


EL IMPACTO DEL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS EN LA BIODIVERSIDAD AGRICOLA: UN ENFOQUE INTEGRAL


THE IMPACT OF INTEGRATED PEST MANAGEMENT ON AGRICULTURAL BIODIVERSITY: AN INTEGRAL APPROACH

Edgar Pelinco Ruelas^{1*} y Mery Gladys Quispe Machaca²

¹Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Puno, Perú

²Universidad José Carlos Mariátegui, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Moquegua, Perú

 <https://orcid.org/0000-0003-3267-5611>

 <https://orcid.org/0000-0002-9194-4781>

*Autor para correspondencia, email: epelinco@unap.edu.pe

Resumen

El objetivo del artículo de revisión es analizar las principales prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) en el contexto de la agricultura, realizando un análisis profundo en la preservación de la biodiversidad agrícola, con énfasis en la conservación de insectos que polinizan; organismos que viven en el suelo y la diversidad de plantas. La metodología aplicada fue la revisión de artículos recientes de fuentes que provienen de Web of Science, Scopus, Scielo y Google académico, todas ellas relacionadas con el tema de manejo integrado de plagas y la biodiversidad. Los resultados señalan que las prácticas de manejo integrado de plagas, cuando se ponen en marcha y de forma efectiva estas contribuyen a la conservación de agroecosistemas saludables al disminuir el empleo de plaguicidas, así mismo promover metodologías sostenibles. Del mismo modo se observa que la implementación tecnologías innovadoras de carácter biológico son importantes para tener éxito en el manejo integrado de plagas. Las conclusiones señalan la importancia de fomentar políticas que apoyen la investigación y la adopción de prácticas de MIP en la agricultura, así como la necesidad de futuras investigaciones que aborden el impacto de estas prácticas en diferentes contextos agroecológicos y las interacciones entre la agricultura y la biodiversidad. Estos aspectos son vitales para asegurar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas ante los desafíos del cambio climático actual.

Palabras clave: Biodiversidad, manejo integrado de plagas, organismos del suelo, polinizadores, sostenibles

Abstract

The objective of this review article is to analyze the main integrated pest management (IPM) practices in the context of agriculture, conducting an in-depth analysis of the preservation of agricultural biodiversity, with an emphasis on the conservation of pollinating insects, soil-dwelling organisms, and plant diversity. The methodology applied was a review of recent articles from sources including Web of Science, Scopus, Scielo, and Latindex, all related to the topic of integrated pest management and biodiversity. The results indicate that integrated pest management practices, when implemented effectively, contribute to the conservation of healthy agroecosystems by reducing the use of pesticides and promoting sustainable methodologies. Similarly, it is observed that the implementation of innovative biological technologies is important for the success of integrated pest management. The conclusions highlight the importance of promoting policies that support research and the adoption of IPM practices in agriculture, as well as the need for future research that addresses the impact of these practices in different agroecological contexts and the interactions between agriculture and biodiversity. These aspects are vital to ensuring the sustainability of agricultural systems in the face of the challenges of current climate change.

Keywords: Biodiversity, Integrated pest management, Soil organisms, Pollinators, Sustainable

Introducción

El manejo integrado de plagas (MIP) en la actualidad tiene importancia como estrategias eficaces en la agricultura moderna, para combatir las plagas agrícolas mientras nos enfocamos en la conservación de la biodiversidad agrícola. Este planteamiento completo busca no solo reducir poblaciones de plagas mediante metodologías más sostenibles, sino también conservar los servicios ecosistémicos que son importantes para la producción agrícola, resaltando a los insectos que polinizan y a los microorganismos benéficos del suelo (Diyaolu & Folarin, 2024; Gonzales-Chang *et al.*, 2020). La importancia de estas prácticas se ve reflejado en su capacidad para promover el equilibrio ecológico de los agroecosistemas, disminuyendo la presión sobre la biodiversidad que ha sido agravado o intensificado por una agricultura intensiva así mismo el empleo indiscriminado de agroquímicos (Dainese *et al.*, 2019; Mantzoukas & Eliopoulos, 2020).

El monitoreo y la evaluación de plagas continua son principios fundamentales del MIP, el empleo de los umbrales de acción más la implementación de prácticas agronómicas, biológicas y químicas son propuestas ambientalmente responsables (Dean *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2024). Una gestión más eficiente de los recursos basado en los principios ya mencionados aborda preocupaciones sobre la tolerancia a plaguicidas y el daño secundario a los organismos de poblaciones no objetivo, como los insectos que polinizan y los predadores (Naharki *et al.*, 2020; Nasution, 2024). Un aspecto fundamental de este análisis es asegurar que las prácticas de Manejo Integrado de Plagas no se limiten a solo control biológico, sino que al mismo tiempo promuevan la conservación activa de la diversidad vegetal y de la fauna asociada en el agroecosistema (Redlich *et al.*, 2021; Burra *et al.*, 2021).

La importancia de llevar a cabo esta revisión radica en la oportunidad de construir un marco conceptual que vincule las múltiples estrategias de manejo integrado de plagas (MIP) y valore su efecto sobre la biodiversidad agrícola. Al centrar la mirada en la preservación de polinizadores y de microfauna edáfica, el ejercicio busca demostrar la conexión esencial entre el rendimiento de los cultivos y la salud del entorno (Mali *et al.*, 2023; Rahmawasih *et al.*, 2022). Esa interdependencia resulta crucial, ya que la merma en la diversidad biológica amenaza a los servicios ecosistémicos que sostienen la producción alimentaria, mientras que el uso de enfoques bien diseñados de MIP ofrece caminos sostenibles para reducir esa amenaza (Dainese *et al.*, 2019; Sánchez *et al.*, 2021).

La revisión cubre tres ejes principales: primero, el efecto del manejo integrado de plagas sobre la biodiversidad agrícola, poniendo un foco particular en los polinizadores y en los organismos que habitan el suelo; segundo, las prácticas catalogadas como sostenibles dentro de ese mismo marco; finalmente, las interrelaciones que se dan entre la diversidad genética, la salud edáfica y la

capacidad de recuperación del agroecosistema (Reddy *et al.*, 2024). El análisis previsto se apoya en una lectura exhaustiva de la bibliografía reciente e incluye, además, un conjunto de recomendaciones concretas diseñadas para que la aplicación del MIP favorezca la conservación de la diversidad biológica (Pathak *et al.*, 2024).

La revisión se dividirá en varias secciones. Primero se definirán los conceptos y criterios básicos del manejo integrado de plagas (MIP); después se examinarán los estudios que miden su efectividad en la conservación de polinizadores y en el mantenimiento de la diversidad de suelos; a renglón seguido se identificarán las prácticas agrícolas sostenibles que han demostrado mejores resultados; y, por último, el texto concluirá con recomendaciones para futuras investigaciones y para la aplicación sobre el terreno (Tiwari, 2024; Otieno & Mukasi, 2023).

En síntesis, el MIP no es únicamente un recurso para que el agricultor eleve su productividad de forma más responsable, sino que se presenta como un baluarte en la defensa de la biodiversidad dentro de los paisajes cultivados. Esta revisión pretende, en consecuencia, afianzar la comprensión de esos procedimientos y estimular su uso racional, destacando el vínculo vital que forjan entre la actividad económica y la conservación de la vida silvestre.

Materiales y métodos

Para elaborar esta revisión teórica se diseñó una exploración exhaustiva del estado del arte. Se planteó la búsqueda de información en base de datos Scopus, Web of Science, Scielo y Google académico usando operadores booleanos AND entre frases combinados como “Integrated pest management”, “Agricultural biodiversity”, “Pollinators”, “Sustainable practices”, y “Soil organisms” publicados entre los años 2019 al 2025 con un énfasis en los últimos 5 años. Cada artículo bibliográfico fue consultado, analizado y resumido para que tenga un contexto relacionado al título de la revisión propuesta.

Impacto del manejo integrado de plagas en la biodiversidad agrícola

Efectos sobre los polinizadores

Las abejas, abejorros y numerosos insectos afines desempeñan una función primaria en la agricultura, porque transportan el polen de una flor a otra y, sin darse cuenta, generan las mejoras que los agricultores buscan en la calidad y el volumen de la cosecha (Masaquiza *et al.*, 2023). Pero la historia no queda ahí. La pauta de esparcir pesticidas en dosis masivas les pasa una factura irreversible. Un informe reciente de (Carranza-Patiño *et al.*, 2023) apunta que esa misma práctica arruina la salud humana, contamina el paisaje y, lo que es peor, reduce las comunidades de polinizadores hasta límites alarmantes. Afortunadamente, la agroecología ofrece una salida. Estudios de (Alvarado *et al.*, 2024) muestran que cuando los productores adoptan alternativas menos tóxicas, el ecosistema recupera parte del equilibrio que había perdido

y, en consecuencia, las poblaciones de polinizadores vuelven a prosperar.

Cultivos rodeados de vegetación diversa suelen gozar de una especie de seguro natural: la abundancia de plantas favorece a los polinizadores y, a la vez, estabiliza el rendimiento agrario. (Fernández y Armendano, 2024) documentan que cuando los predadores nativos, incluidos diversos artrópodos, se multiplican en el campo, los ataques de plagas decrecen y la actividad de polinización tiende a aumentar. Setos variados y franjas florales, al atraer a esos mismos enemigos naturales, permiten a los agricultores prescindir de muchos pesticidas y, en consecuencia, crean un entorno más amable para las abejas y otros polinizadores (Blanco *et al.*, 2023). En ese contexto, los esquemas de Manejo Integrado de Plagas que salvaguardan a los insectos polinizadores dejan de ser una opción secundaria y se convierten en la columna vertebral de una agricultura que aspire a perdurar.

