*, 8(1), 38–43. <https://doi.org/10.32734/jpt.v8i1.5455>
- Niewiadomska, A., Sulewska, H., Wolna-Maruwka, A., Waraczewska, Z., Budka, A., & Ratajczak, K. (2018). An assessment of the influence of selected herbicides on the microbial parameters of soil in maize (*Zea mays*) cultivation. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(4), 4735–4752. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_47354752
- Owen, M. D. K., & Zelaya, I. A. (2005). Herbicide-resistant crops and weed resistance to herbicides. *Pest Management Science*, 61(3), 301–311. <https://doi.org/10.1002/ps.1015>
- Pascual, J. A., & Peris, S. J. (1992). EFFECTS OF FOREST SPRAYING WITH TWO APPLICATION RATES OF CYPERMETHRIN ON FOOD SUPPLY AND ON BREEDING SUCCESS OF THE BLUE TIT (*PARUS CAERULEUS*) (Issue 11).
- Piñeros-Guerrero, N., Maldonado-Archila, G., & Gómez-Caro, S. (2019). Effect of thermal and in vitro fungicide treatments on pathogens of the genus *Fusarium* associated with maize seeds. *Agronomía Colombiana*, 37(3), 228–238. <https://doi.org/10.15446/AGRON.COLOMB.V37N3.80302>
- Productividad, A., & Agroproductividad. (2018). MAIZE (*Zea mays* L.) AND FOOD SECURITY IN THE MUNICIPALITY OF CALPAN, PUEBLA-MEXICO (Vol. 11, Issue 1).
- Rehman, A., Hassan, F. U., Qamar, R., Ali, M., Zamir, M. S., Iqbal, S., Shehzad, M., Masood, N., & Javeed, H. M. R. (2017). Efficacy of herbicides in controlling *Parthenium hysterophorus* L. in spring maize (*Zea mays* L.). *Quality Assurance and*

- Safety of Crops and Foods*, 9(2), 213–220. <https://doi.org/10.3920/QAS2015.0750>
- Russo, M. L., Scorsetti, A. C., Vianna, M. F., Cabello, M., Ferreri, N., & Pelizza, S. (2019). Endophytic effects of *beauveria bassiana* on corn (*Zea mays*) and its herbivore, *rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/insects10040110>
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*, 7(2).
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., & Parihar, R. D. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1, 1–16.
- Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3, 307–327.
- Smith, H., Liburd, O., & MacVean, A. L. (2012). Cultivos en asocio, diversidad de cultivos y manejo integrado de plagas: ENY-862-S/IN932, 6/2012. *EDIS*, 2012(9).
- Soltani, N., Dille, J. A., Burke, I. C., Everman, W. J., VanGessel, M. J., Davis, V. M., & Sikkema, P. H. (2016). Potential corn yield losses from weeds in North America. *Weed Technology*, 30(4), 979–984.
- Strada, J., Ricca, A., Silva, M., Rojas Bioquímico, D., Piatti, F., & José Martínez, M. (2012). *PALABRAS CLAVE / Cereales / LMR / Manejo de Plaguicidas / Residuos de Plaguicidas* (Vol. 37, Issue 6).
- Suriani, Patandjengi, B., Muis, A., Junaid, M., Mirsam, H., Azrai, M., Efendi, R., & Sebayang, A. (2023). New corn resistant lines to stalk rot disease (*Dickeya zae*) in Indonesia. *Biodiversitas*, 24(6), 3190–3200. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240612>
- Togola, A., Meseka, S., Menkir, A., Badu-Apraku, B., Boukar, O., Tamò, M., & Djouaka, R. (2018). Measurement of pesticide residues from chemical control of the invasive *spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in a maize experimental field in Mokwa, Nigeria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph15050849>
- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 3, pp. 1–24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Turkyilmaz Unal, B., & Esiz Dereboylu, A. (2015). Algunos efectos fisiológicos de acetamiprid en dos cultivares de plantas de maíz. *Phyton (Buenos Aires)*, 84(1), 144–147.
- Veres, A., Wyckhuys, K. A. G., Kiss, J., Tóth, F., Burgio, G., Pons, X., Avilla, C., Vidal, S., Razinger, J., Bazok, R., Matyjaszczyk, E., Milosavljević, I., Le, X. V., Zhou, W., Zhu, Z. R., Tarno, H., Hadi, B., Lundgren, J., Bonmatin, J. M., ... Furlan, L. (2020). An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic pesticides. Part 4: Alternatives in major cropping systems. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 24, pp. 29867–29899). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09279-x>
- Wang, F., Li, X., Yu, S., He, S., Cao, D., Yao, S., Fang, H., & Yu, Y. (2021). Chemical factors affecting uptake and translocation of six pesticides in soil by maize (*Zea mays*

L.). *Journal of Hazardous Materials*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124269>

William Fernando, V.-A., Cristina Margarita, T.-T., Aníbal Arturo, M.-S., Daniel Fernando, N.-S., Lorena Anabel, M.-R., Alex Gabriel, D.-P., Cynthia Estefanía, P.-Q., Ana Katherine, P.-V., Francisco Javier, B.-C., Wilson Arturo, V.-C., Trevor, J., del Artículo Resumen, D., de contacto, D., & Fernando Viera-Arroyo, W. (2020). *Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador Biological Control: A tool for sustainable agriculture, a point of view of its benefits in Ecuador*.

Yesenia García-Pineda, L., & Danilo Bravo-Vallejos, N. (2022). *Conocimientos, actitudes y prácticas sobre el uso de plaguicidas por agricultores en una zona rural de Copán Ruinas, Honduras, año 2019*. <https://doi.org/10.18273/revmed.v35n2>

Zhang, J., Wang, J., & Zhou, X. (2019). Farm machine use and pesticide expenditure in maize production: Health and environment implications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph16101808>