

09. TECNOLOGÍAS 4.0 PARA EL CONTROL DE PLAGAS: DE LA INNOVACIÓN EN LABORATORIO A LA SOSTENIBILIDAD EN EL CAMPO.

Joel Hinojosa Dávalos
Posdoctorante SECIHTI
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9967-2266>

Cuahtémoc Acosta Lúa
Profesor CUCiénega, UDG
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7398-2629>





RESUMEN

Las plagas agrícolas, responsables de pérdidas del 20-40% en cultivos a nivel mundial y del 30-50% en México, con impactos críticos en Jalisco, donde plagas como el gusano cogollero y la mosca prieta reducen los rendimientos hasta en un 35%. Para mitigar estos daños, se proponen dos estrategias clave: Manejo Integrado de Plagas (MIP): Manejo Agroecológico de Plagas (MAP). Innovaciones tecnológicas: El CUCiénega de la Universidad de Guadalajara ha desarrollado dispositivos patentados, como drones para dispersión de biocontroles, trampas automatizadas con IoT y transportadores inteligentes de agentes biológicos. Estas tecnologías, validadas mediante software especializados y pruebas de campo, optimizan la precisión, reducen costos y minimizan el uso de insumos sintéticos. El Programa PIMATP: Integra MIP y MAP con tecnologías 4.0 en un sistema escalable y sostenible, cuyos componentes clave incluyen: Diagnóstico inteligente: Uso de drones y trampas automatizadas para monitoreo en tiempo real. Intervenciones híbridas: Combinación de liberación de biocontroles y prácticas agroecológicas. Plataforma digital: Analiza datos con IA y facilita la participación comunitaria. Resultados esperados: Reducción del 40% en uso de insecticidas sintéticos (MIP). Aumento del 25% en biodiversidad de insectos benéficos (MAP). La sinergia entre tecnología, agroecología y manejo integrado de plagas ofrece un modelo replicable para una agricultura sostenible, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este enfoque no solo mejora la productividad, sino que también fortalece la resiliencia ambiental y la seguridad alimentaria, demostrando que la innovación inclusiva puede transformar los desafíos agrícolas en oportunidades de desarrollo.

INTRODUCCIÓN

Las plagas agrícolas representan una de las mayores amenazas para la seguridad alimentaria global, causando pérdidas significativas en la producción de cultivos. A nivel mundial, se estima que entre 20% y 40% de los cultivos se pierden anualmente debido a plagas y enfermedades ^[1]. En México, este problema es igualmente crítico, con pérdidas que oscilan entre el 30% y 50% en cultivos clave como maíz, frijol y aguacate. En el estado de Jalisco, principal productor de granos y agave del país, las infestaciones de plagas como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y la mosca prieta (*Aleurocanthus woglumi*) han generado reducciones de hasta 35% en rendimientos.

Ante este escenario, los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) emergen como estrategias clave para mitigar estos daños. El MIP, basado en la combinación de métodos biológicos, químicos y culturales, ha demostrado reducir pérdidas en un 25-60% en cultivos extensivos. Por su parte, el MAP, que enfatiza la biodiversidad funcional y la salud del suelo, ha logrado disminuir infestaciones en sistemas agroecológicos hasta en un 70%, como se ha observado en fincas de pequeña escala en Jalisco. La integración de tecnologías innovadoras como: Drones para dispersión de biocontroles o trampas



automatizadas— con estos enfoques puede potenciar su eficacia. Por ejemplo, en Jalisco, el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) para aplicar agentes de control biológico ha incrementado la precisión y reducidos costos operativos en un 40%. Estos avances, combinados con prácticas agroecológicas como policultivos y

manejo de hábitats, ofrecen una solución sostenible para reducir la dependencia de plaguicidas sintéticos y fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas.

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

El MIP es un enfoque ecológico para el control de plagas que combina diversas estrategias de manera sostenible, con el objetivo de reducir el uso de pesticidas químicos y minimizar los impactos ambientales y en la salud humana. Se fundamenta en la integración de métodos biológicos, culturales, físicos y químicos, priorizando la prevención y el monitoreo constante ^[2,3]. Cuyos fundamentos son: Monitoreo y evaluación de plagas: Identificación y seguimiento de las poblaciones de plagas para tomar decisiones informadas. Umbrales de acción: Establecimiento de niveles de infestación que justifiquen intervención. Prevención: Implementación de prácticas culturales como rotación de cultivos y uso de variedades resistentes. Control biológico: Promoción de enemigos naturales como depredadores y parasitoides. Control físico y mecánico: Uso de trampas, barreras y métodos manuales. Control químico racional: Aplicación selectiva de pesticidas sólo cuando sea estrictamente necesario.



MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

El MAP es un enfoque holístico que busca regular las poblaciones de plagas mediante la manipulación de procesos ecológicos en los agroecosistemas ^[4]. A diferencia del MIP, el MAP enfatiza la restauración de la biodiversidad funcional y la resiliencia del sistema, reduciendo la dependencia de insumos externos. Cuyos fundamentos son: Biodiversidad funcional: Se promueve la diversidad biológica para mejorar los servicios ecosistémicos de regulación de plagas. Por ejemplo, el uso de policultivos y cercas vivas incrementa los enemigos naturales. Suelo sano: La salud del suelo

es fundamental, ya que plantas bien nutridas son más resistentes a plagas. Prácticas como el compostaje y los abonos verdes fortalecen este componente. Control biológico por conservación: Se favorece el hábitat de depredadores y parasitoides mediante bancos de flores, corredores biológicos y refugios. Resistencia inducida: Se estimulan los mecanismos de defensa de las plantas mediante bioestimulantes y microorganismos beneficiosos. Conocimiento local: Se integra el saber campesino con la ciencia agroecológica para diseñar estrategias adaptativas.



El MIP y el MAP comparten el objetivo de reducir el uso de plaguicidas sintéticos, aunque difieren en su enfoque principal: el MIP se centra en el control técnico de plagas con mínimo impacto ambiental, basado en agronomía, entomología y toxicología, mientras que el MAP promueve la regulación ecológica mediante el diseño del agroecosistema, fundamentado en agroecología, ecología de comunidades y etnoecología. Ambos incorporan conocimientos científicos y empíricos, priorizan el control biológico y la prevención, y prefieren alternativas no químicas, aunque el MIP permite pesticidas químicos como último recurso, y el MAP evita insumos sintéticos, privilegiando recursos locales. En cuanto a la escala, el MIP se aplica a nivel de finca o cultivo específico, mientras que el MAP considera el sistema agroecológico en su conjunto (interacciones entre cultivos, suelo y biodiversidad), aunque ambos pueden escalar regionalmente. La participación de los agricultores también varía: en el MIP, los técnicos toman decisiones basadas en datos, mientras que el MAP fomenta la cocreación de conocimientos con saberes locales, aunque ambos valoran el conocimiento empírico. Los indicadores de éxito difieren: el MIP mide la reducción de daños económicos, y el MAP evalúa la resiliencia del agroecosistema y biodiversidad, aunque ambos miden sostenibilidad a mediano plazo. Finalmente, el MIP es compatible con la agricultura convencional, mientras que el MAP se vincula a mercados agroecológicos o soberanía alimentaria, aunque ambos promueven seguridad alimentaria.



TECNOLOGÍA AGROECOLÓGICA PARA EL CAMPO JALISCIENSE: INNOVACIÓN FRENTE A LAS PLAGAS

La región Ciénega de Jalisco es un eje clave en la agricultura del occidente mexicano, donde cultivos como el maíz, el agave y las berries sostienen la seguridad alimentaria y la economía local. Sin embargo, esta productividad se ve amenazada por plagas como *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis* y *Bemisia tabaci*, cuyo control ha dependido tradicionalmente de plaguicidas sintéticos, generando graves impactos ambientales, riesgos para la salud y una creciente dependencia tecnológica en los pequeños productores.

Frente a este desafío, desde 2020, el CUCiénega de la

Universidad de Guadalajara desarrolló un conjunto de dispositivos tecnológico de bajo costo, basado en el Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) y el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Dichos dispositivos buscan reemplazar gradualmente los agroquímicos con soluciones modulares, accesibles y sostenibles, diseñadas para adaptarse a las condiciones reales del campo. El proyecto integra dispositivos interoperables para la detección temprana de plagas, atracción selectiva, liberación de biocontroles y aplicación precisa de bioinsumos. Estas tecnologías fueron validadas mediante simulaciones computacionales, manufactura aditiva (impresión

3D) y pruebas de campo, asegurando su eficacia, durabilidad y facilidad de uso. Además, se alinea con políticas como la Estrategia Nacional de Bioinsumos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2, 9, 12, 13, 15 y 17), promoviendo una transición hacia una agricultura más limpia y resiliente. Su diseño modular permite escalabilidad y adaptabilidad, fortaleciendo las capacidades locales frente al cambio climático y el deterioro de los suelos.