Una revisión crítica de la literatura actual sobre insectos polinizadores ha puesto de relieve el papel ecológico central que desempeñan y, al mismo tiempo, los peligros inmediatos que les acechan. Investigaciones recientes sobre el comportamiento de visita de distintos polinizadores han mostrado que las flores amarillas, por sus marcas ultravioleta más pronunciadas, reciben casi el doble de visitantes que las flores rojas (Vidal y Farji-Brener, 2020). Este patrón sugiere que estos animales responden a señales visuales de forma más matizada de lo que se pensaba y, por lo tanto, los planes de manejo agrícola deberían tener en cuenta no solo la variedad de especies presentes, sino también las sutilezas morfológicas y cromáticas de cada planta. Aparte de lo anterior, la interacción entre los polinizadores y los cultivos comerciales depende en gran medida de cuántas fuentes florales haya disponibles; en los agroecosistemas intensivos, donde se eliminan los fragmentos de hábitat vecino, esa oferta se restringe drásticamente (Sotomayor-Chávez *et al.*, 2024).

El daño que los plaguicidas inflige a la salud de los polinizadores ha sido objeto de análisis durante más de dos décadas. Una exposición crónica a herbicidas e insecticidas disminuye tanto la longevidad como la movilidad de las abejas melíferas, y esas pérdidas se traducen en una menor calidad y cantidad de la polinización que realizan en los huertos y los campos (Velázquez-Vázquez *et al.*, 2024). En una investigación reciente sobre plantaciones de cacao de la costa ecuatoriana se constató que el uso de clorpirifos reduce, de modo notable, la abundancia de abejas en comparación con otras formulaciones comerciales menos agresivas (Sotomayor-Chávez *et al.*, 2024). La acumulación de tales evidencias impulsa a los agricultores a explorar alternativas biológicas y de manejo integrado que alivien la dependencia química y, de ese modo, sostengan la salud de los polinizadores y la cosecha de frutas, semillas y otros bienes ecosistémicos a los que estamos habituados.

La fragmentación del hábitat es uno de esos fenómenos que, en apariencia, se ciñen a mapas y estadísticas, pero que juegan un papel decisivo en el bienestar de las colonias de polinizadores. Proyectos recientes han puesto de relieve que esta pérdida de continuidad no sólo corta el acceso inmediato a flores, sino que también estrangula las oportunidades reproductivas de las plantas que confían en esos seres alados para fecundarse (Rebolledo *et al.*, 2022). Cuando una especie vegetal depende casi por completo de un único polinizador, incluso una calle o un tramo despejado puede transformarse en una trampa mortal, y esa vulnerabilidad, por fortuna, se atenúa si se emprenden corredores que entrelazan los parches verdes que quedan (Baena-Díaz *et al.*, 2023). Por eso muchos ecólogos insisten en que los paisajes agrícolas deberían integrar parches de vegetación nativa; ese pequeño gesto permitiría a los insectos moverse con libertad y garantizaría, de paso, que los cultivos reciban la visita que tanto necesitan.

La percepción pública del cuidado de las abejas, unida a su notable contribución económica, resulta decisiva cuando se diseñan políticas de conservación con probabilidad de éxito. En un buen número de comunidades rurales, la apicultura proporciona ingresos inmediatos y, al mismo tiempo, actúa como válvula de seguridad para la diversidad agrícola en la zona (Alarcón *et al.*, 2022). Por eso los talleres y campañas que subrayan el papel de los polinizadores en el ciclo alimentario favorecen comportamientos agrarios más amables tanto con los insectos como con las familias que de ellos dependen (Chamer *et al.*, 2020). La sinergia entre laboratorios académicos y centros educativos aparece, en este escenario, como un activo irremplazable para trazar rutas de protección a las abejas frente a los acelerados cambios ambientales que hoy padecemos.

Efectos sobre los organismos del suelo

Los organismos del suelo, un elenco que incluye varias especies bacterianas, filamentosos fúngicos, nematodos y otros microorganismos, sostienen el bienestar general del sustrato y permiten que los sistemas agrícolas permanezcan productivos a largo plazo. Se ha documentado que las rutinas de manejo, desde la dosificación de pesticidas hasta la elección de rotaciones y labranzas, alteran de forma profunda la calidad del material edáfico que nos rodea (Mora-Chacón *et al.*, 2019). En una dirección afín, se ha observado que una cobertura arbórea continua puede enriquecer los perfiles del suelo, al ofrecer refugio, humedad y nutrientes suplementarios que benefician a la biota edáfica y extienden su diversidad funcional (Mora-Chacón *et al.*, 2019). Otro elemento clave es el carbono orgánico; su concentración resulta ser un regulador natural de la variedad de microorganismos presentes, lo que indica que administrar con acierto los recursos de suelo es indispensable para preservar tanto su diversidad biológica como su vigor estructural (Epelde *et al.*, 2020).

Las decisiones agronómicas que un agricultor toma - al elegir un cultivo o al ajustar la dosis de nitrógeno - acaban dejando huellas en lo que ocurre bajo la superficie. Investigaciones recientes documentan que los ciclos estrictamente orgánicos, por su menor dependencia química, suelen generar comunidades microbianas más variadas que las de los campos convencionales; esa diversidad elevada, a su vez, blindo el suelo contra brotes de plagas o enfermedades (Zapata-Ramón *et al.*, 2022). En contraposición, la pulverización repetida de pesticidas, especialmente cuando se dispersan sin controles precisos, perturba al conjunto bacteriano y fúngico del sustrato y, con el tiempo, erosiona su capacidad de ofrecer nutrientes (Carranza-Patiño *et al.*, 2023). La evidencia disponible sugiere que no hay atajo: un manejo integrado que coloque la salud biológica del suelo en su centro aparece como la única ruta confiable si se pretende alcanzar una agricultura verdaderamente sostenible.

Las investigaciones recientes sobre los organismos edáficos han puesto de relieve su influencia directa en la salud física y química del suelo, así como en la productividad agrícola. Un ensayo de campo efectuado en el noreste de Colombia documentó que la densidad aparente y la fisonomía de los agregados constituyen llaves mecánicas para el crecimiento radical de *Megathyrsus maximus*, en la misma publicación se argumentó que un sustrato ligero, con grumos estables, habilita anclajes más eficientes y, por ende, favorece la captura de agua y nutrientes (Ocampo *et al.*, 2022). La fortaleza de ese sistema radical, por otra parte, está mediada por el ejército microscópico residente, cuyo efecto sinérgico se traduce en mayor cohesión interna y en una reserva hídrica más duradera.

Los organismos que habitan el suelo, en toda su variedad y número, responden de forma palpable a las condiciones ambientales y a los modos de manejo agronómico que se les imponen. Un estudio reciente sobre la mineralización de nitrógeno en suelos de los valles interandinos mostró que el aumento de la temperatura y la lluvia estimulan la actividad microbiana y, como consecuencia, amplían la reserva de nutrientes disponibles (Vega *et al.*, 2022). Tal evidencia sitúa el cambio climático en el centro de la discusión sobre la salud del suelo, dado que cualquier alteración brusca en su clima puede desplazar la función habitual que los ecosistemas edáficos desempeñan.

La incorporación de materia orgánica, como estiércoles y residuos de cultivos, ha rehabilitado de manera consistente la diversidad microbiana en suelos cultivados. Un reciente ensayo de campo de compost, por ejemplo, registró un notable aumento en la respiración microbiana y una disminución inesperada en patógenos presentes en el suelo; los investigadores atribuyeron ambos cambios a la amplia comunidad que el compost permitió (Barquero *et al.*, 2020). Experimentos de este tipo nos recuerdan cuán gestos de fertilidad sencillos pueden

defender, recuperar y, incluso durante muchas temporadas, estabilizar la salud del suelo al tiempo que sustentan cosechas confiables.

La erosión hídrica ha dejado de ser un fenómeno secundario, y su efecto inmediato sobre la calidad del suelo se hace cada vez más visible. Estudios recientes destacan que, además de llevarse los nutrientes, el arrastre del agua descompone la trama física del perfil, complicando la vida de lombrices y hongos (Aguirre-Salado *et al.*, 2023). Por ello, aplicar técnicas de conservación simples pero rigurosas se convierte en una tarea urgente si se desea mantener la fertilidad y, al mismo tiempo, proteger las comunidades biológicas residentes en el horizonte. Esta circunstancia pone de relieve lo entrelazado que está el manejo agronómico del suelo con la biodiversidad y, en última instancia, con el rendimiento de los cultivos.

Efectos sobre la diversidad vegetal

La riqueza de especies vegetales que se incorpora a un agroecosistema influye de manera decisiva sobre la sostenibilidad a largo plazo de la producción agrícola y sobre la salud biológica de los suelos. En un experimento reciente en cafetales, (Moran y Jiménez-Martínez, 2024) registraron un aumento notable en la abundancia y en la diversidad de la macrofauna del suelo en campos donde se había incrementado la variedad de plantas acompañantes. Tales observaciones sugieren que el simple gesto de plantar más especies podría convertirse en una estrategia accesible para elevar la biodiversidad edáfica y, de paso, asegurar rendimientos agrícolas estables. Complementariamente, Chillo *et al.*, (2023) documentaron que el uso de manejos orgánicos no solo beneficia el crecimiento de los cafetos, sino que también amplía la gama funcional de los artrópodos presentes en el suelo.

A pesar de los avances técnicos, la aplicación masiva de pesticidas sigue despertando inquietudes entre quienes estudian la conservación de la flora. Una síntesis reciente elaborada por (Carranza-Patiño *et al.*, 2023) documenta que la excesiva dependencia de estos agroquímicos ataca de manera colateral a las plantas no objetivo, y de este modo rompe la trama ecológica que sostiene a los insectos auxiliares. En los campos de maíz, por ejemplo, los programas intensivos de control químico han dejado una huella notable al empobrecer el conjunto de especies herbáceas que típicamente acompaña a ese cultivo. El estrechamiento de esa comunidad vegetal altera luego los ritmos de reproducción de las plagas y de sus predadores naturales. En consecuencia, la riqueza botánica emerge como un termómetro fiable de la fortaleza de un agroecosistema frente a disturbios, y su mantenimiento se transforma en un eje central dentro de cualquier estrategia de manejo integrado.

