

ALTERNATIVAS AL CLORPIRIFOS Y A OTROS INSECTICIDAS ORGANOFOSFORADOS

Informes Técnicos IRET N° 54

Fernando Ramírez Muñoz
Oswaldo Quesada Cabezas



Acerca de los autores

Fernando Ramírez Muñoz, es investigador y docente del Instituto Regional de Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional (UNA) de Costa Rica desde 1999. Ingeniero Agrónomo especialista en el estudio del uso y de los efectos de los plaguicidas sobre los sistemas de producción agrícola, el ambiente y la salud; en las alternativas agroecológicas y en el manejo de plantas arvenses y malezas. Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en Sistemas de Producción Agrícola. Miembro de la Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL), de la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN, por su sigla en inglés) y de la Pesticide Research Network (PRN), redes que impulsan investigación y acción en la regulación de plaguicidas y la búsqueda de alternativas para la protección de la salud ecosistémica.

Oswaldo Quesada Cabezas, es ingeniero agrónomo bachiller, actualmente finalizando su tesis de licenciatura sobre resistencia de malezas a herbicidas y estudiante de la Maestría en Agricultura Ecológica (MAE) de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional (UNA) de Costa Rica. Contribuye como asistente en el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) desde el 2020. Ha participado como instructor en el manejo de agroquímicos y reducción de su uso en cultivos, contribuido en la mejora y agilización de procesos técnicos y aplicaciones en el cultivo de piña y colabora en proyectos de extensión relacionados a la agroecología.

Acerca del IRET

El Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional (IRET-UNA) es un centro de investigación con proyección nacional, regional e internacional, comprometido con el desarrollo sostenible, la protección y conservación de los ecosistemas naturales, la calidad de vida de los trabajadores y de la sociedad afectados por las sustancias tóxicas y otras actividades humanas. Los conocimientos y datos generados por el Instituto en las áreas de Salud, Química, Ambiente y Diagnóstico son utilizados por entidades gubernamentales y no gubernamentales como fuente primaria de información en temas de exposición a las sustancias tóxicas y sus efectos en el ambiente, en la salud humana y en los sistemas de producción agrícola, para la toma de decisiones referente a la regulación de sustancias tóxicas.

Acerca de IPEN

IPEN es una red global que está forjando un mundo más saludable donde las personas y el medio ambiente ya no se vean perjudicados por la producción, el uso y la eliminación de sustancias químicas tóxicas. La red ayudó a dar forma al primer tratado para prohibir los productos químicos más peligrosos del mundo, el Convenio de Estocolmo, y sigue siendo influyente en su implementación, así como de otros tratados que rigen los productos químicos y los desechos, los Convenios de Rotterdam y Basilea y el Tratado de Mercurio de Minamata. Más de 600 ONG de interés público en más de 124 países, en su mayoría naciones de ingresos bajos y medianos, forman parte de IPEN y trabajan para fortalecer las políticas nacionales y mundiales sobre productos químicos y desechos, contribuir a la investigación innovadora y construir un movimiento mundial en favor de un futuro sin tóxicos. Contacto: www.ipen.org

Coordinación de la oficina de IPEN para América Latina y el Caribe, Fernando Bejarano coordinacion@rapam.org

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.

632.95

R 173 a Ramírez Muñoz, Fernando

Alternativas al clorpirifos y a otros insecticidas organofosforados. / Fernando Ramírez Muñoz, Osvaldo Quesada Cabezas. -- 1 ed. -- Heredia, Costa Rica: IRET-UNA, 2023.

81 páginas: ilustraciones a color. -- (Colección: Informe técnicos IRET, n° 54)

ISBN 978-9968-924-54-2

1. INSECTICIDAS 2. COMPUESTOS ORGANOFOSFORADOS 3. TOXICOLOGIA
4. PLAGUICIDAS 5. MANEJO DE PLAGAS 6. CONTROL DE PLAGAS 7. RIESGOS PARA LA
SALUD 8. CONTROL BIOLÓGICO 9. MEDIO AMBIENTE 10. PROTECCION AMBIENTAL 11.
AGRICULTURA 12. COSTA RICA

I. Ramírez Muñoz, Fernando II. Quesada Cabezas, Osvaldo III. Título. IV. UNA. V. IRET.
VI. Serie.

Referencia Bibliográfica

Ramírez Muñoz, F., Quesada Cabezas, O. (2023). *Alternativas al clorpirifos y a otros insecticidas organofosforados*. IRET-UNA.

Más información en:

<http://www.iret.una.ac.cr/>

framirez@una.ac.cr

RESUMEN EJECUTIVO

Los insecticidas organofosforados han estado en el mercado de los agroquímicos por mucho tiempo. En Costa Rica se tienen registros de importación desde la década de los 70. El clorpirifos es un insecticida perteneciente a este grupo químico y actualmente es uno de los insecticidas más usados en Costa Rica y en el mundo. En los últimos años más de 250.000 kilogramos de ingrediente activo de clorpirifos se importan en Costa Rica anualmente.

Este grupo de plaguicidas organofosforados, inhiben la enzima acetilcolinesterasa, lo que impide la normal transmisión del impulso nervioso en organismos como insectos, aves, reptiles, peces, mamíferos y muchos otros tipos de animales, provocando de esta forma intoxicaciones agudas, siendo el grupo de insecticidas que provoca mayor cantidad de muertes globalmente. De la misma forma, en Costa Rica los organofosforados son el grupo de plaguicidas que produce la mayor cantidad de intoxicaciones agudas reportadas a los entes oficiales.

El clorpirifos posee características fisicoquímicas que le dan propiedades de persistencia, bioacumulación, capacidad de desplazarse a largas distancias y de causar efectos adversos en la salud humana y en la del medio ambiente. Es considerado un Plaguicida Altamente Peligroso (PAP) bajo los criterios de FAO/OMS y PAN International. Los efectos en salud del clorpirifos incluyen, además de la inhibición de la colinesterasa y la posterior sobreestimulación nerviosa que puede concluir con la muerte, afecciones en el desarrollo cerebral de niños, aún con exposiciones prenatales, retrasos en sus funciones cognitivas, problemas de atención, mayor probabilidad de padecer autismo, efectos nerviosos permanentes, y otros efectos crónicos.

La exposición de personas al clorpirifos, y a otros plaguicidas, se da por varias vías: los trabajadores que manipulan, formulan y venden el plaguicida, los agricultores que lo aplican y los consumidores de alimentos que fueron tratados en el insecticida. El clorpirifos se ha encontrado contaminando poblaciones enteras que viven cerca de plantaciones donde se usa en fundas bananeras, contaminando frutas, hortalizas, vegetales: en Costa Rica es el cuarto plaguicida con mayores incumplimientos de los Límites Máximos de Residuos en estos alimentos.

Este insecticida es una sustancia extremadamente tóxica de forma aguda para organismos acuáticos y polinizadores, y altamente tóxica para aves. Al llegar a las aguas, se puede acumular en los tejidos de los peces y otros organismos que se expongan o la consumen. En Costa Rica es común encontrar residuos de clorpirifos desde hace muchos años en aguas superficiales de quebradas, ríos y lagos de muchas regiones, en biota marina y en animales silvestres.

Basado en su persistencia, bioacumulación y toxicidad, y en su presencia en muchos compartimentos ambientales, el uso de clorpirifos genera efectos adversos importantes sobre la salud humana y el medio ambiente, justificando una acción legal y la aplicación de alternativas de menor impacto, para el manejo de organismos que, por presión de selección, han evolucionado como plagas en cultivos intensivos, principalmente. De esta forma, varios países se han sumado a las prohibiciones de clorpirifos; actualmente está totalmente prohibido su uso en 41 países, incluyendo los 27 de la Unión Europea, pero

además, en varios países se han dado prohibiciones parciales para no usarse en cultivos agrícolas, que no es el caso de Costa Rica.

Existe un sinnúmero de alternativas al clorpirifos, aplicables en muchos cultivos y situaciones, para evitar las consecuencias negativas que este insecticida pueda provocar en la salud ecosistémica en general. Es necesario, ante todo, un cambio de paradigma para no depender del control químico cuando aparezcan las plagas; en este sentido, las prácticas agroecológicas surgen como alternativas más limpias, más respetuosas y sostenibles, que se debieran incentivar tanto en sistemas de pequeños productores como en grandes fincas de agricultura extensiva. Existen varias tácticas de manejo dentro de la agroecología que cumplen con los requisitos buscados.

El manejo preventivo pretende el estar preparados ante la aparición de posibles organismos plaga, especialmente nuevas plagas, que pueden llegar a una región, finca o parcela determinada; esto incluye cuidar el ingreso de materiales de calidad y sanos a la zona, como semillas, sustratos, equipos, herramientas libres de, por ejemplo, huevos o pupas de insectos. El mantenimiento de cercas vivas, coberturas, plantas nectaríferas, atrayentes, y otro tipo de barreras, son formas de manejar preventivamente una plaga.

Otro tipo de componente es el manejo cultural, que se refiere a las prácticas para generar condiciones favorables al cultivo pero inadecuadas a las plagas; entre éstas prácticas se encuentran: una adecuada preparación del suelo, que incluya labranza mínima o uso de rastrojos como cobertura y enriquecedora de microorganismos de suelo, rotación de cultivos, siembra de cultivos mixtos, adecuada densidad de siembra y otras prácticas, preferiblemente combinadas, que enriquezcan la biodiversidad del agroecosistema, lo que sin duda va a traer beneficios de tipo ecosistémico.

Las prácticas de manejo físico comprenden instrumentos para controlar insectos sin el uso de venenos; entre éstas se tienen las trampas de varios tipos: pegajosas, jabonosas, policromáticas, con o sin atrayentes, de luz, combinadas, adecuadas a muchas situaciones de cultivo (exterior, ambientes protegidos, etc.) y diversas actividades. Otra práctica física es la solarización y biofumigación de suelos que busca controlar diversas plagas, entre éstas, larvas y pupas de insectos y nemátodos, ya sea directamente en suelo o en sustratos utilizados para el cultivo. También el enriquecimiento del suelo con fuentes de quitina propicia los microorganismos del suelo que la consumen. Esta sustancia está presente en huevos de insectos y nemátodos, reduciendo de esta forma esas poblaciones de plagas. Otra fuente muy novedosa y poco estudiada es la aplicación de ozono (O₃) por agua de riego o en emulsión de aceite, que es efectivo en el control de insectos blandos y ácaros. También se pueden aplicar las tácticas de manejo mecánico. Desde la recolección y entierro de órganos o cosechas infestados con plagas, a la remoción mecánica de insectos con sopladoras o aspiradoras.

Muy importante es el manejo biológico, que está basado en la acción de enemigos naturales de las plagas, que pueden ser depredadores, parasitoides, hongos, bacterias, virus, nemátodos, entre otros. Todo esto manteniendo una adecuada población de, por ejemplo, plantas nectaríferas o materia orgánica en suelos, que protejan y perpetúen estos organismos benéficos; y obviamente el no uso de plaguicidas biocidas que quiebren ese equilibrio. Existen muchas experiencias exitosas en el uso de parasitoides de principalmente huevos, de insectos plaga como *Trichogramma* sp y *Cotesia* sp; de

depredadores como Chrysopas, Catarinas, avispas y otros organismos que, incluso se venden comercialmente como “Systems” e incluyen ácaros, chinches y coleópteros depredadores, nematodos entomopatógenos y nematófagos. También se cuenta con entomopatógenos como *Bacillus* sp, *Beauveria bassiana*, *Metharizium* sp, *Paecilomyces* sp, *Lecanicillium* sp, entre muchos otros.

No hay que dejar de lado a los extractos botánicos, repelentes e insecticidas naturales, como el Neem, piretros y otras diversas plantas locales. Así mismo, sustancias de menor impacto en salud y ambiente como azufre, cal, citoquininas, sales potásicas y otros extractos. No cabe duda que la oferta actual de alternativas es grande y se acopla a muchas situaciones de manejo de plagas, y existe esperanza en que nuevos descubrimientos en el área de la agroecología vengan a llenar vacíos actuales. En esta línea, al final del documento se presentan estudios de casos de fincas comerciales costarricenses y en varios cultivos, demostrando que el clorpirifos ni ningún otro insecticida organofosforado, es imprescindible en los sistemas de producción de alimentos, ya sea de pequeños como de grandes empresarios agrícolas.

EXECUTIVE SUMMARY

Organophosphate insecticides have been on the agrochemical market for a long time. In Costa Rica there have been import records since the 1970s. Chlorpyrifos is an insecticide belonging to this chemical group and is currently one of the most widely used insecticide in Costa Rica and in the world. In recent years, more than 250,000 kilograms of chlorpyrifos as active ingredient are imported into Costa Rica annually.

This group of organophosphate pesticides inhibits the enzyme acetylcholinesterase, which prevents the normal transmission of the nerve impulse in organisms such as insects, birds, reptiles, fish, mammals and many other types of animals, thus causing acute poisoning, being the group of insecticides that cause the highest number of deaths globally. In the same way, in Costa Rica organophosphates are the group of pesticides that produces the greatest number of acute poisonings reported to official entities.