La iniciativa destaca por su enfoque colaborativo, incorporando el conocimiento de los agricultores en cada etapa del desarrollo tecnológico. Esta sinergia entre ciencia y saberes tradicionales no solo mejora la adopción

de innovaciones, sino que también impulsa un modelo de bioeconomía circular, donde la sostenibilidad y la productividad van de la mano. Con este avance, la región Ciénega del Estado Jalisco se pretende posicionar como un referente en agricultura de precisión y agroecología, demostrando que la innovación tecnológica, cuando es inclusiva y respetuosa del medio ambiente, puede transformar los desafíos del campo en oportunidades de desarrollo sostenible.

INNOVACIÓN PATENTADA PARA EL CONTROL AGROECOLÓGICO DE PLAGAS DESARROLLADA EN EL LABORATORIO DE MICROTECNOLOGÍA DEL CUCIÉNEGA DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Con ocho registros ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) el laboratorio de Microtecnología apoya al desarrollo tecnológico del campo y agricultura de la región, estas patentes reflejan soluciones innovadoras para el manejo sostenible de plagas, combinando automatización, biocompatibilidad y adaptabilidad a las necesidades del campo.

Entre los dispositivos destacan:

- Un sistema aéreo de dispersión de insumos (Patente 424717), diseñado para drones agrícolas, que optimiza la aplicación de biofertilizantes y biocontroleros.
- Un transportador inteligente de biocontroleros (MX5813 y MX/u/2025/000248), capaz de mantener condiciones óptimas de temperatura durante el almacenamiento y transporte.
- Trampas automatizadas para monitoreo y captura de plagas (MX5425), que facilitan la identificación temprana de infestaciones.
- Tecnologías de aspersión y liberación automatizada (MX5283 y MX/a/2022/008129), que permiten una

dosificación precisa de bioinsumos.

- Un atrayente alimenticio específico para plagas (MX/a/2022/016260), formulado para reducir el uso de químicos sintéticos.

Las innovaciones tecnológicas diseñadas para el control de plagas representan un modelo replicable de agricultura de precisión y bajo impacto ambiental, al integrar estratégicamente ambos enfoques para optimizar el control de plagas de manera sostenible. Estas herramientas no solo son avances técnicos, sino también soluciones prácticas que combinan eficiencia operativa con principios ecológicos.

Por ejemplo, el dispersador de gránulos para drones permite la aplicación precisa de plaguicidas (reduciendo dosis, MIP) o la dispersión de bioinsumos como *Beauveria bassiana* (MAP), fusionando precisión técnica con bajo impacto ambiental. De manera similar, el liberador automático de biocontroleros optimiza la liberación de parasitoides (MIP) mientras fortalece hábitats para biodiversidad funcional (MAP). La composición



atrayente biodegradable facilita el trampeo masivo (MIP) sin dañar polinizadores (MAP), y el equipo de aspersión alterna entre insecticidas de bajo impacto (MIP) y biofertilizantes como extractos de neem (MAP), adaptándose a necesidades preventivas o emergentes. La trampa automatizada, programable según ciclos de plagas identificados por agricultores, une automatización (MIP) con conocimiento local y estímulos ecológicos como feromonas (MAP). Además, el transportador de biocontroladores asegura la viabilidad de enemigos naturales en diversos climas (MIP), clave para sistemas agroecológicos diversificados (MAP), mientras que la dispersión aérea con drones permite aplicar agentes de control biológico (MIP) o restaurar biodiversidad con microorganismos (MAP).