Investigaciones recientes sobre cómo los factores ambientales modelan la diversidad vegetal han puesto de relieve la complejidad de esas relaciones. Por ejemplo, un estudio de campo centrado en el Chocó colombiano constató que la textura del suelo y su perfil químico condicionan la dominancia y variedad de especies arbóreas (Mosquera *et al.*, 2019). Los autores argumentan que tales

propiedades no sólo determinan cuántas especies pueden coexistir, sino que también moderan el grado de competencia entre ellas, un hallazgo que debería influir en el diseño de prácticas de manejo forestal que busquen promover una mayor diversidad. En otra región distinta, los páramos del sur de Ecuador, se ha documentado cómo la topografía y el clima intervienen en las comunidades de briófitos. Este trabajo sugiere que la humedad relativa, la inclinación del terreno y su orientación al sol emergen como variables claves, lo que obliga a considerar estas características en el diseño de estrategias de conservación adaptadas a los ecosistemas montañosos (Benítez et al., 2019).

La variabilidad funcional que presentan las plantas dentro de un ecosistema es un motor silencioso que determina cuán bien ese ecosistema opera. Investigadores que examinaron bosques templados en Chile llegaron a la conclusión de que, a medida que aumenta la diversidad funcional, también se eleva la tasa de evapotranspiración y, en términos más generales, la productividad del paisaje (Esquivel et al. 2019). Tal evidencia sugiere que proteger una amplia gama de formas de vida no sólo en términos de cuántas especies hay, sino en cómo cada una cumple su rol- resulta crucial si se desea que el bosque siga proveyendo servicios ambientales indispensables.

Investigaciones recientes han puesto de relieve que el número y la variedad de especies en un ecosistema son pilares de su estabilidad frente a golpes como el cambio climático o la agricultura intensiva (Santillán-Fernández et al., 2021). En este marco, mantener una flora diversa no es simplemente un lujo biológico; está ligado de manera directa al bienestar de las personas y a la garantía de que la comida no falte. Por ello, cuando se diseñan políticas de conservación y manejo se aconseja mirar la diversidad desde dos ángulos: al número de especies y a las funciones que esas especies desempeñan, para mantener un equilibrio duradero en los paisajes agrícolas.

Prácticas de manejo integrado de plagas que favorecen la conservación

Uso de métodos biológicos

El control biológico de plagas ha ganado terreno en la agricultura contemporánea y suele ser descrito como un reemplazo prometedor para los pesticidas químicos. En su reciente trabajo, (Carranza-Patiño et al., 2023) documentan que hongos entomopatógenos y extractos vegetales brindan resultados competitivos y a menudo superiores. El tránsito hacia estas alternativas orgánicas tiene, además, el mérito de minimizar la contaminación del aire y el agua, lo que redundará en beneficios inmediatos para la salud humana. Al proteger a los enemigos naturales de las plagas, los agricultores consiguen mantener el equilibrio ecológico que sostiene la productividad a largo plazo. Mujiana et al., (2023), en otro estudio complementario, subrayan que especies como *Azadirachta*

indica y *Piper nigrum* pueden ser empleadas de forma rutinaria sin comprometer el rendimiento de los cultivos.

Los métodos biológicos en la agricultura constituyen algo más que un simple reemplazo de productos químicos; representan un intento consciente de devolverle a los suelos y a los ecosistemas esa resiliencia que a menudo han perdido. La acción de esos métodos acaba por enriquecer la biodiversidad por sí misma, al tiempo que promueve entornos radiculares saludables. Beltrán y Bernal, (2022) han observado que los biofertilizantes que incorporan microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfato no solo apuntalan el crecimiento inmediato de las plantas, sino que también cierran el ciclo de nutrientes y lo mantienen activo durante más tiempo. Un enfoque así convierte el manejo agrícola en un engranaje donde cada elemento vivos y no vivos está obligado a desempeñar un papel productivo. En una línea parecida, González et al., (2024) subrayan que los microorganismos endófitos funcionan casi como guardaespaldas silenciosos, protegiendo a los cultivos de enfermedades y, por lo tanto, aliviando la presión por recurrir a productos químicos.

El uso de procesos biológicos ha ido más allá de los campos y ahora asoma en el tratamiento de aguas residuales y en el manejo de ciertas afecciones humanas, brindando alternativas que suelen ser más seguras y menos invasivas. En la producción agrícola, el control biológico se erige como un recurso maduro para lidiar con plagas mientras se respeta la red ecológica en la que operamos. Investigaciones recientes indican que los microorganismos endófitos aplicados en sistemas de cultivo orgánico pueden estimular el crecimiento vegetal y facilitar la absorción de nutrientes disponibles (Gonzales et al., 2024). Otra línea de trabajo muestra que los inoculantes biológicos empleados en plantaciones de mandioca favorecen la sanidad y el vigor de las plántulas durante sus primeras fases (Filipiini et al., 2023). Ante el acelerado aumento en la demanda alimentaria, afianzar estas estrategias sostenibles se convierte en un prerrequisito para sostener la seguridad alimentaria en el futuro (Zelaya-Molina et al., 2022).

El tratamiento biológico de aguas residuales ha emergido como la opción más eficiente y ambientalmente amigable frente a los enfoques químicos convencionales. Investigaciones recientes apuntan a que consorcios microbianos empleándose en el pretratamiento de residuos fibrosos logran, además de reducir el consumo energético, eliminar la necesidad de productos químicos agresivos (Vazquez et al., 2022). En sintonía con este hallazgo, Matias-Pillasagua et al., (2023) sugieren que estas prácticas se eleven a la categoría de estándar por su habilidad para atenuar la contaminación que habitualmente escapa a otras tecnologías. En resumen, las metodologías biológicas no solo presentan ventajas operativas evidentes, sino que son herramientas clave en la lucha contemporánea contra el deterioro ambiental.

Es imposible ignorar el papel que las regulaciones contables juegan en el día a día de la agricultura, sobre todo cuando se habla de los activos que nacen y crecen en el campo. La discusión en torno a la Norma Internacional de Contabilidad N 41 se ha extendido desde la siembra de maíz hasta las granjas de camarones y, en cada uno de esos casos, ha revelado una brecha entre el balance y el estado real del ecosistema (Ika *et al.*, 2022). Valorar los cultivos y el ganado en los libros no es un ejercicio teórico; es la base sobre la cual los gerentes eligen si expandir, reducir o modificar su operación (Carrión-Rodríguez *et al.*, 2021). Al cierre de cada período, esa cifra contabilizada puede ser la diferencia entre una decisión financiera acertada y un error que cuesta recursos ambientales irre recuperables.

Prácticas culturales y de manejo del suelo

La forma en que se cultiva el suelo y se cuida su cubierta vegetal sigue siendo la primera línea de defensa para que un agroecosistema se mantenga fértil, diverso y estable. Un trabajo reciente de Salvador-Adriano *et al.*, (2024) lo confirma al mostrar que tratar la papaya *Carica papaya* L. bajo pautas orgánicas activa, en poco tiempo, un repertorio de enzimas del sustrato que hasta ese momento permanecía oculto. Cuando surgen estas enzimas-tan solo son proteínas, pero hablan en nombres de fosfatasas, quitinasas y otras-siente el agrónomo que el suelo recuperó el pulso. El mismo grupo indica que enriquecer el lecho con estiércol maduro y complementarlo con banana o biomasa de café alinea el pH, afloja la textura y, en consecuencia, convierte la tierra en un refugio donde bacterias y hongos útiles prosperan sin dificultad. Los autores Granizo & Chuquín-Vasco (2024) redondean el cuadro al demostrar que agregar biocarbono, por supuesto eleva la capacidad del sustrato para retener humedad y al mismo tiempo despliega un reservorio extra de fosfatos que las raíces entienden de inmediato. Cuando esos dos ensayos se cruzan, el agricultor tiene en la mano un camino visible para elevar la producción sin exportar más minerales que los que le prestó la cantera.

Otras líneas de indagación, como la reseñada por Carranza-Patiño *et al.*, (2024), enfatizan que la agricultura puede abrazar la conservación sin sacrificar su productividad inmediata. Los autores sostienen que la fusión de métodos campesinos probados y de innovaciones recientes frena la erosión del suelo y, de paso, mantiene el ciclo de nutrientes vivo. En el mismo artículo se insiste en que enseñar estas costumbres-adaptadas y ponerlas en práctica en el día a día marcan la diferencia. Rotar cultivos alternando cereales con leguminosas, así como incorporar abonos verdes, sale a relucir una y otra vez como receta sencilla para devolver al suelo su esponjosidad y reforzar el rendimiento. En suma, moldear cada técnica al paisaje local es, según (Álvarez *et al.*, 2023; Martins *et al.*, 2023), la clave para edificar sistemas agrícolas que aguanten el empujón del tiempo.

La transición hacia técnicas agroecológicas-labranza mínima, rotación de cultivos y enmiendas orgánicas-ha mostrado, en múltiples análisis, ganancias

notables en la calidad estructural del suelo e incrementos en la producción agrícola (León-Durán & Osorio, 2021; Carranza-Patiño *et al.*, 2024). En el cinturón cafetalero de Puebla, un censo reciente reveló que el 71 % de las operaciones de campo adoptan estos protocolos y que, precisamente por esa elección, los nutrientes disponibles en el suelo, así como el rendimiento del grano recogido, se mantienen por encima de los mínimos esperados (Contreras *et al.*, 2019). La experiencia subraya que la pertinencia local de cada estrategia agraria es determinante para conservar la fertilidad y asegurar la sostenibilidad a largo plazo del recurso suelo.

La macrofauna del suelo es más que un conjunto de invertebrados; su presencia y diversidad revelan el estado de salud de un ecosistema subterráneo (Quiroz-Medina *et al.*, 2021; Morel & Acosta, 2022). En cafetales nicaragüenses, el mantenimiento consciente de la cubierta vegetal junto a la disminución del uso de pesticidas incrementó el número de estos organismos y, a la larga, mejoró la calidad edáfica (Moran & Jiménez-Martínez, 2024). Por otro lado, el sobrepastoreo y una gestión descuidada del ganado compactaron el terreno y promovieron la erosión, mientras el pastoreo rotacional mostró beneficios evidentes en la estructura del suelo y en su facultad de retener agua (Florida *et al.*, 2023; Cuadras *et al.*, 2021).