Chlorpyrifos has physicochemical characteristics that give it properties of persistence, bioaccumulation, ability to travel over long distances, and cause adverse effects on human health and the environment. It is considered a Highly Hazardous Pesticide (HPP) under the criteria of FAO/WHO and PAN. The health effects of chlorpyrifos include, in addition to cholinesterase inhibition and subsequent nervous overstimulation that can end in death, brain development disorders in children, even with prenatal exposures, delays in their cognitive functions, attention problems, greater probability of suffering from autism, permanent nervous effects, and other negative chronic conditions.

Human exposure to chlorpyrifos, and other pesticides, occurs through several routes: workers who handle, formulate, and sell the pesticide, farmers who apply it, and consumers of food that has been treated with the insecticide. Chlorpyrifos has been found contaminating entire populations that live near plantations where it is used in banana bags, contaminating fruits, vegetables, vegetables: in Costa Rica it is the fourth pesticide with the highest breaches of the Maximum Residue Limits in these foods.

This insecticide is an extremely acutely toxic substance for aquatic organisms and pollinators, and highly toxic for birds. Upon reaching the water, it can accumulate in the tissues of fish and other organisms that are exposed to or consume it. In Costa Rica, it is common to find residues of chlorpyrifos for many years in the surface waters of streams, rivers, and lakes in many regions, in marine biota, and in wild animals.

Based on its persistence, bioaccumulation and toxicity, and its presence in many environmental compartments, the use of chlorpyrifos generates significant adverse effects on human health and the environment, justifying legal action and the application of lower impact alternatives, for the Management of organisms that, due to selection pressure, have evolved as pests in intensive crops, mainly. In this way, several countries have joined the bans on chlorpyrifos; Currently, its use is totally prohibited in 41 countries, including the 27 of the European Union, but also, in several countries there have been partial prohibitions against its use in agricultural crops, which is not the case in Costa Rica.

There are countless alternatives to chlorpyrifos, applicable in many crops and situations, to avoid the negative consequences that this insecticide can cause in general ecosystem health. Above all, a paradigm shift is necessary so as not to depend on chemical control when pests appear; In this sense, agroecological practices emerge as cleaner, more respectful and sustainable alternatives, which should be encouraged both in systems of small producers and in large extensive agricultural farms. There are several management tactics within agroecology that meet the requirements sought.

Preventive management aims to be prepared before the appearance of possible pest organisms, especially new pests, which can reach a region, farm or specific plot; This includes taking care of the entry of quality and healthy materials into the area, such as seeds, substrates, equipment, tools free of, for example, insect eggs or pupae. Maintaining live fences, hedges, nectar plants, attractants, and other types of barriers are ways to preventatively manage a pest.

Another type of component is cultural management, which refers to practices to generate favorable conditions for cultivation but inadequate to pests; Among these practices are: adequate soil preparation, which includes minimum tillage or use of stubble as cover and enrichment of soil microorganisms, crop rotation, planting of mixed crops, adequate planting density and other practices, preferably combined, that enrich the biodiversity of the agroecosystem, which will undoubtedly bring benefits of an ecosystem type.

Physical management practices include tools to control insects without the use of poisons; among these are traps of various types: sticky, soapy, polychromatic, with or without attractants, light, combined, suitable for many growing situations (outdoors, protected environments, etc.) and various activities. Another physical practice is soil solarization and biofumigation that seeks to control various pests, including insect larvae and pupae and nematodes, either directly in the soil or in substrates used for cultivation. Also, the enrichment of the soil with chitin sources favors soil microorganisms that consume chitin, a substance present in insect eggs and nematodes, thus reducing these pest populations. Another very novel and little-studied source is the application of ozone (O₃) by irrigation water or in oil emulsion, which is effective in controlling soft insects and mites. Mechanical driving tactics can also be applied. From the collection and burial of organs

or crops infested with pests, to the mechanical removal of insects with blowers or vacuum cleaners.

Very important is biological management, which is based on the action of natural enemies of pests, which can be predators, parasitoids, fungi, bacteria, viruses, nematodes, among others. All this maintaining an adequate population of, for example, nectar plants or organic matter in soils, which protect and perpetuate these beneficial organisms; and obviously the non-use of biocidal pesticides that break that balance. There are many successful experiences in the use of parasitoids of mainly eggs, of pest insects such as *Trichogramma* sp and *Cotesia* sp; of predators such as Chrysopas, Ladybugs, wasps and other organisms that are even sold commercially as "Systems" and include mites, bugs and predatory beetles, entomopathogenic nematodes and nematophagous. There are also entomopathogens such as *Bacillus* sp, *Beauveria bassiana*, *Metharrizium* sp, *Paecilomyces* sp, *Lecanicillium* sp, among many others.

Botanical extracts, repellents and natural insecticides, such as Neem, pyrethrums and various other local plants, must not be neglected. Likewise, substances with a lower impact on health and the environment such as sulfur, lime, cytokinins, potassium salts and other extracts. There is no doubt that the current offer of alternatives is large and is suitable for many pest management situations, and there is hope that new discoveries in the area of agroecology will fill current gaps. Along these lines, at the end of the document, case studies of Costa Rican commercial farms and various crops are presented, demonstrating that chlorpyrifos or any other organophosphate insecticide is essential in food production systems, whether for small or large agribusiness.

Índice

1- INTRODUCCION	¡Error! Marcador no definido.
2- LOS INSECTICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y EL CLORPIRIFOS	¡Error! Marcador no definido.
2.1- Los Organofosforados	¡Error! Marcador no definido.
2.2- El insecticida clorpirifos	13
2.2.1- Generalidades.....	13
2.2.2- Efectos en salud	18
2.2.3- Impactos ambientales.....	20
3- ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PLAGAS SIN INSECTICIDAS ORGANOFOSFORADOS	22
3.1- Manejo preventivo	22
3.1.1- Ingreso de materiales y equipos a la finca	23
3.1.2- Coberturas	24
3.1.3- Cercas vivas perimetrales	25
3.1.4 Plantas nectaríferas: atrayentes de parasitoides y depredadores	27
.....	28
3.1.5- Barreras tipo tela o malla	30
3.1.6- Cubiertas plásticas fotoselectivas	31
3.1.7- Fundas plásticas para frutas	32
3.2- MANEJO CULTURAL.....	33
3.2.1- Preparación del suelo	34
3.2.2- Rotación de cultivos.....	34
3.2.3- Cultivos mixtos	35
3.2.4- Densidad y profundidad de siembra	38
3.3- MANEJO FÍSICO	39
3.3.1- Trampas.....	39
3.3.2- Solarización.....	46
3.3.3- Biofumigación.....	46
3.3.4- Uso de fuentes de quitina como nematicida	47
3.3.5- Uso de Ozono.....	48
3.4- MANEJO MECÁNICO.....	49
3.4.1- Eliminación o remoción manual de insectos	49
3.4.2- Recolección y eliminación de órganos infestados	49
3.5 MANEJO BIOLÓGICO	50
3.5.1- Uso de artrópodos como controladores de plagas	50
3.5.2- Uso de patógenos como controladores de plagas	55
3.5.3- Extractos botánicos como controladores de plagas	60

3.6- ALGUNOS INSECTICIDAS DE MENOR IMPACTO EN SALUD Y AMBIENTE.....	63
4- ESTUDIO DE CASOS.	66
4.1- Arroz:.....	66
4.2- Caña de azúcar.....	68
4.3- Melón y sandía	69
4.4- Papaya.....	70
4.5- Aguacate	70
4.6- Control de <i>Phyllophaga</i> spp. en hortalizas	71
4.7- Consideración final.....	72
5- LITERATURA CITADA.....	73

1- INTRODUCCION

El clorpirifos es un insecticida clorado organofosforado de amplio espectro, con características de alta persistencia, bioacumulación y diversas vías de transporte (como agua y aire) (Watts, 2012). Se introdujo al mercado en Estados Unidos en 1965 y es uno de los insecticidas más utilizados a nivel mundial. Su uso ha disminuido debido a la cancelación o prohibiciones crecientes en distintos lugares del planeta (Bejarano y Rojas-García, 2023) sin embargo en otros países, como Costa Rica, se sigue utilizando; ha sido prohibido o con medidas equivalentes en 41 países, incluyendo Chile, Argentina, Colombia y Perú, muy recientemente.

El clorpirifos cumple con los criterios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) para ser considerado como un Plaguicida Altamente Peligroso (PAP): presenta una o más características intrínsecas de peligrosidad como alta toxicidad aguda o crónica, ser muy persistentes, bioacumulables, causar daños irreversibles para la salud y el medio ambiente. También cumple con los criterios de persistencia, bioacumulación, potencial de transporte ambiental a largas distancias y de causar efectos adversos, por lo cual se incluye en el Anexo D del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. La exposición a este insecticida se da por varias vías: las personas que lo manipulan, los aplicadores, los vecinos de plantaciones y los consumidores de cosechas con residuos de clorpirifos, muchas veces por encima de los rangos aceptables. Ante todas estas pruebas contundentes, son muy claras y necesarias las acciones de prohibición de su uso o retiro del mercado.

El clorpirifos, así como los PAPs, requieren una prohibición progresiva y ser reemplazados por la sustentación de un modelo agroecológico, más que por la adopción de alternativas químicas de menor impacto. El hecho de que el clorpirifos se haya prohibido en gran número de países y se haya dejado de usar en muchos cultivos, refleja que en el mercado existen diversos enfoques, técnicas, métodos y sustitutos para reemplazarlo, tanto en la agricultura familiar como en la producción a escala comercial en monocultivos extensivos (Bejarano, 2017).

Existen diversas alternativas para evitar el uso de clorpirifos, como las estrategias preventivas (coberturas, cercas vivas, barreras), enfoques culturales (preparación de suelo, rotación de cultivos, cultivos mixtos), tácticas de manejo físico (trampas, solarización, biofumigación, ozono), mecánico (remoción de insectos, recolección y eliminación de tejidos infestados) y biológico (artrópodos, patógenos, extractos botánicos), entre otras.

Este documento trata de aportar información relevante y práctica que demuestra la existencia de alternativas agroecológicas sustentables para el manejo de plagas en la agricultura, las cuales generan un menor impacto ambiental y son viables para todas las situaciones que enfrenta la producción de alimentos. Se complementa con testimonios de agricultores de fincas comerciales de varios cultivos, donde expresan las técnicas empleadas para reducir el uso de plaguicidas en general y el retiro de sus campos del insecticida clorpirifos.

2- LOS INSECTICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y EL CLORPIRIFOS

2.1- Los Organofosforados

Los insecticidas organofosforados son sustancias orgánicas sintéticas derivadas de la molécula del ácido fosfórico. Han sido utilizados como plaguicidas agrícolas alrededor del mundo por muchos años. El grupo de plaguicidas OF, junto con los Carbamatos, son inhibidores de la enzima AcetilColinesterasa (AChE), esencial para la normal función del sistema nervioso central y el sistema simpático, parasimpático y los componentes motores del sistema nervioso periférico. Si la enzima es inhibida, a menudo permanentemente por los organofosforados o temporalmente por los carbamatos, la acetilcolina se acumula en la brecha sináptica, llevando a la sobreestimulación de las glándulas, nervios y músculos, resultado de la intoxicación aguda (Markov y Bocles 2021).

En Costa Rica, el IRET cuenta con datos de registros de importación para OF desde 1977 (etil paration), 1981 (etoprofos, malatión, metil paratión, fenamifos, etc.), 1982 (acefato, clorpirifos, metamidofos, forato), 1985 (terbufos, diclorvos, piperofos, edifenfos, irpobenfos y fenitrotion). Además, se han prohibido algunos OF como azinfos etílico, demefion, demeton, dialifor y dicrotofos en 2004, etil paratión, fosfamidon, ometoato, mecarban, sulprofos, leptofos y otros, en 2005, y monocrotofos en 2007.

Actualmente existen registrados cerca de 100 ingredientes activos de sustancias consideradas como insecticidas, de las cuales 20 pertenecen a la familia química de los OF. Nuestro país importó en 10 años (2012 a 2021) la suma total de 25 millones de kg ingrediente activo (i.a.) de insecticidas, representando los OF 16,22 millones kg i.a., correspondiente al 66% de la cantidad total de insecticidas, pero solamente un 21% del total de i.a. de insecticidas. Los principales insecticidas importados fueron OF: diazinon (5,64 millones kg ia.), etoprofos (2,80), clorpirifos (2,53) y terbufos (2,52).

La OMS advierte que globalmente cada año hasta 3 millones de personas sufren intoxicaciones agudas por pesticidas y 0,2 millones mueren, siendo los plaguicidas OF la principal causa de intoxicación (OPS, 2003). Por ello, se deben enfocar programas de prevención a la exposición de productos químicos muy peligrosos, localizar y aplicar estrategias alternativas a su uso.