Estas sinergias demuestran cómo la integración de tecnología, biodiversidad y conocimiento local maximiza la eficiencia, reduce el uso de insumos sintéticos y fortalece la resiliencia de los agroecosistemas, alineándose con los principios de una agricultura climáticamente inteligente y sostenible. Dando como resultado la propuesta de un prototipo de “Programa Integrado

de Manejo Agroecológico y Tecnológico de Plagas (PIMATP)”, donde sus componentes claves son:

1. Diagnóstico Inteligente

Herramientas: Drones con sensores para optimizar la aplicación de bioproductos agrícolas y mejorar la calidad del cultivo vegetal. Trampas automatizadas con IoT que monitorean plagas y enemigos naturales en tiempo real. Enfoque MAP: Mapeo de biodiversidad funcional. Enfoque MIP: Uso de umbrales dinámicos ajustados por algoritmos basados en clima y datos históricos.

2. Intervenciones Híbridas

Para el control del gusano cogollero, se combina la liberación automatizada de *Trichogramma* (MIP) con la siembra de Tagetes (nematicida natural) mediante un dispersador de gránulos (MAP), generando una sinergia que potencia el control biológico a través de hábitats diseñados. Contra la mosca blanca, se emplea la aspersión localizada de jabones potásicos junto con cultivos trampa de Sorghum, lo que permite concentrar las plagas y reducir en un 50% el uso de



químicos, integrando barreras físicas y biológicas de manera eficiente.

3. Monitoreo y Retroalimentación

Plataforma digital que integra: Datos de monitoreo realizados por los drones y trampas. Indicadores de salud del suelo (MAP) y Alertas automáticas cuando se superan umbrales (MIP). Talleres participativos para agricultores: Interpretación de datos + técnicas agroecológicas (ej: compostaje, policultivos).

4. Validación Científica

Parámetros de éxito: MIP: Reducción del 40% en uso de insecticidas sintéticos, MAP: Aumento del 25% en biodiversidad de insectos benéficos. Herramientas: Transportador de biocontroles para asegurar viabilidad de agentes biológicos. Composición atrayente biodegradable para trampeo masivo sin dañar polinizadores.

El PIMATP crear un sistema eficiente, sostenible y escalable de control de plagas, reduciendo pérdidas agrícolas y minimizando el impacto ambiental, mediante la sinergia de tecnologías innovadoras, principios ecológicos y estrategias de manejo sostenible, para reducir pérdidas económicas, minimizar el uso de insumos sintéticos y fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas, garantizando seguridad alimentaria y conservación de la biodiversidad. Dado que su diferenciador ante el MIP y MAP es: Tecnología accesible: Uso de drones y sensores de bajo costo para pequeños productores. Adaptabilidad: Funciona en sistemas convencionales (transición a MIP) y agroecológicos (MAP consolidado). Certificación sostenible: Sellos para fincas que cumplan metas de reducción de químicos + biodiversidad como se puede observar en la figura 1.