La recuperación de suelos degradados ha tomado un nuevo impulso en plena crisis climática. La fitorremediación-en la que distintas especies vegetales extraen o estabilizan metales pesados y otras toxinas según (Hernández y Hernández, 2022) ha mostrado buenos resultados incluso en terrenos muy contaminados. Paradójicamente, la simple inclusión de biocarbón procedente de residuos carbonizados mejora la retención de agua, subsidios y actividad microbiana, como han comprobado (Puentes-Escobar & Carlosama, 2021). La convivencia de ambas técnicas sugiere que las soluciones exitosas dependen de estrategias que integren la salud del suelo y la realidad económica de los productores.

El manejo sostenible del suelo necesita el respaldo decidido del Estado. Políticas públicas que prioricen la educación y la investigación permiten que las buenas prácticas se interioricen en los agricultores y las comunidades rurales. Un campo en constante expansión es la agricultura de precisión, que hace enfocar las intervenciones agronómicas con milimétrica exactitud. Equipos de sensores, drones y maquinaria conectada vuelven la innovación aliada de la sostenibilidad (Sánchez *et al.*, 2024). La regulación del uso del territorio completa el cuadro. Al imponer límites claros y diseñar ordenamientos urbanos racionales, se frena la erosión del recurso edáfico y se mitigan efectos imprevistos del cambio climático (Freire *et al.*, 2024; Marqués, 2022). Una estrategia eficaz requerirá entrelazar estos hilos: conocimiento técnico, mirada inventiva y política firme. Solo ese entretejido multidimensional logrará responder a los retos actuales del suelo cultivado y no cultivado.

Aplicación estratégica de plaguicidas

El uso estratégico de pesticidas mantiene un lugar central en la agricultura contemporánea, puesto que pretende frenar las plagas sin dejar una huella pesada sobre el entorno. Rodríguez-Gonzales *et al.*, (2024) indagan en Sucre y detectan que, a pesar del saber general de los agricultores sobre el tema, la aplicación cotidiana muchas veces se aleja de lo óptimo. Esa brecha sugiere cursos de capacitación que no solo enseñen la dosificación correcta, sino que también abran la puerta a tácticas de manejo integrado que alivien la dependencia química. Al mismo tiempo, Carranza-Patiño *et al.*, (2023) están advirtiendo que la demanda alimentaria creciente empuja el consumo de agroquímicos hacia cifras alarmantes, lo cual aviva el miedo a efectos adversos sobre la salud y el paisaje.

La investigación contemporánea une el empleo de pesticidas con varios peligros tanto para los seres humanos como para el entorno natural. La niñez, momento en que el organismo todavía se desarrolla, es particularmente vulnerable; hay estudios que han relacionado exposiciones tempranas con leucemia linfocítica aguda, toda una señal de alarma para padres y médico (Vicente *et al.*, 2020). Un sondeo llevado a cabo en el Centro de Control de Intoxicaciones del Hospital Universitario Regional de Maringá documentó 151 episodios de envenenamiento entre 2003 y 2011, cifra que deja claro que el campo necesita afinar sus rutinas de protección en torno a estos químicos (Vicente *et al.*, 2020).

La intoxicación ocupacional sigue siendo un problema visible en el sector agrícola. Entre 2008 y 2017, médicos del Hospital Barranca Cajatambo registraron que el 57.3 por ciento de las intoxicaciones por pesticidas ingresaron por vía respiratoria; la cifra da idea del peligro que representan los vapores y el polvo de esos químicos (Aquino & Medina, 2019). Casos así subrayan la urgencia de protocolos de manejo seguro y de cursos de capacitación, porque muchos campesinos trabajan rodeados de pesticidas sin la protección mínima necesaria.

Investigaciones recientes han puesto de manifiesto que el rendimiento de los pesticidas decae conforme las plagas desarrollan resistencia, y este giro reduce las opciones de manejo disponible y aumenta la dependencia sobre estos químicos. Según Carranza-Patiño *et al.*, (2023), la aplicación ininterrumpida de herbicidas favorece la emergencia de malezas tolerantes, lo que encarece el tratamiento de los cultivos porque requieren mayores dosis y repeticiones en el programa. La situación se complica aún más en el maíz, un hospedante que permanece expuesto a variados insectos; el abuso de insecticidas en ese grano termina produciendo residuos alimentarios problemáticos y también alimenta la propia resistencia de los artrópodos, como señalan (Vélez-Ruiz *et al.*, 2021).

Finalmente, el debate sobre los pesticidas suele girar en torno a las regulaciones disponibles y a las alternativas viables. Incorporar buenas prácticas agrícolas junto con un manejo integrado de plagas puede frenar el

uso desmedido de químicos y aminorar los daños colaterales. Tecnologías como la inteligencia artificial ahora permiten identificar plagas en tiempo real, lo que traduce una reducción tangible en la dependencia de los agroquímicos (Leroy, 2020). Pero el cambio real ocurre cuando la educación de los productores se apoya en políticas que limiten el uso indiscriminado, pues de lo contrario las alternativas se quedan en el papel (Moreno *et al.*, 2023).

Desafíos y perspectivas futuras del MIP en la conservación de la biodiversidad

Tolerancia a plaguicidas y sus implicancias

La resistencia a los plaguicidas representa hoy uno de los obstáculos más complejos que enfrenta la agricultura global. No se trata únicamente de un problema que afecta la cosecha anual; las implicaciones se extienden a la salud pública y al equilibrio de los ecosistemas circundantes. Un análisis reciente de Rodríguez-Rodríguez *et al.*, (2021) revela que en el altiplano mexicano la polilla de las crucíferas, *Plutella xylostella*, ha comenzado a ignorar varios de los ingredientes activos que antes la eliminaban. Esa adaptación no es espontánea; se alimenta del empleo repetido e indiscriminado de un mismo aerosol químico y de la ausencia de estrategias de rotación. Carranza-Patiño *et al.*, (2023) añaden otro matiz: aunque en algunas parcelas de maíz se han sembrado líneas transgénicas diseñadas para soportar ataques específicos, el volumen total de plaguicidas no ha disminuido y, según su hipótesis, esa presión constante podría estar acelerando el fenómeno de resistencia.

El incremento de la resistencia de los insectos a los plaguicidas ha encendido alarmas en el sector agrícola, pero la preocupación se multiplica cuando se considera el riesgo inmediato de intoxicación. Investigadores como Franco *et al.*, (2023) han documentado que los agricultores expuestos a químicos convencionales ven elevarse su probabilidad de envenenamiento y, según la OMS, cerca de 385 millones de casos de intoxicación accidental son notificados cada año en diversos países. Esa presión ya evidente sobre la salud de los trabajadores provoca que muchos productores respondan aumentando las dosis, creando así un círculo vicioso donde mayor aplicación significa más resistencia por parte de las plagas, pero también más problemas médicos entre las personas que las manejan. Otras indagaciones, por ejemplo, las de (Granados-García *et al.*, 2022), han señalado que la actividad de la enzima paraoxonasa 1 puede ser un marcador decisivo del riesgo ocupacional, indicando que no todos los obreros metabolizan los organofosforados al mismo ritmo. La solución, por lo tanto, debe ir más allá de cambiar un producto por otro: una política realmente efectiva incorpora manejo agronómico integrado, vigilancia biológica de la resistencia y, crucialmente, protocolos que limiten la dependencia de estas sustancias químicas.

La resistencia a los pesticidas plantea un reto creciente en la agricultura contemporánea y es responsable, a la larga, de cosechas menos productivas y de un deterioro visible en nuestros ecosistemas. Investigaciones recientes han cartografiado, a nivel celular y molecular, los atajos evolutivos que varios grupos de insectos han tomado para eludir compuestos químicos. Tomemos el caso de la polilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*); trabajos de laboratorio han puesto de manifiesto que dosis subletales de abamectina modifican su ciclo vital sin matarla. Esa observación apunta a que la resistencia es, simultáneamente, un fenómeno heredado y una respuesta fisiológica, y ocurre precisamente en el marco del aumento crónico en la aplicación de plaguicidas. Frente al problema, muchos agricultores refuerzan las aplicaciones elevando las dosis, una solución aparentemente lógica que, por desgracia, cierra el círculo y favorece a las poblaciones ya resistentes (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2021; Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2020).

La resistencia a los agentes químicos no se limita a insectos mayores; también se ha documentado en ácaros y garrapatas, un hecho que complica severamente el manejo práctico de estas plagas. Por ejemplo, análisis recientes sobre *Rhipicephalus microplus* indican que la mutación T2134C en el gen del canal de sodio se correlaciona con supervivencia ante piretroides, aunque el cuadro es más complejo porque otros marcadores genéticos también juegan un papel (Rivera *et al.*, 2019). En otro ámbito, poblaciones de *Dermanyssus gallinae* recolectadas en explotaciones avícolas muestran resistencia adquirida frente a carbamatos y piretroides, lo que dificulta el saneamiento químico y eleva los costos para los productores (Torres & Lagos-López, 2019). Estos ejemplos subrayan la urgencia de nuevos estudios que develen los mecanismos subyacentes, de modo que se puedan diseñar estrategias de control más eficaces y sostenibles para los cultivos.

La resistencia de los organismos a plaguicidas ya no se considera solo un inconveniente agronómico. Hoy se la evalúa también como un problema de salud pública y de conservación ambiental. Varios estudios han demostrado que la exposición regular a estas sustancias química-mente persistentes está asociada a enfermedades neurológicas y respiratorias en trabajadores del campo, grupos que rara vez reciben capacitación sobre su manipulación segura (Vargas y Moyano, 2022). Tomemos el caso concreto de la cuenca del río Carrizal. Análisis recientes ubican trazas de organofosforados en sedimentos y aguas superficiales; tal lixiviación amenaza a insectos, anfibios y plantas endémicas que ya viven al borde de su tolerancia ecológica (Mero-Peñarrieta *et al.*, 2022). Si esa contaminación se concentra, el daño alcanza no solo al productor que aplica el veneno, sino a familias ribereñas y a la fauna silvestre que busca refugio en el mismo paisaje.