Figura 1. Malas prácticas agrícolas que pueden generar intoxicaciones por plaguicidas.

Actualmente, se adjudican más muertes a los Organofosforados (OF) que a cualquier otra sustancia en el mundo; a nivel global se reportan más de 3.000.000 de exposiciones por año con más de 300.000 víctimas mortales, por lo cual, se considera un problema a nivel mundial (King y Aaron, 2015).

Para el año 2019, en Centro Nacional de Control de Intoxicaciones (CNI, 2020), reporta que, del total de intoxicaciones agudas por plaguicidas conocidos reportadas en Costa Rica, los insecticidas causaron cerca del 60% de los eventos (1271 intoxicaciones agudas); los principales insecticidas causantes de intoxicaciones fueron cipermetrina (13% del total), diazinon (5%), diclorvos (2,7%), metomil (2,1%), clorpirifos (2%), entre otros; aunque es de destacar que solamente cerca del 20% de las intoxicaciones agudas son reportadas a los entes oficiales (OPS, 2003).

2.2- El insecticida clorpirifos

2.2.1- Generalidades

El clorpirifos (clorpirifos etilo) es un insecticida perteneciente al grupo químico de los OF, pero posee átomos de cloro en su molécula ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$) por lo que se considera también una molécula organoclorada. Químicamente es un tiofosfato orgánico y una cloropiridina, definido como un fosforotioato de hidrógeno de O, O-dietilo en el que el hidrógeno del grupo hidroxilo ha sido reemplazado por un grupo 3,5,6-tricloropiridin-2-ilo; el clorpirifos tiene un papel como inhibidor de EC 3.1.1.7 (acetilcolinesterasa), agroquímico, inhibidor de EC 3.1.1.8 (colinesterasa), contaminante ambiental, xenobiótico, acaricida e insecticida (Pub Chem, 2023).

Los plaguicidas OF en general se degradan rápidamente en el ambiente, pero al ser el clorpirifos también un organoclorado, posee características de este grupo químico, como alta persistencia, bioacumulación y poder ser transportado a grandes distancias por las

corrientes atmosféricas, por el agua, corrientes fluviales y marinas, afectando poblaciones o ecosistemas lejanos al lugar de su aplicación original.

Las siguientes son las consideraciones por las cuales el Comité de Revisión del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, concluyó que el clorpirifos cumplía los criterios de selección especificados en el anexo D. UNEP-POPS-POPRC17. (<https://www.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC17/Overview/tabid/8900/ctl/Download/mid/25875/Default.aspx?id=52&ObjID=31059>).

Persistencia:

En los estudios de degradación del agua evaluados, los valores de DT_{50} oscilan entre 21 días a 22,5°C y 75 días a 8°C. El clorpirifos ha mostrado vidas medias en agua de más de dos meses, especialmente a temperaturas más bajas.

En el suelo, en dosis de aplicación para usos agrícolas (< a 100 mg/kg), las vidas medias encontradas abarcan un amplio rango, desde 6 días a 20°C hasta 224 días a 15°C.

En sedimentos, el umbral de 6 meses se supera en algunos estudios realizados en condiciones anaeróbicas. El clorpirifos muestra mayor persistencia cuando se asocia con sedimentos y a temperaturas más bajas.

Los datos de seguimiento del Ártico demuestran que el clorpirifos es lo suficientemente persistente como para ser transportado a regiones remotas. Dado que es más persistente a temperaturas más bajas, se espera que persista en estas regiones durante un período de tiempo considerable. Los hallazgos de clorpirifos en núcleos de sedimentos en lagos árticos y subárticos (Landers, 2008), que pueden remontarse a varias décadas atrás, proporcionan evidencia adicional de la persistencia de clorpirifos en los sedimentos.

“Hay pruebas suficientes de que el clorpirifos cumple el criterio de persistencia”.

Bioacumulación:

La K_{ow} (log) del clorpirifos oscila entre 4,7 y 5,2, lo que indica un potencial de bioacumulación en organismos acuáticos. Los valores del factor de bioconcentración (FBC) disponibles en peces cubren un amplio rango de 440 a 5100 en muchas especies, etapas de desarrollo y escenarios de exposición. Numerosos valores de BCF en peces muestran una bioconcentración moderada.

El clorpirifos muestra una alta toxicidad en peces y otras especies, como invertebrados, anfibios, aves y mamíferos. En combinación con una alta toxicidad, incluso una bioacumulación moderada puede provocar concentraciones corporales que pueden causar efectos adversos.

Se ha encontrado clorpirifos en la biota en diferentes niveles tróficos en regiones remotas, en superdepredadores y en la leche materna humana, lo que constituye una preocupación para la descendencia.

“Hay pruebas suficientes de que el clorpirifos cumple el criterio de bioacumulación”.

Potencial de transporte medioambiental a larga distancia:

El clorpirifos se ha detectado ampliamente en zonas remotas, alejadas de fuentes puntuales y/o usos agrícolas, tanto en compartimentos abióticos como en biotas como el caribú, las focas y los osos polares en el Ártico, y en el agua de deshielo del hielo marino y el aire en la Antártida. En los ecosistemas marinos de Bering y Chukchi, se encontró en la niebla marina, el agua de mar y el hielo marino (Hoferkamp et al., 2010). De los cinco pesticidas analizados, fue el más frecuentemente identificado en el agua de mar. Fue monitoreado en núcleos de nieve recolectados sobre hielo marino de cuatro estuarios del Ártico del noroeste de Alaska (Garbarino et al., 2000). En un testigo de hielo datado de Svalbard (Ruggirello et al., 2010), el clorpirifos fue el único pesticida detectado de forma continua, con las primeras detecciones entre 1971 y 1980. Las concentraciones máximas se detectaron entre 1995 y 2005, que corresponde al período en el que se produjeron más. En este estudio se tomaron muestras recientes, siendo la carga acumulada de clorpirifos la más alta de todos los compuestos analizados. Las posibles rutas de transporte incluyen el transporte atmosférico en fase gaseosa o de partículas y el transporte por agua en ríos y corrientes oceánicas.

La vida media del clorpirifos gaseoso no supera los dos días. Sin embargo, las partículas de clorpirifos son más recalcitrantes a la degradación por reacción de radicales hidroxilo y muestran una vida media atmosférica de hasta 66,4 horas.

“Hay pruebas suficientes de que el clorpirifos cumple el criterio de potencial de transporte ambiental a larga distancia”.

Efectos adversos:

El efecto principal tras la administración oral repetida de clorpirifos a corto y largo plazo es la inhibición de la actividad de la acetilcolinesterasa (AChE). Existe evidencia potencial de que los efectos de neurotoxicidad del clorpirifos en el desarrollo pueden ocurrir en dosis inferiores a las que causan la inhibición de la colinesterasa. Varios estudios epidemiológicos y revisiones de autoridades reguladoras han asociado la exposición pre y posnatal al clorpirifos con cambios en la morfología del cerebro, retrasos en las funciones cognitivas y motoras, problemas de atención y temblores. Esto, además de una alta toxicidad para los mamíferos, indica un potencial de daño a la salud humana. El clorpirifos muestra una alta toxicidad para los organismos acuáticos a ca. 0,1 µg/L. Los invertebrados, especialmente los crustáceos y los insectos, son los taxones más sensibles entre los organismos acuáticos. El clorpirifos muestra una alta toxicidad aguda para los vertebrados terrestres, especialmente para las aves (valor DL₅₀ de 13,3 mg/kg de peso corporal) y para los artrópodos no objetivo, especialmente los polinizadores. La altísima toxicidad aguda y crónica para una amplia gama de vertebrados, invertebrados e insectos (incluidas las abejas) indica un potencial de daño al medio ambiente.

“Existe evidencia suficiente de que el clorpirifos cumple el criterio sobre efectos adversos”.

En Costa Rica el clorpirifos está registrado para usarse en 12 cultivos (algodón, arroz, banano, caña de azúcar, cebolla, chile dulce, maíz, plátano, tomate y sorgo), en granos

almacenados y en fundas plásticas para los racimos de plátano y banano. Se tienen registros de 41 formulaciones en varias concentraciones de i.a. y en presentaciones físicas: desde productos que contienen 1 % de clorpirifos (BO o fundas bananeras) hasta formulaciones con 75% de i.a. (WG o gránulos dispersables para aplicarse a los suelos), pasando por concentraciones como 1,5 DP (polvo para espolvorear), 2,5; 5 y 15 GR (granulados), 3 SP (polvo soluble), 48 EC (concentrado emulsionable) y 50 WP (polvo dispersable). También hay una formulación en mezcla con cipermetrina, registrada para algodón, café, chile dulce, tomate y papa (20% clorpirifos + 2 % cipermetrina).

Aunque no se encuentra registrado, también se usa en cultivos como zanahoria, lechuga, culantro y cebolla de la zona de Zarco (2014 a 2016) (Ramírez et al., 2016), incluso fue el cuarto plaguicida en orden de uso en todos los cultivos hortícolas y el segundo insecticida; además se usó en coliflor, repollo y pastos de la región de Pacayas, Cartago entre 2006 a 2009 (Ramírez et al., 2014).



Figura 2: ejemplos de formulaciones comerciales de clorpirifos en Costa Rica.

Algunos nombres comerciales con el i.a. clorpirifos en Costa Rica son: AK-42 (+cipermetrina), Arimpirifos (+cipermetrina), Azote, Barclay Clinch XL, Barclay Clinch, Barrida, Bioquim Clorban, Clorsint, Compete, Dinamita, Dursban, Farbex, Gama Rollo, Green go Clorpirifos, Hormiguicida Daf, Keton, Kontrol, Lorcoop, Lorsban, Nufarm Clorpirifos, Pest Band, Pirifos, Poly Dursban (en polietileno), Polyinsect, Pyrinex, Pynox, Pynox, Rimpirifos, Sassex, Sharda Clorpirifos, Solver, Sumpyrifos, Terfos, Terminator, Transmerquim Clorpirifos, Unimox, Vexter, entre otros (SFE, 2023).

En Costa Rica, clorpirifos es el tercer insecticida en importancia de cantidad importada en los últimos 10 años (2012 a 2021), solo superado por diazinon y etoprofos, con un total de 2.530.670 kg i.a. en ese periodo y con promedio de 253.067 kg i.a./año; siendo 2017 y 2016 los años de mayor importación con 390.650 y 388.500 kg i.a., respectivamente.

En Estados Unidos fue prohibido para uso en hogares desde 2001, pero se siguió usando en campos agrícolas con cerca de 3.600 toneladas anualmente. El estado de California prohibió todas las ventas de este insecticida a partir del 6 de febrero del 2020 y su uso después del 31 de diciembre del mismo año, mediante un acuerdo entre el Departamento de Regulación de Plaguicidas (DPR) y la industria productora (CDPR, 2019). El 28 de

febrero de 2021 la EPA revocó todas las tolerancias o Límites Máximos de Residuos (LMR) para cosechas o cultivos, quedando oficialmente prohibido en Estados Unidos.

La Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés), publicó en agosto 2020 un doble comunicado donde concluía que los plaguicidas clorpirifos (etil) y metil clorpirifos no cumplen “con los criterios aplicables para proteger la salud humana establecidos en la legislación de la Unión Europea” y recomendaba que no se renovara su autorización pese a su uso. Así queda “no autorizado” el uso de clorpirifos en la Unión Europea (UE). En Chile fue prohibido en octubre 2022, junto con el herbicida paraquat y otro insecticida organofosforado, el metomil; y en Argentina y Perú en junio y julio 2023, respectivamente.

Además, la Agencia Reguladora del Manejo de Plagas de Health Canada, está eliminando gradualmente la venta de formulados que contienen clorpirifos para 2022 y solo permite el uso de esos productos hasta el 10 de diciembre de 2023; mientras que en Australia se están realizando evaluaciones relacionadas con la toxicología, seguridad, residuos e impacto ambiental de este insecticida (ECHA, 2022). Además, el uso de este insecticida está prohibido en cultivos en Vietnam, Marruecos, Sri Lanka, Arabia Saudita, Indonesia, Palestina, Suiza, Tailandia y Turquía (UNEP, 2023).

El clorpirifos cumple los criterios de FAO/OMS para considerarlo un Plaguicida Altamente Peligroso (PAP): *“Plaguicidas altamente peligrosos significa plaguicidas conocidos por presentar niveles particularmente altos de peligro agudo o crónico para la salud o el medio ambiente, o por estar incluidos en acuerdos o convenios jurídicamente vinculantes. En forma adicional, los plaguicidas que aparecen como causantes de daño grave o irreversible a la salud humana o al medio ambiente, en las condiciones de uso en un país, pueden ser considerados y tratados como altamente peligrosos”*. Y además, bajo los criterios ampliados de PAN también se considera un PAP: “que la toxicidad sea fatal o irreversible si es inhalado, si constituye un perturbador endocrino, que sea muy bioacumulable, muy persistente en el agua, en el suelo o en los sedimentos, muy tóxico en organismos acuáticos y por ser muy tóxico para las abejas”.