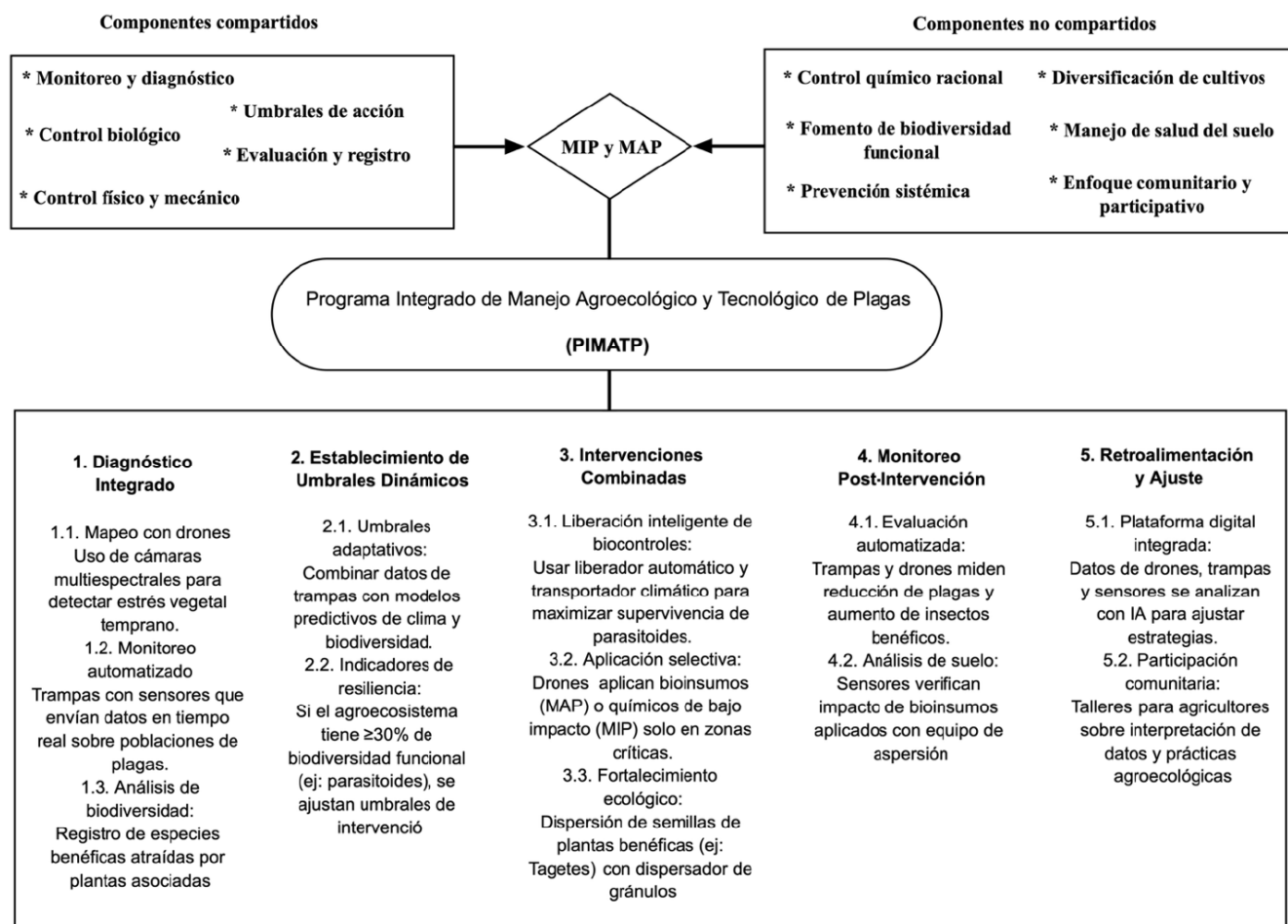


Figura 1. Componentes integrados del MIP y MAP en el PIMATP



CONCLUSIÓN

El Programa Integrado de Manejo Agroecológico y Tecnológico de Plagas (PIMATP) reduce el uso de plaguicidas sintéticos, promueve la biodiversidad y fortalece la resiliencia de los agroecosistemas. Incluye innovaciones tecnológicas como el dispersador de bionsumos, biocontroles para drones, transportador de biocontroles y trampas automatizadas, desarrolladas por la Universidad de Guadalajara, que ofrecen soluciones accesibles para pequeños y medianos productores. Este enfoque combina conocimiento local, participación de agricultores y un modelo de bioeconomía circular, demostrando en regiones como Jalisco que es posible equilibrar productividad y sostenibilidad ambiental, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La integración de tecnología, agroecología y manejo integrado de plagas impulsa una agricultura sostenible y resiliente, mitigando plagas y asegurando seguridad alimentaria y salud de los ecosistemas para futuras generaciones.

Referencias Bibliográficas

1. Nodo de inteligencia estratégica SC. Análisis del Impacto Económico de Restricciones sobre la Comercialización de Plaguicidas en la Producción de Cultivos Relevantes del Mercado Agroalimentario Mexicano. México: Protección de Cultivos, Ciencia y Tecnología AC; 2023. Disponible en: <https://www.proccyt.org.mx/wp-content/uploads/2023/08/INFORME-PLAGUICIDAS-230823.pdf>
2. Deguine JP, Aubertot JN, Flor RJ, Lescourret F, Wyckhuys KAG, Ratnadass A. Manejo integrado de plagas: buenas intenciones, duras realidades. Una revisión. Agron Sustain Dev. 2021;41:38.
3. Kaur T, Kaur M. Manejo Integrado de Plagas: Un Paradigma para la Era Moderna [Internet]. En: Plagas, Malezas y Enfermedades en la Producción Agrícola y Ganadera. London: IntechOpen; 2020.
4. Belmain SR, Tembo Y, Mkindi AG, Arnold SEJ, Stevenson PC. Elements of agroecological pest and disease management. Elem Sci Anth. 2022;10(1).