La creciente inquietud ambiental ha renovado el llamamiento por estrategias agrícolas menos agresivas. Varios autores han señalado que el uso de bioplaguicidas,

combinado con un manejo integrado de plagas, podría amortiguar la dependencia de los insecticidas sintéticos (Delgado *et al.*, 2020; Carbajal *et al.* 2019). A su vez, la aplicación de microorganismos nativos para el control biológico ha emergido como una opción prometedora; estos agentes a menudo resultan menos tóxicos y, en situaciones de resistencia generalizada, pueden ser más eficaces (Estrada-Gamboa *et al.*, 2023). Al adoptar estas prácticas, las fincas no solo se vuelven más sostenibles, sino que también respaldan ecosistemas donde la biodiversidad puede recuperarse y los efectos dañinos del envenenamiento crónico de los suelos y el agua se reducen.

Políticas agrarias y su impacto en la biodiversidad

La diversidad de especies vegetales en los agroecosistemas constituye un pilar esencial para la sostenibilidad de la agricultura y el bienestar de los entornos naturales que la rodean. Investigaciones recientes, incluida la que publicaron Moran y Jiménez-Martínez (2024), documentan que el número y el tipo de plantas dentro de un cafetal influyen de modo positivo en la macrofauna edáfica. Según su trabajo, al incrementar la variedad de vegetación se eleva tanto la abundancia como la riqueza de los organismos que habitan el suelo, lo que a su vez puede traducirse en mayores niveles de productividad agrícola. Un estudio paralelo de Chillo *et al.*, (2023), encontró que los sistemas de cultivo manejados bajo principios orgánicos también conducen a una diversificación funcional notable entre los artrópodos. Estas evidencias sugieren que fomentar una amplia paleta de especies vegetales no solo enriquece el equilibrio ecológico inmediato, sino que se traduce en beneficios sostenibles para la producción agrícola a largo plazo.

El uso intensivo de agroquímicos sigue atrayendo críticas en el campo de la agrobiodiversidad. Carranza-Patiño *et al.*, (2023) documentan que la aplicación excesiva de pesticidas no solo diezma a las plagas objetivo; también disminuye con muchas de las plantas asociadas y, por extensión, bajaba la población de insectos benéficos que dependían de aquellas especies. En parcelas de maíz, la dependencia de productos químicos ha reducido drásticamente la riqueza florística entre hileras, un cambio que los entomólogos de campo apuntan como alarmante. Menos plantas significan menos refugios y menos alimento para enemigos naturales de las plagas, lo que termina por alterar el ciclo biológico habitual. La diversidad vegetal, por lo tanto, no es un simple indicador; actúa como amortiguador y como asegurador frente a brotes repentinos y a variaciones climáticas. Esta realidad empuja a los agrónomos hacia un manejo integrado que conserve y fomente la variedad botánica, proponiendo técnicas que equilibren productividad y salud ecológica.

Las disposiciones contempladas en las políticas agrarias median directamente entre la producción de alimentos y el estado de la biodiversidad en un determinado territorio. Según un estudio reciente en los paisajes agrícolas de Brandeburgo, impulsar rotaciones e

intercultivos que sean productivos a la vez que ofrecen refugio a plantas e invertebrados puede evitar la fragmentación de hábitats, algo que (Wolff *et al.*, 2021) documentan con detalle. De allí surge la recomendación de que la agenda pública fusione metas económico-productivas con líneas explícitas de conservación, de modo que la intensificación no desborde los márgenes ecológicos.

La explosiva combinación de crecimiento demográfico y expansión económica ha puesto a la biodiversidad contra la pared, por lo que las políticas públicas ya no pueden ignorar este choque. Tal como advierten Marques *et al.*, (2019), diseñar intervenciones inteligentes significa revisar la contabilidad del consumo y blindar los ecosistemas, de modo que los servicios naturales no aparezcan como una partida de gastos prescindible. Hacen falta reformas que conecten de verdad el uso eficiente del suelo con la salud de las especies, estableciendo marcos que premien la agricultura ecológica y los cultivos amigables en vez de seguir subvencionando el deterioro.

La ampliación de la frontera agrícola ha producido, indiscutiblemente, incrementos inmediatos en las cosechas, pero también ha devastado hábitats críticos y reducido drásticamente la biodiversidad, un fenómeno alarmantemente documentado en la Amazonía por Göpel *et al.*, (2020). Si el derrame de pesticidas y la aplicación desmedida de fertilizantes continúan como señas de identidad del progreso, las políticas públicas deben insertar esas externalidades en su cálculo. Preservar la diversidad biológica en las tierras de cultivo no es sólo un ejercicio estético; constituye un seguro contra futuros choques ambientales.

Investigaciones recientes apuntan a que el diseño de paisajes agrícolas variados puede mitigar, en parte, los daños que la fragmentación del hábitat inflige sobre la biodiversidad. Põnzio *et al.*, (2023) documentan que promover una mezcla de cultivos y dar espacio a explotaciones pequeñas se traduce en mayores números de organismos silvestres. Esa evidencia empuja a los responsables de política a mirar más allá del mínimo legal y a diseñar normas que integren la vida silvestre en cada etapa del ciclo productivo. Por su lado, Zabel *et al.*, (2019) subrayan que esas inversiones en diversidad no solo salvan especies y ecosistemas, sino que también convierten a los campos en sistemas más robustos y sostenibles.

Innovaciones tecnológicas en el MIP

La agricultura de precisión ahora atraviesa el Manejo Integrado de Plagas y redefine su lógica de intervención. Dispositivos de muestreo remoto, drones y sensores de humedad están reemplazando lentamente el perímetro de la buena fe por un mapa decimal del campo. Cruz *et al.*, (2021) siguen ese rumbo con aceites esenciales y metabolitos microbianos, productos biorracionales que fulminan insectos sin dejar la huella tóxica de los

piretroides. Dicho enfoque reduce la presión química acumulativa, frena el umbral de resistencia en las plagas y, de paso, ofrece a los agricultores una paleta de herramientas menos dependiente del combustible industrial.

La gestión de datos, más allá de las tradicionales tareas de detección y control de plagas, se ha convertido en un pilar de la evolución del manejo integrado de plagas (MIP). Al incorporar plataformas informáticas que procesan y visualizan información, los productores pueden abordar los problemas desde una perspectiva más holística. Singh *et al.*, (2023) remarcan que los algoritmos predictivos ayudan a trazar mapas de infestaciones futuras, colocando la intervención en el momento óptimo. Este uso intensivo de la tecnología no solo agudiza la precisión del MIP, sino que sistematiza la supervisión general de la actividad agrícola en un escenario donde el clima varía con rapidez y las plagas aumentan su presión. Integrar estas soluciones digitales se presenta, por tanto, como un paso ineludible para sostener prácticas agrícolas responsables, limitar la evolución de la resistencia a los insecticidas y, en última instancia, asegurar el abastecimiento alimentario a largo plazo.

La evolución tecnológica en el manejo integrado de plagas ha cruzado umbrales que apenas se intuían hace una década. Más que una moda pasajera, las innovaciones recientes responden a la implacable resistencia que muchos insectos han adquirido frente a los insecticidas convencionales. Asimismo, la presión social por sistemas agrícolas menos contaminantes agrega otro motivo urgente. La biotecnología microbiana se asoma como una respuesta seria; cultivos de *Lactobacillus* spp. han logrado degradar huellas de organofosforados en productos lácteos, un hallazgo que sugiere usos futuros en campo abierto (Simoni *et al.*, 2023). Paralelamente, la nanotecnología comienza a abrir caminos inéditos en la formulación y liberación controlada de compuestos activos. Otro eje de trabajo proviene de la botánica doméstica: extracciones de ajo y canela *In Vitro* matan larvas de varias plagas, dato que ya lo comenzó a incorporar la práctica agrícola (Yparraguirre *et al.*, 2021; Rojas-Amado y Acero-Godoy 2023).

La vigilancia permanente de la resistencia genética y fisiológica de los artrópodos a los pesticidas figura entre los pilares del manejo integrado de plagas. Estudios de campo recientes han documentado que la conocida polilla dorso de diamante, *Plutella xylostella*, puede expresar tolerancia rápida y significativa a múltiples clases de insecticidas, fenómeno que obliga a reforzar los muestreos periódicos y las pruebas de eficacia. Rodríguez-Rodríguez *et al.*, (2021) enfatizan, con datos empíricos en coles comerciales, que sin esas correcciones en tiempo real el plan de control pierde operatividad.

La inclusión de bioplaguicidas en los programas de manejo integrado de plagas (MIP) avanza con rapidez, ofreciendo una opción menos corrosiva que los

insecticidas sintéticos tradicionales. Estos biocontroladores suelen ejercer un impacto ecológico limitado y, por su naturaleza, apuntan casi exclusivamente a las especies no deseadas (Carbajal *et al.*, 2019). Un caso emblemático es *Beauveria bassiana*; este hongo entomopatógeno ha rendido frutos concretos contra *Plutella xylostella* y *Spodoptera frugiperda*, lo que refuerza la necesidad de adoptar tales estrategias dentro de la rutina agronómica moderna (Pacheco *et al.*, 2019; Hernández-Trejo *et al.*, 2019).

Recientemente, el horizonte del manejo integrado de plagas (MIP) se ha expandido gracias a varias innovaciones tecnológicas. Por ejemplo, el despliegue del ARN de interferencia (ARNi) ha comenzado a probarse en el control biológico y ya se reporta como una herramienta sorprendentemente efectiva (Gamero *et al.*, 2022). Al atacar únicamente el material genético de los insectos, el ARN reduce por lo general la incidencia de daño colateral sobre organismos no objetivo. Esa misma propensión a limitar efectos secundarios hace que los nuevos enfoques aumenten tanto la sostenibilidad como la resiliencia de los agroecosistemas y, de allí, se los considere un paso concreto hacia una agricultura más responsable y ecológicamente consciente (Vázquez-Núñez, 2022).