Este insecticida se encuentra prohibido en 41 países a nivel mundial. La Unión Europea (UE) ha nominado al clorpirifos para que ingrese al Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes para su eliminación mundial, debido a sus características de persistencia, bioacumulación, su capacidad de desplazarse a grandes distancias y causar efectos adversos en la salud humana y medio ambiente.

En nuestro país, el Decreto Ejecutivo 3414-2 MAG-S-TSS-MINAE restringe el uso de clorpirifos desde el año 2007, de la siguiente manera:

-Se prohíbe la aplicación de productos que contengan clorpirifos en viviendas, edificios o cualquier instalación, parques, lugares de recreo o jardines en donde se desarrollen actividades humanas.

-Se prohíbe la aplicación de los productos que contengan clorpirifos en arroz anegado. Para el caso del maíz se prohíbe el uso de formulaciones líquidas en el control de plagas del cogollo.

-Únicamente se autoriza el uso terrestre de los productos que contengan clorpirifos en los cultivos autorizados por el MAG, respetando las zonas de protección del hábitat acuático estipuladas en el artículo 33 de la ley 7575 Ley Forestal.

-El período mínimo de reingreso a los invernaderos tratados con productos que contengan clorpirifos deberá ser de veinticuatro horas después de su aplicación.

A pesar de estas medidas, las detecciones de clorpirifos como residuos en cosechas siguen manteniéndose entre las de mayor incumplimiento a los LMR, estando en cuarto lugar entre todos los plaguicidas que sobrepasan los límites máximos, tanto para el 2020 como para el 2021 (SFE, 2022; SFE, 2021).

2.2.2- Efectos en salud

Como todo organofosforado, el clorpirifos es conocido por sus efectos sobre el sistema nervioso humano, al bloquear la enzima acetilcolinesterasa, que nuestros cerebros necesitan para controlar la acetilcolina, un neurotransmisor que comunica las células nerviosas. Estos efectos neurológicos son especialmente importantes en el desarrollo del cerebro y del sistema nervioso de niños. Debido a su alta lipofiliidad, el clorpirifos tiene la capacidad de penetrar la epidermis y entrar al cuerpo del animal, ingresando a tejidos, órganos, leche y otros líquidos corporales (Wolejko et al., 2022). En Centroamérica es conocido por causar la mayoría de las intoxicaciones agudas por plaguicidas, y en Costa Rica para el 2019, se reportaron 26 casos de intoxicación aguda por clorpirifos (CNCI, 2020).

Es un insecticida con capacidad irritativa ocular, cuya exposición crónica causa un síndrome parecido a la influenza. Se ha descrito que la exposición a bajas dosis puede provocar dolores de cabeza, agitación, desorientación, pérdida de la memoria, falta de concentración, depresión severa, irritabilidad, insomnio y dificultad para hablar, náuseas, diarrea y visión borrosa; la exposición a altas dosis puede causar parálisis respiratoria y la muerte (Slavica, Dubravco y Milan, 2018).

Así mismo, el clorpirifos está relacionado con un sinnúmero de enfermedades crónicas como la disminución del desarrollo cognitivo, niños con peso bajo al nacer, mayor posibilidad de sufrir autismo, disrupción endocrina y posiblemente cáncer de pulmón y próstata, entre otros (PANNA 2023; Sagiv et al., 2018; Slotkin, Seidler y Fumagalli, 2007).

Exposición:

Por ser una sustancia con alta capacidad de bioacumulación, la exposición humana a clorpirifos se evidencia por la alta presencia en nuestros cuerpos. Un estudio hecho en EE.UU. por el Centro de Control y Prevención de Enfermedades en 2009, mostró metabolitos de este insecticida en el 93% de los residentes muestreados entre 1999 y 2002,

teniendo los niños hasta el doble del nivel que presentaron los adultos; y se encontró en orina, sangre del cordón umbilical, leche materna, fluido cervical, esperma y cabellos de niños (PAN E, 2023). El clorpirifos ha sido detectado con frecuencia en aguas superficiales de las regiones agrícolas y urbanas de los Estados Unidos (1992-2001) y se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma ecotoxicológica de agua (MTR) en Holanda (2003-2004, 2007-2008) (IRET, 2023).

En Costa Rica el SFE (2021), aconseja el uso de una formulación granulada de clorpirifos al 75% aplicada a los rastrojos de piña después de la trituración; y es usual que estos rastrojos se quemen con fuego una vez secos, lo que aumenta la exposición ambiental del insecticida.



Figura 3. Una mala práctica agrícola en el cultivo de piña: la quema de rastrojos después de ser desecados con el herbicida paraquat y en muchos casos aplicados con clorpirifos antes de iniciar con la quema. Costa Rica.

Cuando se asperja clorpirifos en los campos, incluso las personas vecinas pueden respirar partículas del insecticida que llegan a sus hogares o escuelas, debido a su capacidad de evaporación y traslado por corrientes de aire. En Costa Rica se detectó clorpirifos y su metabolito (3,5,6-tricloro-2-piridinol o TCP), en niveles bajos, en muestras de lavado de manos y pies y en orina de niños que habitan en zonas agrícolas, cerca de plantaciones de banano y plátano de la región de Talamanca (2005-2006). Aunque el clorpirifos tiene una baja persistencia en el organismo, sus metabolitos activos, el TCP y el clorpirifos-oxon (CPO), son igualmente tóxicos, pero más persistentes que la molécula “madre”, por lo que producen graves complicaciones para la salud (Hafiz et al., 2021). También se reportó en el polvo de casas que colindaban con plantaciones de banano en Limón en 2002 (Solano, 2005). Van Wendel de Joode *et al.* (2012), encontraron residuos de clorpirifos en el aire de una comunidad bananera, mediante un muestreo de aire activo y pasivo, en concentraciones diez veces más altas que las resultantes de estudios similares ejecutados en los EE. UU.

Van Wendel et al. (2016), en investigaciones efectuadas en Costa Rica, midieron el neurodesarrollo conductual de 140 niños que vivían cerca de plantaciones bananeras

donde se usaba clorpirifos, y hallaron que las concentraciones urinarias más altas de TCP se asociaron con una peor memoria de trabajo en los niños, peor coordinación visomotora, mayor prevalencia de problemas cognitivos/falta de atención informados por los padres, trastornos de oposición y disminución de la capacidad para discriminar colores.

A nivel de Centroamérica, el IRET ha recopilado hallazgos y eventos relacionados con el clorpirifos: en Honduras fue el causante de síntomas de intoxicación aguda en un tercio de 48 aplicadores de funda plástica impregnada de clorpirifos en racimos de banano (2005). Su metabolito se ha reportado en muestras de orina de adolescentes del Departamento de Choluteca luego del huracán Mitch (2001). En Nicaragua se relacionó con el déficit en el aprendizaje verbal inmediato y el desempeño visomotor; y su metabolito se encontró en orina de niños y trabajadores agrícolas (banano) de Chinandega (2005). En Panamá se reportó por provocar dermatitis de contacto, al presentar resultados positivos en la prueba de parche (IRET, 2023).

Según Wolejko et al. (2022), tres grupos de personas están principalmente expuestos al clorpirifos: los trabajadores que producen estos preparados químicos, los agricultores que los aplican y los consumidores inocentes que ingieren alimentos con residuos de plaguicidas. En un estudio realizado en Costa Rica, con 300 agricultores de la zona productora de hortalizas de Zarcero, Alajuela, se detectaron niveles de plaguicidas y productos de su degradación, tanto en la orina de los agricultores (dueños y trabajadores) de fincas convencionales como en los de fincas orgánicas; los niveles de metabolitos de mancozeb, clorpirifos y piretroides fueron más altos entre los agricultores de fincas convencionales que entre los de fincas orgánicas, especialmente el metabolito de clorpirifos (Fuhrimann et al., 2019).

Asimismo, se han encontrado residuos de clorpirifos en cosechas como apio, culantro, remolacha, papa, perejil y brócoli en zonas de producción intensiva de hortalizas (Zarcero 2014 a 2016). Para el año 2020 y 2021, encontró que el clorpirifos es el cuarto plaguicida con mayores incumplimientos en los LMR en vegetales frescos de consumo en Costa Rica, con 48 inconformidades para el 2021 en aguacate, apio, chayote, culantro de castilla y de coyote, y perejil (SFE, 2022a). La presencia de sustancias tóxicas de alta peligrosidad, como el clorpirifos, en vegetales y frutas de consumo en fresco, como la lechuga, la fresa, el culantro y el apio, que no se pelan ni se procesan, es especialmente riesgosa para los consumidores (Vargas, 2022).

2.2.3- Impactos ambientales

El clorpirifos es un insecticida extremadamente tóxico de forma aguda para varios organismos como peces, crustáceos, anfibios y polinizadores, y altamente tóxico para aves. Se recomienda no realizar aplicaciones en áreas donde hay cuerpos de agua, aves alimentándose o en reproducción, también sobre o en áreas cercanas a zonas protegidas. No se debería aplicar donde se conoce la existencia de aves, especialmente vulnerables o en peligro. Por su alta toxicidad a abejas y polinizadores, se debe trasladar las colmenas a 4 km del área de aplicación, durante 30 días; no se deben realizar aplicaciones con abejas presentes en el campo, se debe dar aviso a los apicultores cercanos antes de la

aplicación para el cierre de las colmenas, y en el caso de que los apicultores no puedan trasladar las colmenas, se debería tapar la entrada de la piquera durante la aplicación (Souza, 2023).

Cuando alcanza las aguas, puede acumularse en el tejido graso de peces y de otros organismos. Puede permanecer en el suelo desde varias semanas a años antes de descomponerse en otros metabolitos, y por su capacidad de viajar a largas distancias, se ha propuesto considerarlo para su eliminación global e incluirlo en el Convenio de Estocolmo sobre COP (PAN E, 2023).

En Costa Rica se ha reportado en aguas superficiales y tributarios del Lago Arenal (1987-1988); en sedimentos costeros de las desembocaduras de ríos del Caribe (1989) y en biota (pepino de mar) del arrecife coralino de Cahuita (1992). Fue uno de los i.a. más detectados en aguas superficiales y en sedimentos (principalmente cerca de plantas empacadoras de banano) de la cuenca del río Suerte y del área de Conservación Tortuguero (ACTo) en concentraciones que representaban un riesgo para organismos acuáticos (1993-1997). También fue detectado en sedimentos de la cuenca del río San Carlos (1997) y en muestras de agua superficial de canales, quebradas y ríos de áreas de cultivo de piña en Pocora, Siquirrez (2001); en aguas superficiales de la cuenca del Río Sixaola, en concentraciones que representan un riesgo para el ambiente acuático, y en agua utilizada para consumo humano (2006). Detectado en el pelo de una población de perezosos del Caribe que habitaba cerca de cultivos de banano y piña (2005-2007). Detectado en agua superficial y en el suelo de regiones hortícolas de Cartago (2006 y 2008). Se reportó en agua y camarón provenientes del sistema de drenajes Arenal-Tempisque (1998). Fue detectado en agua superficial de quebradas y ríos de zonas de cultivo de piña en Volcán de Buenos Aires de Puntarenas (2000). Determinado en muestras de agua de riego y parcelas de arroz cercanas al Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste (2001). Se encontró en muestras de agua de la naciente del río Tapezco, en Quebrada La Máquina y río Jilguero de la zona de Zarcero entre 2014 y 2016 (IRET, 2023).

A pesar de las medidas de restricción aprobadas en Costa Rica mediante decreto ejecutivo, se han detectado residuos de clorpirifos en las aguas de los ríos Toro y Tres Amigos, en niveles significativamente superiores a los valores de referencia que se aplican en EE.UU. (Vargas, 2022).

Basado en la persistencia, potencial de bioacumulación, toxicidad para organismos acuáticos y animales terrestres (incluidos los humanos) y la ocurrencia generalizada en compartimentos ambientales, incluidas regiones remotas, ECHA (2022), concluyó que es probable que el uso de clorpirifos produzca efectos adversos importantes para la salud humana y el medio ambiente, lo que se justifica una acción global.

3- ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PLAGAS SIN INSECTICIDAS ORGANOFOSFORADOS

Desde hace más de siete décadas el control químico se mantiene como el método principal de control de plagas. En el transcurso de los años, se han evidenciado los riesgos que su uso presentan para la salud humana y el ambiente (Pérez *et al.*, 2010). Desde el siglo pasado, se determinó que el uso indiscriminado de insecticidas en los sistemas agrícolas ha traído una serie de consecuencias negativas, tanto para el medio ambiente como para el ser humano y, para los mismos sistemas de producción agrícola. Es también conocida la experiencia general de que una sola medida de control de plagas agrícolas no resuelve el problema y que, al contrario, puede resultar en nuevas y más serias dificultades (Giraldo, 1988).