Conclusiones

La literatura científica acumulada sobre el Manejo Integrado de Plagas (MIP) sugiere que estas prácticas desempeñan un papel decisivo en la conservación de la biodiversidad agrícola. Al combinar estrategias biológicas, culturales y tecnológicas, el MIP protege efectivamente a polinizadores, organismos edáficos y la flora asociada a los cultivos. Un ecosistema agrícola manejado bajo este enfoque muestra mayor resiliencia frente a brotes de plagas y enfermedades, reforzando así la sostenibilidad productiva en el largo plazo. Varios trabajos empíricos indican que la adopción coherente de MIP reduce la dependencia de pesticidas sintéticos, lo que mitiga los impactos adversos sobre la fauna y flora no blanco.

Sin embargo, la literatura aún muestra claros vacíos sobre cuán efectivas son estas prácticas en distintas condiciones agroecológicas y situaciones socioeconómicas. Aunque la investigación sobre manejo integrado de plagas ha aumentado, pocos estudios han medido con rigor el papel que juegan las innovaciones tecnológicas y las políticas públicas en los resultados del enfoque, especialmente en lo que respecta a la sostenibilidad y la conservación de la biodiversidad. Por ello, se recomienda centrar futuros trabajos en explorar cómo herramientas emergentes, como plataformas de monitoreo y control de plagas habilitadas por datos, interactúan con prácticas culturales para maximizar la eficiencia de insumos y proteger los ecosistemas. Además, es urgente analizar de qué modo las políticas agrícolas pueden incentivar la adopción de estrategias de MIP que se adapten a las necesidades de la agricultura familiar y a los ecosistemas que son particularmente vulnerables.

Revisando el Mecanismo de Incentivos para la Productividad (MIP) y su efecto sobre la biodiversidad, queda claro que un análisis verdaderamente profundo requiere el cruce de varias disciplinas, desde la agronomía hasta la sociología. Convergencia de estos saberes técnicos y sociales es la única vía que puede ofrecer respuestas integradas y viables, capaces de mantener la estabilidad de los agroecosistemas en un clima de incertidumbre creciente.

Referencias

- Aguirre-Salado, O., Nieto, J., Aguirre-Salado, C., Monterroso-Rivas, A., & Gallardo, J. (2023). Erosión hídrica, redistribución del carbono orgánico del suelo y conservación del suelo y agua: una revisión. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 29(3), 47-60. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.10.075>
- Alarcón, M., Murrieta-Galindo, R., Hernández-Orduña, M., & Cimé, B. (2022). Social perception of apiculture in an urban setting: a case study in central Veracruz, Mexico. *Teoría Y Praxis*, 30, 1-20. <https://doi.org/10.22403/ugroomx/typ30/01>
- Alvarado Gastesi, J., Cobos Mora, F., Gómez Villalva, J., & Medina Litardo, R. (2024). Manejo integrado de cultivos y desarrollo sostenible. *Magazine De Las Ciencias: Revista De Investigación E Innovación*, 9(1), 22-35. <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i1.3049>
- Álvarez-Vilca, J., Sarmiento-Sarmiento, G., Mena-Chacón, L., & Lipa-Mamani, L. (2023). Residualidad y disipación de lufenuron aplicado en arveja en una zona semiárida e índice de peligro y riesgo por ingesta. *Bioagro*, 35(1), 135-146. <https://doi.org/10.51372/bioagro352.6>
- Aquino, L. & Medina, M. (2019). Caracterización de la intoxicación ocupacional por pesticidas en trabajadores agrícolas atendidos en el hospital barranca Cajatambo 2008 – 2017. *Horizonte Médico (Lima)*, 19(2), 39-48. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2019.v19n2.06>
- Baena-Díaz, F., Chévez, E., & Porter-Bolland, L. (2023). ¿qué sabemos de las abejas sin aguijón (hymenoptera: apidae, meliponini) en México: diversidad, ecología y polinización. *Acta Zoológica Mexicana (NS)*, 1-17. <https://doi.org/10.21829/azm.2023.3912565>
- Barquero, L., Vargas, V., Zúñiga, Ó., & Blanco-Meneses, M. (2020). Abono orgánico, microorganismos de montaña (mm) y fertibiol para el control biológico de la hernia de las crucíferas (*Plasmodiophora brassicae* wor.) en el cultivo de mostaza china (*Brassica rapa* sp. pekinensis var. taranko fl). *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i2.43088>
- Beltrán-Pineda, M. E., y Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- Benítez, Á., Gradstein, S., Cevallos, P., Medina, J., & Aguirre, N. (2019). Comunidades de briófitos terrestres relacionados con factores climáticos y topográficos en un páramo del sur de Ecuador.

- Caldasia, 41(2), 370-379.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.67869>
- Blanco, S., Tello, V., Rioj , T., & Carevic, F. (2023). Uso de setos y bandas florales para el manejo de plagas agrícolas en el cultivo de Solanum lycopersicum l. para reducir el uso de plaguicidas. Idesia (Arica), 41(2), 127-134.
<https://doi.org/10.4067/s0718-34292023000200127>
- Burra, D., Pretty, J., Neuenschwander, P., Liu, Z., Zhu, Z., & Wyckhuys, K. (2021). Human health outcomes of a restored ecological balance in african agro-landscapes. The Science of the Total Environment, 775, 145872.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145872>
- Carbajal, A., Sánchez, M., & Romero, E. (2019). Bioplaguicidas: un sustituto de los plaguicidas químicos. RDI.
<https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2019.13.351>
- Carranza-Patiño, M., Aragundi-Sabando, L., Macias-Barrera, K., Paredes-Sarabia, E., & Villegas-Ramírez, A. (2024). Conservación y manejo sostenible del suelo en la agricultura: una revisión sistemática de prácticas tradicionales y modernas. Código Científico Revista De Investigación, 5(E3), 1-28.
<https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/ne3/303>
- Carranza-Patiño, M., Contreras-Mora, M., Macias-Leon, M., Pincay-Pin, P., Rendón-Margall n, E., & Herrera-Feijoo, R. (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.
<https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/ne2/219>
- Carrión-Rodríguez, K., Caiminagua-I aguazo, M., & Soto-González, C. (2021). Tratamiento contable del activo biológico: planta productora, enmienda a nic 41. 593 Digital Publisher Ceit, 6(3), 122-132.
<https://doi.org/10.33386/593dp.2021.3.548>
- Chamer, A., Med n, D., Montaldo, N., Mantese, A., & Devoto, M. (2020). Visitantes florales del girasol (Helianthus annuus) y su vegetación acompañante en la pampa interior. Ecología Austral, 30(2), 228-238.
<https://doi.org/10.25260/ea.20.30.2.0.859>
- Chillo, V., Pizzingrilli, P., Pascual, M., & Heinzle, L. (2023). Efecto de diferentes prácticas de manejo orgánico en frambueso sobre la diversidad de artrópodos de importancia agrícola en el bols n, río negro. Revista De La Facultad De Agronomía, 122(1), 119.
<https://doi.org/10.24215/16699513e119>
- Contreras, A., Sanchez, P., Romero-Arenas, O., Tapia, J., Ocampo-Fletes, I., & Lezama, J. (2019). Prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en la región cafetalera de xolotla, puebla. Acta Universitaria, 29, 1-16.
<https://doi.org/10.15174/au.2019.1864>
- Cruz Trujillo, J. J., Hernández Gutiérrez, V., Sánchez Leal, L. C., & Fuentes Quintero, L. S. (2021). Alternativas de control biorracionales sobre Phytophthora infestans, fitopatógeno causante de la gota en papa. Revista Nova publicación científica En Ciencias biomédicas, 19(36), 31-48.
<https://doi.org/10.22490/24629448.5287>
- Cuadras B., A., Guevara, V., Guevara, H., López, J., & Herrera-Barrientos, J. (2021). Agricultura intensiva y calidad de suelos: retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 12(8), 1401-1414.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2704>
- Dainese, M., Martin, E., Aizen, M., Albrecht, M., Bartomeus,  ., Bommarco, R., & Steffan-Dewenter, I. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. Science Advances, 5(10).
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>
- Dean, A., Niemi, J., Tyndall, J., Hodgson, E., & O'Neal, M. (2020). Developing a decision-making framework for insect pest management: a case study using aphid glycines (Hemiptera: Aphididae). Pest Management Science, 77(2), 886-894.
<https://doi.org/10.1002/ps.6093>
- Delgado Moreira, M. I., Moreira Macías, M. V., Vidal Zambrano, D. B., Andrade Macías, Y. M., & Richard, E. (2020). Educación ambiental para el manejo apropiado de agrot xicos en comunidades rurales de Manab . Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad, 3(2), 110-124.
<https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.95>
- Diyaolu, C. & Folarin, I. (2024). The role of biodiversity in agricultural resilience: protecting ecosystem services for sustainable food production. International Journal of Research Publication and Reviews, 5(10), 1560-1573.
<https://doi.org/10.55248/gengpi.5.1024.2741>
- Epelde, L., Salazar, O., Martín, I., & Garbisu, C. (2020). Variables affecting the diversity of soil organisms in green areas of the city of donostia-san sebastián. Ecosistemas, 29(1).
<https://doi.org/10.7818/ecos.1881>
- Esquivel, J., Pauchard, A., & Saldaña, A. (2019). Efecto de la diversidad funcional sobre la tasa de evapotranspiración: un análisis anual de tres bosques templados chilenos. Gayana Botánica, 76(2), 156-167.
<https://doi.org/10.4067/s0717-66432019000200156>
- Estrada-Gamboa, J., Umaña-Castro, R., Sancho-Blanco, C., & Orozco-Aceves, M. (2023). Aislamiento, identificación y caracterización de cepas bacterianas con potencial de degradación de los plaguicidas clorotalonil y clorpirifos. Uniciencia, 37(1), 1-16.
<https://doi.org/10.15359/ru.37-1.26>
- Fernández Acevedo, V. & Armendano, A. (2024). Arañas en cultivos de lechuga con cilantro como planta acompañante. Avances En Investigación Agropecuaria, 28, Págs 20-28.
<https://doi.org/10.53897/RevAIA.24.28.02>
- Filipi ni, A., Lavoratti, R., & Silva, W. (2023). Avalia o do crescimento e desenvolvimento inicial da cultura da mandioca com a aplicación de inoculante biológico. Revista Ibero-Americana De Humanidades Ciencias E Educación, 9(10), 3930-3939.
<https://doi.org/10.51891/rease.v9i10.11978>
- Florida Rofner, N., Abad Príncipe, RM, Rengifo-Rojas, A. y Nazar Cipriano, J. (2023). Efectos a largo plazo del pastoreo rotacional en pasturas de Urochloa brizantha

- cv. Marandú sobre los indicadores de calidad del suelo. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 11 (2), 131-144. [https://doi.org/10.17138/tgft\(11\)131-144](https://doi.org/10.17138/tgft(11)131-144)
- Franco, F., Prieto, N., Rebouças, A., Bueno, A., Cirqueira, C., Lyra, J., ... & Viggiano, S. (2023). Identificación de poblaciones expuestas o potencialmente expuestas a plaguicidas y síntomas por intoxicación autor referenciados en minga guazú. *Revista De Investigación Científica Y Tecnológica*, 7(2), 58-65. [https://doi.org/10.36003/rev.investig.cient.tecnol.v7n2\(2023\)6](https://doi.org/10.36003/rev.investig.cient.tecnol.v7n2(2023)6)
- Freire, P., Camino, F., & Troya, S. (2024). La influencia de la superintendencia de ordenamiento territorial en la regulación del uso y ocupación del suelo en el cantón: un análisis de la competencia exclusiva del gadsm. *Dilemas Contemporáneos Educación Política Y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v12i.4476>
- Gamero, M., Toloza-Moreno, D., Belaich, M., & Barrera, G. (2022). Arn de interferencia (arni): una herramienta eficaz en agrobiotecnología. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 24(2), 59-67. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v24n2.99397>
- Gonzales Torrico, E. M., Cortes Gumucio, C., Blanco Cáceres, R., & Loayza Aguilar, J. (2024). Microorganismos endófitos una evaluación de su importancia en la agricultura ecológica: Endophytic microorganisms an evaluation of their importance in the ecological agriculture. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 5(3), 1186 – 1194. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2107>
- González-Chang, M., Wratten, S., Shields, M., Costanza, R., Dainese, M., Gurr, G., ... & Zhou, W. (2020). Understanding the pathways from biodiversity to agro-ecological outcomes: a new, interactive approach. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 301, 107053. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107053>
- Göpel, J., Schüngel, J., Stuch, B., & Schaldach, R. (2020). Assessing the effects of agricultural intensification on natural habitats and biodiversity in southern Amazonia. *Plos One*, 15(11), e0225914. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225914>
- Granados-García, I., Armendáriz-Arnéz, C., Nicasio-Arzeta, S., Huerta-Beristain, G., Ramírez-Vargas, M., & Moreno-Godínez, M. (2022). Paraoxonasa 1 y su relación con factores de riesgo en fumigadores del estado de guerrero: estudio preliminar. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 38, 535-547. <https://doi.org/10.20937/rica.54224>
- Granizo, W. and Chuquín-Vasco, D. (2024). Modelamiento estadístico del efecto del bio carbono en la morfología y producción de solanum lycopersicum, l, híbrido pietro, bajo cubierta. *Revista Científica Multidisciplinaria Investigo*, 5(13), 218-240. <https://doi.org/10.56519/ajs1xy88>
- Hernández-Trejo, A., Estrada-Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., Giron, J., Patiño-Arellano, S., & 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, M. & Hernández, O. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: una revisión. *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*, 12(2), 15-28. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15197>
- Ika, S., Susetyo, R., Pribadi, A., Dwiwinarno, T., & Widagdo, A. (2022). Factors influencing biological asset disclosures in agricultural companies in Indonesia. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1114(1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1114/1/012074>
- León-Duran, M. & Osorio, Á. (2021). Sustainably soil management in agroecological transition processes. *Ecosistemas*, 30(2), 1-11. <https://doi.org/10.7818/ecos.2061>
- Leroy, D. (2020). Riesgos relacionados con el uso de pesticidas: prácticas, percepciones y consecuencias sanitarias en los páramos colombianos y venezolanos. *Sociedad Y Ambiente*, (23), 1-35. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2184>
- Mali, M., Latha, K., Sidar, S., Rudraboyina, S., Jaiswal, N., & Chandrakar, G. (2023). Review of conservation agriculture practices for sustainable farming. *The Pharma Innovation*, 12(10S), 1518-1523. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i10st.23692>
- Mantzoukas, S. & Eliopoulos, P. (2020). Endophytic entomopathogenic fungi: a valuable biological control tool against plant pests. *Applied Sciences*, 10(1), 360. <https://doi.org/10.3390/app10010360>
- Marques, A., Martins, I., Kästner, T., Plutzer, C., Theurl, M., Eisenmenger, N., ... & Pereira, H. (2019). Increasing impacts of land use on biodiversity and carbon sequestration driven by population and economic growth. *Nature Ecology & Evolution*, 3(4), 628-637. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0824-3>
- Marqués, M. (2022). El suelo agrícola, una perspectiva histórica de su degradación y la oportunidad de contribuir a la mitigación del cambio climático. *Revista Española De Desarrollo Y Cooperación*, (48), 35-56. <https://doi.org/10.5209/redc.81175>
- Martins, R., Parra-Serrano, L., Torquato, L., Meneses, K., & Farias, M. (2023). Influencia del abono verde en los atributos físicos de un latosol amarillo distrófico. *Acta Agronómica*, 71(4). <https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.102578>
- Masaquiza-Moposita, D. A., Martin, D., Zapata, J., Soldado, G., & Salas, D. (2023). Apicultura ecuatoriana: situación y perspectiva. *Tesla Revista Científica*, 3(2), e252. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e252>
- Matias-Pillasagua, V., Allaica, J., González-Bazán, A., & Medina, P. (2023). Alternativas nacionales e internacionales propuestas para el tratamiento de aguas residuales por el método biológico. una revisión de la literatura. *593 Digital Publisher Ceit*, 8(5), 874-885. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.5.2065>
- Mero-Peñarrieta, C., Yandún-Patiño, F., & Bravo, S. (2022). Determinación de plaguicidas

- organofosforados en aguas del río carrizal como posible amenaza tecnológica. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*, 201-213. <https://doi.org/10.22209/rt.v45n3a06>
- Mora-Chacón, J., Nakajima, S., Rojas, P., & Rojas, C. (2019). Efecto de la cobertura forestal sobre las características del suelo en la finca experimental interdisciplinaria de modelos agroecológicos: un estudio de caso. *Intersedes*, 20(42), 208-224. <https://doi.org/10.15517/isucr.v20i42.41851>
- Moran C., J. & Jiménez-Martínez, E. (2024). Macrofauna edáfica en agroecosistemas de coffea arabica l., en tepec-xomolth, nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 57626. <https://doi.org/10.15517/am.2024.57626>
- Moran, J. & Jiménez-Martínez, E. (2024). Macrofauna edáfica en agroecosistemas de coffea arabica l., en tepec-xomolth, nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 57626. <https://doi.org/10.15517/am.2024.57626>
- Morel, A. & Acosta, O. (2022). Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico / quality of the soil in the different uses and managements through macrofauna as a biological indicator. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 996-1006. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-074>
- Moreno, P., Ramírez-Durán, N., Sánchez, Y., & Calderón, M. (2023). Educación y política ambiental para el uso de pesticidas en México; análisis y perspectivas para el año 2030.. *Dilemas Contemporáneos Educación Política Y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v1i1.3829>
- Mosquera, HQ, Hurtado, D., & Arboleda, J. (2019). Influencia de las condiciones edáficas sobre la dominancia y diversidad de árboles en bosques pluviales tropicales del chocó biogeográfico. *Revista De Biología Tropical*, 67(6). <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i6.37517>
- Mujiyana, M., Islami, N., & Setiawan, N. (2023). Utilization of bio-pesticides as a solution to farmer dependence on the use of chemical pesticides in sawahan village, donorejo district, pacitan regency. *ICTCED*, 1(2). <https://doi.org/10.18196/ictced.v1i2.54>
- Naharki, K., Regmi, S., & Shrestha, N. (2020). A review on invasion and management of fall armyworm (spodoptera frugiperda) in nepal. *Reviews in Food and Agriculture*, 1(1), 06-11. <https://doi.org/10.26480/rfna.01.2020.06.11>
- Nasution, S. (2024). The explosion of pests and diseases due to climate change. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1297(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1297/1/012072>
- Ocampo Quijano, L. E., Osorio Vega, W. N., Martínez Atencia, J. & Cabrera Torres, K. R. . (2022). La densidad aparente y el tamaño de agregados del suelo controlan el crecimiento radical de Megathyrus maximus. *Acta Agronómica*, 70(4), 353–362. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.88785>
- Otieno, N. & Mukasi, J. (2023). Tropical insectivorous birds' predation patterns that promote forest–farmland trophic connectivity for integrated top–down pest biocontrol. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1194267>
- Pacheco Hernández, Ma de Lourdes, J. Francisco Reséndiz Martínez, y Víctor J. Arriola Padilla. (2019). Organismos entomopatógenos Como Control biológico En Los Sectores Agropecuario Y Forestal De México: Una revisión. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 10 (56). México, ME. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>
- Pathak, S., Johar, V., Kaur, A., Elizabeth, R., & KT, M. (2024). A comprehensive review on harvesting abundance: exploring the tools and techniques of zero budget natural farming. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(4), 293-301. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i44482>
- Pônzio, M., Pasqualotto, N., Zanin, M., Chiarello, A., & Pardini, R. (2023). Landscape heterogeneity can partially offset negative effects of habitat loss on mammalian biodiversity in agroecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 61(1), 120-133. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14543>
- Puentes Escobar, T. C., & Rodríguez Carlosama, A. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Avances Investigación En Ingeniería*, 18(2 (Julio-diciembre). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7540>
- Quiroz-Medina, C., Castellón, J., Navas, N., Ortiz, M., & Zúñiga-González, C. (2021). Caracterización de la macrofauna edáfica en diferentes sistemas agroforestales, en el municipio de san ramón, departamento de matagalpa, nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 34(02), 572-582. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i02.11542>
- Rahmawasih, R., Abadi, A., Mudjiono, G., & Rizali, A. (2022). The effect of integrated pest management on scirpophaga innotata population and natural enemies on rice field in south sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(9). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230917>
- Rebolledo C., M., Miele, J., & Palacio, L. (2022). Dependencia de los polinizadores como determinante de la susceptibilidad a la fragmentación del hábitat de mucuna mutisiana (kunth) d.c. fabaceae en el bosque seco tropical del caribe colombiano. *Revista Novedades Colombianas*, 17(1). <https://doi.org/10.47374/novcol.2022.v17.2216>
- Reddy, A., Chethan, T., Bhujel, S., Vijay, R., Nandini, S., Siddiqua, A. & Khayum, A. (2024). Maximizing yield and sustainability: a comprehensive approach to integrated pest management in horticulture crops. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(5), 632-649. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i5824>
- Redlich, S., Martin, E., & Steffan-Dewenter, I. (2021). Sustainable landscape, soil and crop management practices enhance biodiversity and yield in conventional cereal systems. *Journal of Applied*