Costa Rica representa un claro ejemplo de la tendencia aumentativa en el empleo de plaguicidas sin que disminuyan las pérdidas ocasionadas por organismos nocivos a los cultivos. Dentro de las principales consecuencias del empleo de plaguicidas se encuentran: la contaminación ambiental, los daños a la salud por efectos agudos y crónicos, las intoxicaciones y muertes (Espinoza *et al.*, 2003).

El clorpirifos es el ingrediente activo en más de 800 productos pesticidas a nivel mundial, se emplea para el control de numerosas plagas en cultivos agrícolas y domésticas (Owens, 2000). Para evitar el uso de clorpirifos existen diversas técnicas alternativas disponibles orientadas al control de plagas, entre ellas los controladores biológicos, extractos naturales con acción biocida, tácticas preventivas, mecánicas, físicas, culturales, los criterios ecosistémicos para el manejo de plagas en cultivos, trampas, entre otros (Watts, 2012).

Lamentablemente, en la mayoría de ocasiones, cuando aparece un insecto, planta arvense, hongo u otro tipo de organismo extraño al cultivo, los productores, influidos por su temor a perder la cosecha, amparados en sus costumbres e instados por los vendedores de insumos agrícolas, deciden aplicar un químico sin evaluar previamente su efecto socioambiental ni la existencia de diversas alternativas, incluso herramientas o técnicas que debieron aplicarse antes de la aparición de ese organismo a cual se asumió *per se* como plaga. Se debe tener en cuenta la prevención por sobre la curación, desde una planificación y acción que sea integral (el todo por sobre las partes), sistémica (las interrelaciones) y dialéctica (ver todas las dimensiones de un fenómeno, incluso las que se actúan de manera contrapuesta) (Souza, 2023).

En el mundo se encuentran tanto sistemas agroalimentarios dependientes de los insumos químicos como aquellos que no, demostrando que es posible enfrentar los problemas generados por las plagas desde una perspectiva ecológica y sostenible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022).

3.1- Manejo preventivo

La prevención es siempre el mejor modo de manejar los problemas de plagas. Cada plaga específica requiere condiciones ambientales óptimas para llegar a causar daño (humedad,

luz, sombra, etc.). El manejo preventivo busca adelantarse y estar preparado ante la posible aparición de organismos que podremos considerar plagas, o evitar que la plaga llegue a infestar regiones, fincas o incluso lotes dentro de una misma finca.

Uno de los sistemas para manejar organismos no deseados, es el Manejo Integrado de Plagas (MIP), que es una forma darles mantenimiento a los cultivos, una combinación de varias medidas de control de enfermedades y plagas, de modo que el daño causado esté bajo el nivel económicamente aceptable. Eso también reduce el riesgo de la salud humana y el medio ambiente, y también el costo de los productores. Antes de tomar medidas de control, es fundamental arreglar la situación de los cultivos para mantener la sanidad vegetal desde el punto de vista de la prevención, es decir, esmerarse en que prácticas como la preparación del suelo, fertilización, riego y drenaje, etc., se hagan de la mejor forma posible. Además de arreglar la situación física, se requiere atención diaria y el seguimiento para saber el estado del cultivo, la aparición de plagas y enfermedades. Eso se realiza por observación. Observar y dar atención a los cultivos son otros elementos fundamentales para el MIP.

3.1.1- Ingreso de materiales y equipos a la finca

Semilla de buena calidad: se debe de asegurar que la semilla, tanto de cultivos como de coberturas u otro tipo de propágulos que ingresen al campo, se haya cosechado de lugares limpios, su proceso de almacenaje haya sido correcto, tenga una calidad comprobada y si se puede, que sea certificada. Esto para asegurarse que no contenga elementos como huevos, pupas o adultos de insectos plaga que puedan llegar a sembrarse.



Figura 4. Semilla de papa almacenada y aplicada con insecticidas en polvo (clorpirifos), muestra aún cierta incidencia de plagas.

Materiales provenientes de otras regiones o fincas

Cualquier tipo de entrada al sistema (sustrato, almácigo, herramientas y otros utensilios como sacos, canastos, tarimas, etc.) deben de ser inspeccionados para asegurarse que vengán libres de insectos (huevos, pupas o adultos), ya que esta es una forma común de ingreso de plagas nuevas a una región o país. Por ejemplo, la broca del café (*Hypotenemus*

hampei), se cree que ingresó a Costa Rica por medio de instrumentos y ropa que los recolectores de café trajeron desde Nicaragua, donde ya estaba presente, ya que el primer foco descubierto fue en una localidad del centro del país.

Equipos mecánicos

De la misma forma que con los materiales, los equipos mecánicos como arados, rastras, chapeadoras y otros acoplados a tractores, deben de limpiarse o lavarse antes de ingresarlos a los nuevos campos. Es muy común que formas inmaduras de insectos o los mismos adultos, viajen en restos de cosechas o suelo adheridos a estos equipos.



Figura 5. Equipos mecánicos con restos de suelo, posible fuente de dispersión de diversas plagas.

3.1.2- Coberturas

Una práctica preventiva contra la aparición de plagas como nemátodos, es la siembra de plantas de cobertura o cultivos de servicio, meses antes de la siembra del cultivo principal.

Algunas plantas de cobertura, además de su efecto de reducción del banco de semillas de malezas del suelo y aporte de biomasa y materia orgánica, actúan como supresores de nemátodos, evitando así el uso de peligrosos nematicidas químicos. Entre las opciones para el control de nematodos, la cobertura vegetal ha sido la más utilizada, no solamente por los efectos benéficos en las propiedades físicas y químicas de los suelos, la fertilidad y aumento del contenido de materia orgánica, sino también por su efecto nematicida (de Oliveira *et al.*, 2000). Ciertos cultivos de cobertura han exhibido características supresoras de nematodos equivalentes al aldicarb, un pesticida químico sintético (Grossman, 1990). La *Crotalaria*, el frijol terciopelo (*Mucuna*) y las hierbas como el centeno suelen ser resistentes a los nematodos del nudo de la raíz (Wang, McSorley y Gallaher, 2004; Peet, 1996).



Figura 6. Dos plantas de cobertura muy usadas como supresoras de nematodos: *Mucuna* sp (izq.) y *Crotalaria* sp (der.).

Los cultivos de cobertura aportan múltiples beneficios al agroecosistema, como lo es la disminución de poblaciones de nematodos fitoparásitos, debido a su imposibilidad de reproducirse en plantas no susceptibles. En un estudio en Costa Rica, Coto-Umaña et al. (2021), encontraron que todas las especies de leguminosas evaluadas (*Vigna radiata*, *Crotalaria spectabilis*, *C. juncea*, *Mucuna pruriens* y *M. deeringiana*) disminuyeron las poblaciones de nematodos inoculados, lo cual sugiere que el establecimiento de estas leguminosas de cobertura podría ser una estrategia viable para el manejo de poblaciones de *Meloidogyne* spp en campos agrícolas.

En fincas dedicadas al cultivo de melón en Costa Rica, se usaba sembrar coberturas como *Mucuna* sp durante los meses lluviosos para obtener ese efecto supresor de nematodos para el cultivo de melón en los meses posteriores.

3.1.3- Cercas vivas perimetrales

Las cercas vivas son consideradas como un componente valioso para disminuir la incidencia de plagas, contribuyendo a la reducción del ingreso de poblaciones inmigrantes (ácaros, insectos, esporas de fitopatógenos, semillas de arvenses, etc.) por efecto de barrera física, preservar enemigos naturales (fuente de alimento, refugio) y regular las corrientes de aire superficiales en los sistemas agrícolas (Van Driesche *et al.*, 2007).

Se pueden emplear árboles con otros propósitos productivos como: fuentes de forraje para animales, aporte nutricional al suelo, plantas para preparados botánicos con acción biocida ante insectos plaga, entre otras. Estas cercas crean nichos ecológicos que promueven la aparición de insectos, aves, arañas y otros organismos provechosos para el control natural de plagas (Morantes y Renjifo, 2018).

De forma resumida, una serie de beneficios anexos al empleo de cercas vivas son a) barreras físicas: obstáculo físico a poblaciones de insectos adultos que se desplazan por vuelo y hojas, frutos o semillas contaminadas; b) repelencia: emanar sustancias con

función repelente, generar confusión o desorientación; c) la contención del suelo: reducción del desplazamiento de plagas por el agua que arrastra el suelo; d) mejora del microclima: estimulando el desarrollo del cultivo y brindar condiciones de temperatura y humedad relativa adecuada para el establecimiento de organismos entomófagos y entomopatógenos; e) función de refugio y multiplicación de enemigos naturales: incentivando el desarrollo y multiplicación de enemigos naturales; f) actúa como alimentación y refugio de polinizadores; g) corredor ecológico; h) plantas trampa; entre otros (Vázquez, 2011).

Algunos ejemplos de plantas presentes en el país que se pueden emplear como cercas vivas en los sistemas productivos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.

Plantas presentes en Costa Rica con potencial para ser utilizadas como cercas vivas y función asociada sobre los insectos.

Nombre científico	Nombre común	Función asociada
<i>Plectranthus amboinicus</i>	Orégano	Repelencia a insectos
<i>Melia azedarach</i>	Paraíso	Preparados botánicos, repelencia a insectos
<i>Azadirachta indica</i>	Neem	Plaguicida botánico, repelencia a insectos.
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	Reservorio de entomófagos, barrera física a poblaciones inmigrantes
<i>Bursera graveolens</i>	Palo santo	Repelencia a insectos
<i>Euphorbia lactea</i>	Cardona	Barrera física a poblaciones inmigrantes, repelencia a insectos, plaguicida botánico. También, propicia que las avispa predatoras hagan sus nidos.
<i>Vetiveria zizanioides</i>	Vetiver	Barrera física poblaciones inmigrantes, repelencia a insectos. Muy efectiva como barrera física a roedores.
<i>Morinda citrifolia</i>	Noni	Reservorio de entomófagos, barrera física a poblaciones inmigrantes
<i>Nerium oleander</i>	Laurel rosa	Repelencia a insectos, barrera física a poblaciones inmigrantes, plaguicidas botánicos.
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Reservorio de entomófagos, barrera física a poblaciones inmigrantes
<i>Erythrina berteroana</i>	Árbol de pitos	Barrera física.
<i>Bursera simaruba</i>	Indio pelado	Barrera física, aporte nutricional al suelo
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	Barrera física.
<i>Pithecellobium dulce</i>	Inga dulce	Barrera física., aporte nutricional al suelo
<i>Citrus spp</i>	Cítricos	Reservorio de entomófagos, barrera física a poblaciones inmigrantes
<i>Annona spp.</i>	Anonas	Barrera física poblaciones inmigrantes, repelencia a insectos, plaguicida botánico, reservorio de entomófagos.

Fuente: Vázquez, 2011; Flora de Costa Rica, 2023; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2023; Naturalista Costa Rica, 2023.

3.1.4 Plantas nectaríferas: atrayentes de parasitoides y depredadores

Existe gran cantidad de insectos benéficos asociados a plantas arvenses comunes en cultivos agrícolas. Estas son importantes por su contribución en el mantenimiento de poblaciones de insectos benéficos, los cuales cumplen un papel importante en el control de plagas por su función como depredadores o parasitoides dentro de los sistemas productivos. Asimismo, muchas especies de arvenses son una herramienta importante para la restauración de la biodiversidad ecosistémica (Castro et al., 2017). Por esto es la importancia, dentro de programas de control biológico, el evitar el uso de herbicidas para así estimular la presencia de plantas arvenses que sirvan de refugio para insectos benéficos.

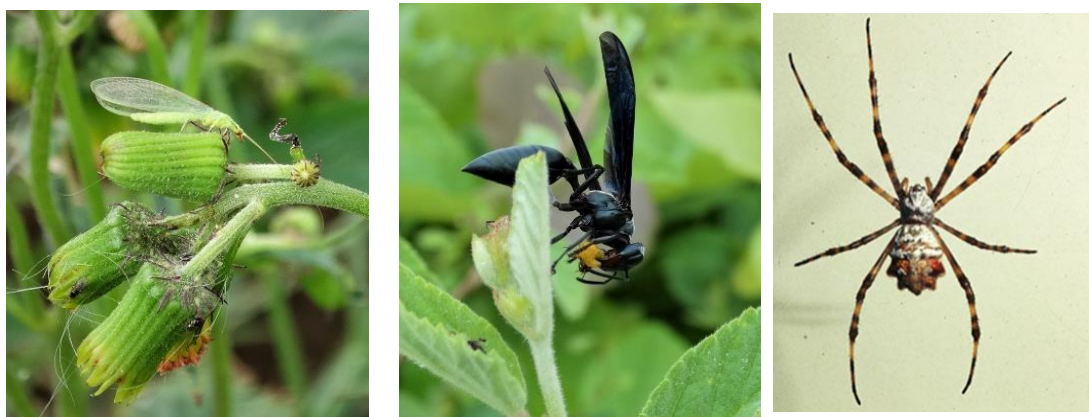


Figura 7. Insectos depredadores: Crhysopa (izq.) en una planta comúnmente considerada maleza (*Crassocephalum crepidioides*, Asteracea); avispa depredando larvas de defoliadores (cent.) y araña (der.).