- Ecology, 58(3), 507-517. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13821>
- Rivera, E., Holguín-Céspedes, G., & Montes, D. (2019). New polymorphism in the sodium channel gene of *Rhipicephalus microplus* tick (Ixodida: Ixodidae) resistant to pyrethroids. *Revista De Biología Tropical*, 67(4). <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.35250>
- Rodríguez-Gonzales, A., Ortiz, C., Ramos, R., Macías, S., & Llanos, L. (2024). Análisis de la comercialización de pesticidas: un estudio transversal en sucre, Bolivia. *Revista De Ciencia Tecnología E Innovación*, 22(31), 351-362. <https://doi.org/10.56469/rcti.v22i31.1016>
- Rodríguez-Rodríguez, J., Chávez, E., Fuentes, Y., Beltrán-Beache, M., Landeros-Flores, J., & Guevara-Acevedo, L. (2020). Efectos subletales en el desarrollo de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) asociados a la resistencia a fipronil. *Acta Zoológica Mexicana (N S)*, 1-10. <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612214>
- Rodríguez-Rodríguez, J., Chávez, E., Fuentes, Y., Landeros-Flores, J., Guevara-Acevedo, L., & López, H. (2021). Efectos subletales y costos de resistencia a abamectina en palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) (Lepidoptera: Plutellidae). *Revista Colombiana De Entomología*, 47(2). <https://doi.org/10.25100/socolen.v47i2.10657>
- Rojas-Amado, A. and Acero-Godoy, J. (2023). Comparación de la actividad antifúngica de los aceites esenciales del género *Cinnamomum* spp. contra fitopatógenos. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.5854>
- Salvador-Adriano, M., Ortiz-Villalobos, I., Velázquez-Ovalle, G., Salvador-Figueroa, M., Salgado-Mora, M., & Adriano-Anaya, L. (2024). Características químicas y biológicas del suelo con manejo orgánico y cultivado con papaya (carga papaya l). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(3), e71559. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-033>
- Sánchez Palacios, L. E., Martínez Alcivar, F. R., Torres Sánchez, S. T., Lascano Montes, A. C., & Terán Guajala, G. N. (2024). Agricultura de Precisión en El Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 1532-1542. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9547
- Sánchez, J., Carrasco-Ortiz, A., López-Gallego, E., Ramírez-Soria, M., Spina, M., Ortín-Angulo, M., & Ibáñez-Martínez, H. (2021). Density thresholds and the incorporation of biocontrol into decision-making to enhance the control of *Cacopsylla pyri* in pear (cv. Ercolini) orchards. *Pest Management Science*, 78(1), 116-125. <https://doi.org/10.1002/ps.6615>
- Santillán-Fernández, A., Cabrera, I., Ruiz, L., Carrillo-Ávila, E., Alatorre-Cobos, F., & Bautista-Ortega, J. (2021). Resiliencia de la cobertura vegetal en el suroeste de México ante los efectos del cambio climático. *Revista Peruana De Biología*, 28(2), e18187. <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i2.18187>
- Simoni Berra, M. A., Girón Ortiz, J. A., Hernández Aldana, F., Huerta Lara, M., Yáñez Santos, J. A., & Cedillo Ramírez, M. L. (2023). Resistencia de *Lactobacillus* spp. A malatión 1000. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 39, 1-10. <https://doi.org/10.20937/RICA.54183>
- Singh, N., Sunitha, N., Tripathi, G., Saikanth, D., Sharma, A., Jose, A., ... & Mary, M. (2023). Impact of digital technologies in agricultural extension. *Asian Journal of Agricultural Extension Economics & Sociology*, 41(9), 963-970. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2023/v41i92127>
- Sotomayor-Chavez, A., Crisanto, D., Iannaccone, J., Alarcón, G., Alvarino, L., & Olano-Panchano, P. (2024). Efecto de cuatro plaguicidas convencionales sobre el polinizador *Forcipomyia* spp. (Diptera: Ceratopogonidae) del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), en San Martín, Perú. *Folia Amazónica*, 33(1), e33737. <https://doi.org/10.24841/fa.v33i1.737>
- Tiwari, A. (2024). Insect pests in agriculture identifying and overcoming challenges through IPM. *Archives of Current Research International*, 24(3), 124-130. <https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i3651>
- Torres C., E. & Lagos-López, M. (2019). Evaluación del aceite esencial de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) sobre el ácaro rojo de aves *Dermanyssus gallinae* (De Geer, 1778) (Acari: Dermanyssidae) bajo condiciones de laboratorio. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 20(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1249
- Vargas Sunta, IF., y Moyano Calero, W. (2022). Efectos de los plaguicidas en la salud humana en una comunidad agrícola. *Sapienza: Revista Internacional de Estudios Interdisciplinarios*, 3 (5), 229-238. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.482>
- Vázquez, M., Valiño-Cabreras, E., Torta, L., Laudicina, V., Sardina, M., & Mirabile, G. (2022). Potencialidades del consorcio microbiano *Curvularia kusanoi* -*Trichoderma pleuroticola* como pretratamiento biológico para la degradación de fuentes fibrosas. *Revista MVZ Córdoba*, 27(2), e2559. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2559>
- Vázquez-Núñez, E. (2022). Uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencia Y Nanotecnología*, 16(30), 1e-25e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69704>
- Vega, L., Márquez-Dávila, K., Ramírez, J., Álvarez-Benaute, L., Hurtado, A., & Vangeli, S. (2022). Potencial de mineralización de nitrógeno de suelos del valle interandino de Huánuco. *Producción + Limpia*, 17(1), 148-168. <https://doi.org/10.22507/10.22507/pml.v17n1a9>
- Velázquez Vázquez, G., Aragón Sánchez, M., Puga Jiménez, A. L., & Hernández Juárez, E. (2024). Extractos Acuosos de *Cecropia peltata* L. y *Trema micrantha* Blumen como una Alternativa para el Control de *Tetranychus urticae* Koch. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 3742-3753. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10793
- Vélez-Ruiz, M., Betancourt, C., & Mendoza, J. (2021). Evaluación de diferentes momentos de aplicación de insecticida metomil 90% para el control del gusano

- cogollero (*spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. *Ciencia Y Tecnología*, 14(2), 33-40. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.500>
- Vicente, J., Riquinho, D., Nora, C., Damaceno, A., & Souto, L. (2020). Exposición a agrotóxicos e a leucemia linfocítica aguda em criança: uma revisão de escopo. /pesticida exposure and acute lymphocytic leukemia in children: a scope review. *Ciencia Cuidado E Saúde*, 19. <https://doi.org/10.4025/cienccuidsaude.v19i0.50017>
- Vidal, V. & Farji-Brener, A. (2020). Lo esencial es invisible a los ojos (humanos): patrones uv explican la mayor tasa de visita de los polinizadores a las flores amarillas del arbusto *cytisus scoparius*. *Ecología Austral*, 30(1), 012-018. <https://doi.org/10.25260/ea.20.30.1.0.911>
- Wolff, S., Hüttel, S., Nendel, C., & Lakes, T. (2021). Agricultural landscapes in brandenburg, germany: an analysis of characteristics and spatial patterns. *International Journal of Environmental Research*, 15(3), 487-507. <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00328-y>
- Yparraguirre, H., Guerrero, J., Sotomayor-Parian, R., & Soto-Cordova, M. (2021). Actividad antifúngica de extractos vegetales contra *erysiphe necator* en el cultivo de vid en condiciones de campo en la región Ica-Perú. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3481>
- Zabel, F., Delzeit, R., Schneider, J., Seppelt, R., Mauser, W., & Václavík, T. (2019). Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10775-z>
- Zapata-Ramón, C., Paladines-Montero, A., León-Reyes, A., & Ramírez-Villacís, D. (2022). Caracterización del microbioma de plantas de banano (*musa × paradisiaca* l.) bajo sistemas de producción orgánico y convencional. *Aci Avances en Ciencias E Ingenierías*, 14(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v14i2.2298>
- Zelaya-Molina, L., Chávez-Díaz, I., Santos-Villalobos, S., Cruz-Cárdenas, C., Ruiz-Ramírez, S., & Rojas-Anaya, E. (2022). Control biológico de plagas en la agricultura mexicana. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, (27), 69-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i27.3251>
- Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. (2024). Integrated pest management: an update on the sustainability approach to crop protection. *Acs Omega*, 9(40), 41130-41147. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>