En Costa Rica existe gran diversidad de plantas arvenses que cumplen una función importante como refugio y fuentes de alimento suplementarios para insectos benéficos, algunos ejemplos que se pueden citar son *Hyptis capitata*, *Melampodium divaricatum*, *Crotalaria pallida*, *Stachytarpheta cayennensis*, *Indigofera hirsuta* y *Urena trilobata* (Flora de Costa Rica, 2023; Naturalista Costa Rica, 2023). Estas últimas han demostrado ser atrayentes de insectos depredadores, parasitoides y polinizadores del orden hemiptera, hymenoptera, mantodea, coleoptera, diptera y neuroptera (Burgos et al., 2019).



Figura 8. Plantas nectaríferas cultivadas en bordes de cultivo de papaya para atraer insectos benéficos. Guácimo, Limón, Costa Rica.

Mezxón y Chinchilla (2003), citan que las islas de arvenses dentro de plantaciones de palma aceitera benefician enormemente la presencia de entomofauna benéfica, práctica que elimina la necesidad del uso de insecticidas para el control de defoliadores y otras plagas; en la práctica, posiblemente baste con conservar áreas de 50 a 100 m² para tener una alta tasa de inmigración de los insectos, una baja tasa de emigración y un aumento de las posibilidades de sobrevivencia y reproducción.



Figura 9. Cercas vivas con plantas que dan alimento y albergan insectos benéficos. *Hamelia patens* o Coralillo (izq.) en plantación de palma aceitera y *Tithonia diversifolia* o Botón de Oro (der.).

Estos mismos autores determinaron que muchas especies de arvenses, que normalmente se controlan indiscriminadamente, son hospederas y fuentes de alimento de entomofauna benéfica, que enriquece el sistema de monocultivo de la palma, permitiendo equilibrar mejor el control natural de plagas. En la siguiente tabla se muestran una serie de géneros de insectos benéficos atraídos por arvenses.

Tabla 2.

Insectos benéficos presentes en Costa Rica que son atraídos por las plantas arvenses H. capitata, M. divaricatum, C. pallida, S. cayennensis e I. hirsuta y su gremio trófico.

Orden	Género/especie	Gremio trófico
Hemíptera	<i>Zelus</i> spp.	Depredador
	<i>Ricolla</i> spp.	Depredador
	<i>Sinea</i> spp.	Depredador
Himenóptera	<i>Polybia</i> spp.	Depredador
	<i>Polistes</i> spp.	Depredador
	<i>Cyphomenes</i> spp.	Depredador
	<i>Omicron</i> spp.	Depredador
	<i>Eiphosoma</i> spp.	Parasitoide
	<i>Podogaster</i> spp.	Parasitoide
	<i>Alabagrus</i> spp.	Parasitoide
	<i>Conura</i> spp.	Parasitoide
	<i>Sceliphron fistularium</i>	Depredador
	<i>Cerceris</i> spp.	Depredador
	<i>Coelioxys</i> spp.	Parasitoide/polinizador
	<i>Myzinum</i> spp.	Parasitoide/polinizador
Coleóptera	<i>Cycloneda sanguinea</i>	Depredador
Díptera	<i>Oxysarcodexia</i> spp.	Parasitoide/polinizador
	<i>Toxomerus</i> spp.	Depredador/polinizador
	<i>Salpingogaster nigra</i>	Depredador/polinizador
	<i>Archytas apicifer</i>	Parasitoide/polinizador
	<i>Trichopoda</i> spp.	Parasitoide/polinizador
	<i>Holcocephala</i> spp.	Depredador
	<i>Ommatius</i> spp.	Depredador
	<i>Diogmites</i> spp.	Depredador
<i>Exoprosopa</i> spp.	Parasitoide/polinizador	
Neuróptera	<i>Chrysoperla</i> spp.	Depredador

Fuente: modificado de Burgos et al., 2019; Naturalista Costa Rica, 2023.



Figura 10. Siembra y mantenimiento de la planta nectarífera *Urena lobata* en bordes y cercas vivas en cultivo de papaya. Guácimo, Limón, Costa Rica.

Además del impacto que tienen las arvenses sobre la composición de la entomofauna dentro de un sistema productivo, también juegan un papel importante en la disminución de erosión del suelo, reciclado de nutrientes y reservorio de muchos organismos benéficos (Blanco y Leyva, 2007).

3.1.5- Barreras tipo tela o malla

Otra forma de prevenir la llegada de insectos plaga a los cultivos, es protegerlos con una malla que impida su ingreso. Algunos cultivos permiten en ciertas etapas fenológicas el uso de telas, mallas o cedazos que evitan el ingreso de insectos, especialmente aquellos transmisores de virus y en etapas iniciales del cultivo, donde plantaciones, como el tomate, cucurbitáceas y otros, son más susceptibles a las plagas.

En Costa Rica se han usado este tipo de telas en cultivos como melón y sandía, que además de conformar una barrera física contra los insectos, protege del exceso de radiación en ciertas épocas. Esta malla disminuye la presión inicial de plagas y es efectiva en la disminución de la frecuencia en las aplicaciones de insecticidas, entre estos el clorpirifos.

La malla se utiliza contra insectos como áfidos, mosca blanca, trips y otros; se pueden usar tanto en cultivos a campo abierto como en invernaderos. También es común en la protección física de semilleros y almácigos, permitiendo llevar al campo plantas más sanas.



Figura 11. Ejemplos de mallas protectoras contra insectos. Foto tomada de: <https://geomicolperu.com/malla-antiafida/>



Figura 12. Malla antiáfidos usada en semilleros y en campo, como microtúneles. Foto tomada de: Portalfruticola.com

De igual forma, una práctica efectiva en los hogares para evitar insectos transmisores de enfermedades como Dengue, Chikungunya y Fiebre amarilla, es el uso de toldos o mosquiteros, que tienen el mismo efecto de barrera contra insectos.

3.1.6- Cubiertas plásticas fotoselectivas

Existen diversas coberturas plásticas con variedad de colores reflectivos y grosor con efecto repelente sobre insectos, demostrando ser una herramienta adecuada para combatir diferentes tipos de plagas reduciendo el consumo y aplicación de plaguicidas. Este tipo de coberturas plásticas fotoselectivas bloquean determinadas longitudes de onda dentro del espectro ultravioleta (280- 390 nm) modificando el espectro de luz recibido, llegando a confundir a los insectos (Orozco, Farias y López, 2002; López, 2012).



Figura 13. Invernadero con cobertura plástica no transparente. Foto tomada de: <https://d100mj7v0l85u5.cloudfront.net/s3fs-public/aplicaciones-de-plasticos-en-la-agricultura-g1.jpg>

Algunos insectos requieren de luz ultravioleta (UV) para orientarse y ejercer sus funciones normales al ser muy sensibles a la disminución o ausencia de radiación UV. Por ejemplo, en el cultivo de tomate disminuye la incidencia de *F. occidentalis* y *B.*

tabaci, los cuales actúan como vectores de virus. Asimismo, plagas como *Aphis gossypii* y *Myzus persicae* se ven afectadas por alteraciones en el espectro de luz (Fontecha *et al.*, 2004; Tello, 2010).

Por otro lado, otro efecto asociado al empleo de este tipo de plásticos son la estimulación del crecimiento de raíces, absorción de nutrientes, reducción de la evaporación del agua del suelo e incremento en los rendimientos de los cultivos (Orozco, Farias y López, 2002).

3.1.7- Fundas plásticas para frutas

En algunas producciones de frutas se utilizan fundas, principalmente plásticas, para proteger las cosechas del ataque de ciertas plagas de insectos. Uno de los cultivos en que más se hace uso de estas fundas es en el banano y plátano, y tradicionalmente consistían en una funda de polietileno impregnada con el insecticida clorpirifos. El uso de clorpirifos en fundas para racimos de banano y plátano, hace que este insecticida se considere persistente en el campo, en el sentido de que siempre a lo largo del año hay presencia de fundas impregnadas en las plantaciones.

Como alternativas al clorpirifos, se tienen insecticidas de menor toxicidad aguda para el aplicador, que en este caso, tiene un contacto muy directo, al extender la funda para colocarla. Como alternativas químicas que actualmente se usan, se tienen fundas y cintas impregnadas con bifentrina al 1% y buprofesina al 2% (con algunas combinaciones). Las fundas impregnadas con bifentrina al 1 y 1,7%, han demostrado eficiencia del 100% de racimos sin daño por insectos (León, 2018).



Figura 14. Uso de fundas para proteger frutas como banano (der.) y guanábana (izq.).

También se han utilizado fundas impregnadas con extractos vegetales, y en general, al usar fundas para banano tratadas con un paquete de ingredientes botánicos, la toxicidad disminuye en promedio más de un 90 %. Los componentes botánicos no son fitotóxicos y son biodegradables con lo cual se protege el ambiente y la salud humana, además, que para los agricultores bananeros la funda con ingredientes botánicos significa un ahorro

considerable al no tener que usar equipo de protección personal para no afectar la salud de los trabajadores en las fincas (OMPI, 2018).

Estas fundas botánicas plásticas logran repeler plagas que dañan la fruta, tales como Cochinilla harinosa (*Pseudococcus elisae*), Escamas (*Diaspis boisduvalli*), Trips (*Thrips signipennis*), Colaspis (*Colaspis* spp), Afidos (*Pentalonia nigronervosa*), Abeja Conga (*Trigona* sp), Mosca Chichera (*Hermetia illucens*) y Gusano Basurero (*Pyroderces rileyi*) (OMPI, 2018).

En otros cultivos de frutas, como guayaba, melón, mango, entre otros, se utilizan bolsas de diversos materiales tipo papel como barrera física para evitar el daño por insectos, especialmente de mosca de la fruta) y el uso de insecticidas.



Figura 15. Frutas de guayaba, mango y naranja protegidas con bolsas de papel. Foto tomada de: <https://estudiandoagriculturaentaiwan.blogspot.com/2012/04/embolsando-frutos.html>

En Costa Rica, en guayaba taiwanesa, se probaron cuatro materiales (papel encerado, tela nylon, bolsa Taiwán y bolsa de papel) para la elaboración de la funda que protege los frutos de guayaba de insectos como *Anastrepha* sp (mosca de la fruta); la calidad poscosecha fue mejor en frutos embolsados que en el testigo químico, con la bolsa de nylon como la de mejor protección (aunque de mayor costo), y la mayor cantidad de frutos caídos se presentó en el testigo (Blanco, Morera y Loría, 2013). Estos resultados nos indican la importancia que tiene una barrera física en la protección de cosecha contra el ataque de diversos insectos, entre otros beneficios como protección contra daño por aves, quemaduras solares, entre otros.

Actualmente en el mercado hay muchas empresas que ofrecen este tipo de bolsa para proteger frutas de muchos cultivos como manzanas, melocotones, peras, pitahaya, guayaba, tomates, naranjas, nectarinas, ciruelas, mangos y otros vegetales.

3.2- MANEJO CULTURAL

El manejo cultural hace referencia a aquellas prácticas empleadas para generar condiciones desfavorables al desarrollo de las plagas y adecuadas para el crecimiento idóneo del cultivo. Los niveles de control de plagas obtenidos con el control cultural no son tan espectaculares ni veloces como los que se alcanzan con otras técnicas (control

químico), pero es una forma más sostenible y sana de manejar plagas. La filosofía del control cultural está basada en la idea de que la solución al problema de las plagas hay que buscarla en las causas que lo provocan y no tratar solo de combatir el efecto, que es lo que se hace en la mayoría de los programas de manejo convencional de plagas. Algunos ejemplos son: preparación del suelo, rotación de cultivos, cultivos mixtos, entre otras (Jiménez, 2009).

3.2.1- Preparación del suelo

La preparación adecuada del suelo es una medida de control de aquellas plagas que desarrollan sus diversos estados larvales o de pupa en el suelo o en residuos orgánicos restantes que quedaron posterior a la cosecha. Por ejemplo: el arado contribuye en el transporte de huevos, larvas y pupas a niveles lo suficientemente profundos como para impedirles llegar a la superficie o bien, pueden ser transportados a la superficie de forma que se secan a través del sol o son consumidos por aves u otros organismos. También para algunas plagas como las babosas, el laboreo de suelos es una práctica efectiva para su reducción (Hammond et al., 1999). Sin embargo, la decisión de ejercer esta práctica debe considerarse según el nivel de infestación del suelo, debido a que en regiones muy calientes el arado puede producir la destrucción del humus y acelerar la erosión del suelo (Brechtel, 2004).

Por otro lado, emplear la aradura mínima permite conservar organismos benéficos, los cuales pueden ser más abundantes debido a los refugios físicos que se generan y las fuentes alternativas de alimento en forma de invertebrados saprófitos. Además, las coberturas de los restos de cultivos o de las arvenses presentes en forma de rastrojos, pueden minimizar la oviposición de adultos plaga que sobrevuelan, actuando de camuflaje para las plántulas del cultivo que se desarrollan (Badii, Landeros y Cerda, 2015).

Lo más recomendable es combinar las diferentes prácticas de preparación de suelo con otras medidas de control cultural, como la rotación de cultivos, que debería de ser imprescindible en los sistemas de laboreo conservacionista.

3.2.2- Rotación de cultivos

Es una práctica que consiste en la plantación sucesiva de diversos cultivos en el mismo terreno. Permite el cambio de prácticas de manejo al cambiar el tipo de planta, lo que obliga a las plagas y enfermedades específicas a un cultivo a sufrir alteraciones e interrupciones en su ciclo de vida. Los organismos nocivos son capaces de sobrevivir en el suelo, los rastrojos o plantas hospedadoras, invadiendo el próximo ciclo del cultivo una vez establecido, pero con la adecuada rotación este proceso puede perturbarse (Silva, 2015).

La rotación de cultivos es posiblemente el método de control de plagas y enfermedades más antiguo que se conoce y que necesita ser redescubierto en la era del monocultivo y de la agricultura especializada e intensiva (Cook y Veset, 1991). Con la aparición de los fertilizantes y plaguicidas sintéticos disminuyó el interés en la rotación de cultivos a medida que aumentó la práctica del monocultivo continuo, pero si se requiere de una producción sostenible, este método es totalmente imprescindible en una agricultura menos dependiente de insumos externos.

La base de esta estrategia es retardar suficientemente la siembra siguiente del cultivo huésped hasta que las condiciones de vida brindadas a los organismos plaga no les permitan sobrevivir. Esta práctica es muy eficiente en la privación de nutrientes a organismos con escasa movilidad, los cuales dependen esencialmente de una única planta hospedera. En el sistema productivo pueden incluirse diversos tipos de plantas según la parte aprovechable: raíz (zanahoria, yuca, rábano, remolacha, cebolla), hortalizas de hoja (lechuga, repollo, culantro, espinaca), granos (maíz, frijol, arroz, sorgo), frutas (tomate, pepino, melón), pastos y hierbas, entre otras (Brechelt, 2004).

3.2.3- Cultivos mixtos

Gran diversidad de organismos plaga importantes se han especializado en una especie vegetal o en un conjunto de especies de un mismo género como fuente de alimentación (plagas monófagas), generándose las condiciones adecuadas para la reproducción y multiplicación acelerada de diversas plagas cuando se emplea el cultivo continuo de una misma planta (Murgas, 2008).

Asimismo, los cultivos asociados promueven el incremento de poblaciones de organismos benéficos, actúan como barrera para limitar el traslado de la plaga hacia su hospedero e incrementa la diversidad del sistema productivo. Algunos ejemplos empleados en el país son: café y banano, maíz y yuca, tomate y repollo, maíz y frijol, entre otros. A continuación, se ilustran algunos:



Figura 16. Ayote y maíz; diversas hortalizas sembradas de forma mixta.



Figura 17. Cultivos de ciclo largo como la piña en mezcla con frijol (izq.). Cebollín en cultivo temprano de café (der.).

El propósito de mantener cultivos mixtos es utilizar plantas de familias botánicas que tengan diferencias anatómicas y fisiológicas, de requerimientos nutricionales, de exploración radical, de producción de exudados y de tipo de plagas o enfermedades que les afectan, realizando una rotación de cultivos al mismo tiempo y en el mismo lugar. Además, con los cultivos mixtos las plantas hospederas de una plaga se localizan a una mayor distancia, reduciendo la incidencia y afectación en estos desde un 30 hasta un 60% (Brechelt, 2004).



Figura 18. El cultivo de café se adapta muy fácilmente a otros cultivos que le proporcionen sombra. En este caso, árboles de naranja (izq.) y maderables (der.) en cultivo mixto con café.

Además, algunos cultivos asociados pueden actuar como repelentes ante plagas específicas, alejando por su fuerte olor a insectos y otros animales, algunas de ellas son la menta, culantro, apio, perejil, etc., las cuales generalmente son efectivas ante larvas de lepidópteros (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional [JICA], 2007).



Figura 19. Cultivos mixtos dentro de invernadero. Hileras combinadas de apio y chile dulce; además, con el uso de trampas pegajosas para monitoreo y control de insectos.

La tabla 3 representa un ejemplo de plantas que se pueden asociar o utilizar como acompañantes al cultivo de interés y su efecto asociado.

Tabla 3.

Plantas acompañantes según cultivos y su efecto asociado

Planta acompañante	Cultivo	Efecto
Culantro	Repollo, tomate, lechuga	Repele el pulgón y la polilla (<i>Plutella xylostella</i>).
Nasturtium	Tomate, legumbres, repollo	Reduce la densidad poblacional de <i>Bemisia tabaci</i> en crucíferas, aleja himenópteros y hemípteros.
Cebolla	Tomate, lechuga	Aleja hemípteros, maneja fitopatógenos a través de la simbiosis con organismos.
Ajo	Tomate, frutales	Repele insectos con su olor.
Manzanilla	Cebolla, repollo, brócoli	Promueve el crecimiento de crucíferas y cebolla, hospedero de insectos enemigos naturales

Fuente: modificado de JICA, 2007.



Figura 20. Uso de plantas distractoras de plagas (culantro, cebolla, manzanilla) en un invernadero de la zona de Zarcero, Costa Rica.



Figura 21. Cultivos perennes mixtos: aguacate, plátano y rambután en asocio.

3.2.4- Densidad y profundidad de siembra

Dependiendo del cultivo, la densidad de siembra puede favorecer o perjudicar la presencia de plagas. Una gran densidad de cultivo puede generar alta humedad que no es preferida por algunos áfidos, por ejemplo. Pero Kagungi *et al.* (2000), encontraron en frijol Caupí, que poblaciones del Trips de las flores (*M. sjostedti*), del perforador de la vaina (*M.*

vitrata), y del complejo de chinches que se alimentan de vainas, eran más abundantes a densidades de siembra mayores, debido probablemente a que densidades mayores facilitan la colonización y el encuentro con el hospedante más próximo.

Al igual que la densidad, la profundidad de siembra tiene un efecto variable sobre el desarrollo de organismos plaga dependiendo del cultivo. En camote y papa, por ejemplo, el aporque continuo es recomendable para que el tubérculo profundice en el suelo y así disminuir el ataque de plagas como el perforador del camote o la polilla de la papa. De esta forma, se construye una barrera que dificulta el desplazamiento de las larvas recién eclosionadas en la base del tallo hacia los tubérculos o raíces en formación.

3.3- MANEJO FÍSICO

Este tipo de manejo incluye diferentes procedimientos para eliminar directamente a las plagas o moldear las condiciones a estados no aceptables para su sobrevivencia o desarrollo. Asimismo, hace referencia al uso de diversos factores como el calor, frío, humedad, energía, entre otros para combatir las plagas. Generalmente son compatibles con otras tácticas de manejo y aplicables tanto para grandes como pequeños productores. La construcción de barreras es un ejemplo de prácticas que proveen control por periodos prolongados de tiempo (Jiménez, 2009).

3.3.1- Trampas

El control etológico emplea algunas características del comportamiento de las plagas para generar estrategias de control. Diversas especies de insectos son altamente atraídos por fuentes de luz y variedad de colores, lo cual ha permitido la elaboración de técnicas de trampeo para algunos lepidópteros, coleópteros (trampas lumínicas) y dípteros (trampas amarillas). Sin embargo, se debe tener en cuenta que cada plaga posee un ciclo biológico y número de generaciones variables por año, por lo que se debe conocer con exactitud los momentos de mayor actividad e influencia de estas en el cultivo, así como las ocasiones en las que está más activa en estado adulto (Aragón, 2008).



Figura 22. Daño de *Phyllophaga* sp en papa y zanahoria(izq.); trampa de luz para adultos de *Phyllophaga* sp. Zarcero, Costa Rica.

3.3.1.1- Trampas pegajosas y jabonosas

Los insectos se ven atraídos por diferentes colores que les resultan llamativos, por lo que las trampas cromáticas son una adecuada opción para manejar las densidades poblacionales de estos. El color azul atrae insectos como los tisanópteros y dípteros; el amarillo a diversos dípteros (*Bemisia* spp.), tisanópteros (*Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci*, etc.), hemipteros y lepidópteros minadores; el rojo a algunos lepidópteros (como *Strymon megarus* en piña (figura 23)) y hemípteros (como *Empoasca* spp.); el negro a lepidópteros (como *Tuta absoluta* en tomate); el celeste a tisanópteros y dípteros; el color blanco o transparente son utilizados esencialmente para el control de insectos con feromonas (Bravo et al., 2020).

Dichas trampas se colocan a determinadas distancias y cantidades según la densidad poblacional de la plaga a manejar y al propósito de empleo (monitoreo de insectos o manejo poblacional), generalmente a una altura de 1,5 m con un promedio de 50 cm² de plástico de color por trampa, al cual se le adhiere con brocha u otro instrumento, un producto viscoso que cumpla la función de “pega” (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2016).

Por ejemplo, en el cultivo piña para el manejo de *S. megarus* se colocan trampas etiológicas con Zapicol, generalmente diluido 1:1 con diésel, gasolina, canfín u otro solvente, en los alrededores de la plantación antes de la apertura floral del cultivo, siendo renovadas cada 7 o 14 días, dependiendo de la presión de la plaga. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de este tipo de trampas.



Figura 23. Trampas pegajosas rojas para el manejo de *S. megarus* en el cultivo de piña.

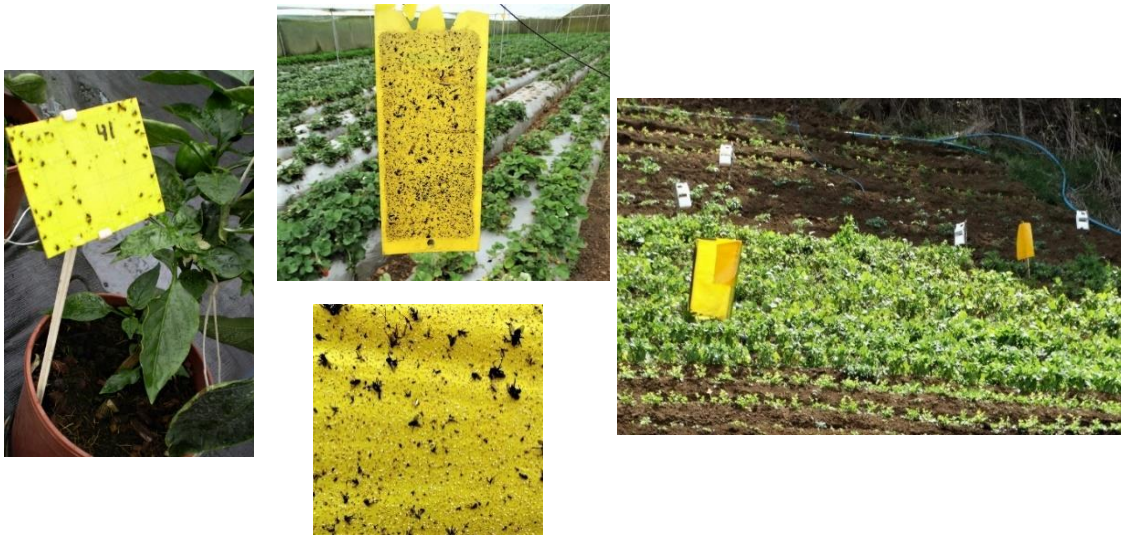


Figura 24. Trampas pegajosas amarillas en varios cultivos de hortalizas y combinación con trampas atrayentes (der.).



Figura 25: Diversos tipos de trampas: para broca del café (izq.), para picudo de la palma (cent.) y para gorgojos en granos almacenados (der.).



Figura 26. Plantas pegajosas dentro de invernaderos de hortalizas.



Figura 27. Trampas pegajosas: en cultivo de papaya (izq.), en bordes (arriba der.) y de color azul en cultivo de fresas (abajo der.)



Figura 28. Trampa de luz solar para adultos de *Phyllophaga* (izq.) y trampa de luz + atrayente y jabonosa (der.).

Para el control de hormigas cortadoras, se puede utilizar una lámina plástica que se enrolla alrededor del árbol y se impregna de una sustancia pegajosa. PEGAFIT es una goma en pasta comercial que crea una barrera física, evitando la subida de insectos no deseados, como hormigas, cochinillas, tijeretas, orugas u otros insectos trepadores, a las partes superiores del árbol. Se emplea a una dosis de 10 a 15 gramos por árbol y se aplica directamente sobre el tronco, a una altura mínima de 30 a 40 cm del suelo, o en los árboles de formación baja justo donde empiezan las ramas principales sobre el tronco. En el caso de árboles viejos, verificar que no hay paso posible en las rugosidades de la corteza.



Figura 29. Barrera pegajosa en árboles para evitar daño por hormiga cortadora de hojas. Foto tomada de: <https://kulttiva.com/products/pegafit-pegamento-arboricola-para-aplicar-en-arboles-anti-hormigas-e-insectos-45-gramos>

3.3.1.2- Trampas atrayentes

Las trampas atrayentes están constituidas por 3 elementos importantes: un dispositivo en el cual colocar al atrayente y protegerlo de las condiciones ambientales, un dispositivo donde colocar el agente de retención, y la estructura propia (cuerpo) de la trampa que brinde soporte a cada componente. Asimismo, el diseño debe atraer a los insectos (Barrera *et al.*, 2006). En la tabla 4 se muestran algunos ejemplos de los constituyentes de las trampas para el manejo de plagas.

Tabla 4. *Atrayentes y dispositivos utilizados en trampas para el manejo de plagas*

Atrayentes	
Semioquímico	Feromonas (atrayente intraespecífico). Kairomonas (olores del huésped o presa). Alomonas (olores de sustancias no vivas).
Fuentes de luz	Ultravioleta.
Colores	Amarillo, verde, azul, rojo, negro, etc.
Dispositivos	
Mecanismos directos (aniquilación)	Superficies pegajosas. Recipientes con salida restringida. Recipientes con agua jabonosa. Recipientes con vapores insecticidas. Barreras de vuelo sobre bandejas con agua o aceite.
Mecanismos indirectos	Esterilización de insectos. Contaminación con entomopatógenos Saneamiento de cultivos trampa

Fuente: Barrera *et al.*, 2006

Trampas de melaza para el control del cogollero del maíz: esta técnica contribuye significativamente a disminuir las poblaciones de adultos de la plaga (polilla), así se reducen las posturas y por lo tanto la cantidad de larvas defoliadoras. Se debe de mezclar 1 kilo de melaza con 2 litros de agua, se diluye y se coloca de 100 a 200 ml en las trampas.



Figura 30. Trampas artesanales: con atrayente para polilla de papa (izq.) y con melaza para adulto del cogollero en maíz. Foto der.: Luis Gomero Osorio (RAAA, Perú).

Trampas para picudo del plátano: la colocación sistemática de trampas con pedazos de pseudotallo o de corno puede ser eficaz para reducir poblaciones de picudos negros adultos. Esta técnica se puede usar para monitorear poblaciones y decidir mejores momentos de control; o para reducir poblaciones al capturar adultos. También se cree que el saneamiento de los cultivos, o destrucción de los residuos, elimina los refugios y sitios de desarrollo y así se reducen las poblaciones de picudos negros.



Figura 31. Trampas de pseudotallo para captura de picudos del plátano (*Cosmopolitus sordidus*). Foto tomada de: <http://entomologyagric.blogspot.com/2015/09/normal-0-21-false-false-false-es-x-none.html>

Trampas para babosas y caracoles: se puede utilizar una trampa casera de fácil construcción y muy efectiva, la trampa de cerveza. Únicamente requiere de un recipiente tipo vaso, casi enterrado a ras del suelo con un poco de cerveza, la cual fungirá como atrayente. Los moluscos entran en la trampa y no logran luego salir.



Figura 32. Trampas de cerveza para babosas y caracoles. Foto tomada de: <https://jardineriaplantasyflores.com/trampas-con-cerveza-para-caracoles/>

Por otra parte, en la actualidad se sintetizan compuestos naturales que actúan como mensajes químicos afectando diversos comportamientos de los insectos, los cuales son conocidos como semioquímicos y dentro de ellos se contemplan las feromonas sexuales. Estas permiten tener una estimación del nivel de infestación por determinadas plagas y con ello determinar la fecha de inicio de aplicaciones biológicas precisas para mejorar su eficacia en aquellos casos donde las densidades poblacionales suponen riesgos económicos. Asimismo, dicha tecnología permite la supresión de la población plaga e interrumpe el apareamiento de los machos (Blanco, 2004).

Por ejemplo, en el cultivo de fresa se emplean atrayentes como feromonas para el monitoreo de plagas como *Duponchelia fovealis* (González et al., 2023). En la figura 33 se muestra un ejemplo de trapeo con feromonas utilizando como dispositivos un mecanismo directo de aniquilación (recipiente con agua jabonosa).



Figura 33. Trampas con feromonas como atrayente para *D. fovealis* en el cultivo de fresa (Fotos: A. Arroyo, 2021).

3.3.2- Solarización

La solarización consiste en el incremento de las temperaturas del suelo de forma que produzcan un control físico de plagas y enfermedades presentes en el mismo. Consiste en cubrir el suelo húmedo con plástico transparente de baja densidad (40 y 100 micrones) para aumentar la temperatura y mantener el efecto de la radiación solar a niveles no tolerables por los organismos nocivos a los cultivos. Su efectividad se encuentra ligada a factores como luminosidad, humedad, temperatura, tiempo de exposición, entre otros. Asimismo, la incorporación de materia orgánica promueve el desarrollo de microorganismos benéficos que disminuyan las poblaciones de plagas al actuar como antagonistas competitivos (Lorenzo, 2014).



Figura 34. Solarización de suelos para cultivo de hortalizas. Pacayas, Cartago, CR.

Además de la reducción en la presión de plagas, malezas y enfermedades, también se mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo y en consecuencia, incrementan los rendimientos de los cultivos (Arbolea, 2019). El suelo humedecido se cubre con el plástico, se sellan los extremos para evitar la fuga del agua en forma de vapor y en cuestión de 3 a 6 semanas (de acuerdo con los factores ambientales) se retiran los plásticos para posteriormente sembrar, contando con una mayor disponibilidad de nutrientes y eliminación de insectos, nemátodos, fitopatógenos, etc. (Jiménez, 2009). Los buenos resultados aumentan si después de la solarización, se enriquece el suelo con microorganismos benéficos.

3.3.3- Biofumigación

La biofumigación permite el manejo de plagas y enfermedades por medio de los gases producidos y liberados en el suelo a través del proceso de descomposición de la materia orgánica, al incorporar residuos orgánicos al suelo húmedo, el cual es cubierto con una película plástica. Una amplia gama de residuos orgánicos se puede utilizar para la biofumigación, desde estiércoles hasta residuos de cultivos como papa, sorgo, maíz o

brasicáceas, las cuales emiten isotiocianato durante su descomposición, que posee efectos insecticidas y fungicidas (Lorenzo, 2014).

La biofumigación utiliza los gases y otros productos resultantes de la biodegradación de las enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales como fumigantes para el control de los organismos patógenos de vegetales; además, contribuye a resolver los graves problemas ambientales que estos productos pueden producir. Asimismo, incrementa su efectividad cuando es incorporado en un sistema de manejo integrado de cultivos (Bello et al., 2000). La biofumigación funciona a través de un proceso de fermentación y compostaje en donde se generan gases y una gran cantidad de sustancias dañinas para los patógenos. Del mismo modo, se promueve la reproducción de bacterias y actinomicetos en la fase termofílica, reduciendo significativamente la viabilidad de entes fitopatógenos en el suelo. Se recomienda bajo invernadero la incorporación de 5 kg de residuos de crucíferas/m² + 7/m² de estiércol vacuno, cubierto con un plástico transparente de 30-35 micras por 6 semanas (Intagri, 2016).

3.3.4- Uso de fuentes de quitina como nematicida

La mayoría de las especies de nematodos pueden reducirse significativamente cultivando materiales quitinosos como conchas trituradas de crustáceos (camarones, cangrejos, etc.). Esto es efectivo porque varias especies de hongos que se “alimentan” de quitina también atacan los huevos y nematodos que contienen quitina. Este compuesto es el principal componente del exoesqueleto de insectos y crustáceos, de las paredes celulares de los hongos, algas, y de la estructura básica de los huevos de los nematodos (Cohen, 2001; Gortari y Hours, 2008). El aumento de la cantidad de quitina en el suelo también aumentará la población de estos hongos. Así mismo, el quitosano evita el daño por bacterias y hongos en raíces que han sido heridas por el estilete de los nematodos y, estimula la emisión de raíces y promueve la resistencia a enfermedades.

De esta forma, la quitina, debido a sus propiedades físicoquímicas y biológicas, genera gran interés en el área agrícola. Debido a que no se encuentra presente en plantas y vertebrados, se puede utilizar de manera segura en el control de plagas y enfermedades (Cohen 2001). La adición de quitina al suelo provoca un resultado adverso sobre las poblaciones de nematodos, posiblemente como consecuencia de su capacidad para incrementar la actividad de microorganismos quitinolíticos capaces de degradar la quitina presente en los huevos (Gortari y Hours, 2008).

También, los hongos de los géneros *Humicola*, *Gliocladium*, *Phoma*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Cylindrocladium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Sporotrichum*, *Beauveria*, y *Mucor*, y bacterias como *Serratia*, *Pseudomonas* y *Burkholderia*, se citan como microorganismos quitinolíticos (Gortari y Hours, 2008, Rodríguez-Kabana, 1991).

Las enmiendas orgánicas pueden introducir microorganismos al suelo o bien aumentar la microflora existente, lo que puede afectar negativamente las poblaciones de nematodos

ya sea por depredación, parasitismo y competencia por sitios de infección o alimentación sobre la raíz de la planta. Arancon et al. (2004), encontraron que suelos de parcelas tratadas con vermicompost presentaron menos poblaciones de fitonematodos que los tratados con fertilizantes inorgánicos; además las poblaciones de nematodos fungívoros y bacteriófagos fueron mayores en las parcelas tratadas con vermicompost. Los productos a base de quitosano extraído de langostino de agua dulce (5 g.i.a. /l agua), esto comparado con quitosano comercial (7.5 g.i.a. /l agua) logran la mortalidad al 100 % de nematodos *Meloidogyne* spp. del cultivo de jitomate posterior a las 24 hdda. Esto hace que el producto sea eficaz con respecto a otros productos biológicos comerciales (García et al., 2016).

3.3.5- Uso de Ozono

El ozono (O₃) es una molécula compuesta por tres átomos de oxígeno, se caracteriza por ser un oxidante fuerte, pero a la vez muy frágil y fácil de destruir. Se ha descubierto que el ozono tiene múltiples aplicaciones en la agricultura, principalmente por su efecto bactericida y fungicida, pero también es capaz de controlar estados inmaduros de insectos y ácaros, tanto en condiciones de campo como en poscosecha, ya que destruye la membrana celular, proteínas y enzimas presentes en huevos o estados inmaduros de pequeños artrópodos, además genera repelencia en la actividad de insectos visibles (<https://www.ozonotecnia.cl/ozono-agricola/>). El ozono puede eliminar los ácaros domésticos alojados en colchones y almohadas, sin necesidad de recurrir a fumigaciones con plaguicidas.

Bucio et al., (2016), demostraron en el cultivo de fresa, una disminución significativa de poblaciones iniciales de los microorganismos, entre estos los nematodos, con la aplicación única de ozono en el agua de riego al inicio del cultivo; el autor recomienda aplicarlo de manera constante para conocer su efecto en la morfología de la planta. Una ventaja adicional de la utilización del agua ozonizada es que funciona como un bioestimulante; al reaccionar con material orgánico, el ozono desprende oxígeno (O₂), el cual es aprovechado por las raíces de las plantas. Para el control de varias especies de insectos que atacan granos almacenados, el tratamiento de 20 minutos con O₃ fue tan efectivo como la fosfina (fosfuro de aluminio), especialmente para adultos y en menor medida huevos y pupas (Dong et al., 2022).

Para plagas en apiarios de abejas melíferas, el ozono fue eficaz contra la polilla de la cera mayor, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae), incluso en panales infestados naturalmente. Los neonatos y los adultos fueron las etapas de vida más fáciles de matar y requirieron solo unas pocas horas de exposición, mientras que los huevos requirieron una exposición de 48 horas (a 460-920 mg O₃/m³) (James, R. 2011).

En Costa Rica hay productores que ya están utilizando máquinas productoras de ozono para ozonificar agua y usarla como riego o para aplicaciones en campo al follaje, en cultivos como papaya, fresa, aguacate, ayote, hortalizas, entre otros. En otros países como

Panamá y Ecuador, hay formulaciones comerciales de aceites de ricino ozonificados, los cuales pueden mantener por mayor tiempo la molécula del O₃ encapsulada, dándole un mayor tiempo de anaquel al producto.

3.4- MANEJO MECÁNICO

Este tipo de manejo consiste en la colecta manual o destrucción de plagas a través de diversas herramientas o mecanismos. Se basa en el uso de fuego o herramientas mecánicas manuales, de tracción animal y maquinaria. También contempla el uso de coberturas plásticas (Jiménez, 2009).

3.4.1- Eliminación o remoción manual de insectos

La eliminación o remoción manual de los insectos es una de las estrategias de control de plagas más inmediatas, esencialmente en las primeras fases de infestación de los cultivos. Los áfidos, larvas, u otros organismos son observables y fácilmente eliminados de los frutos o tejidos superficiales de la planta, para posteriormente extraerlos del cultivo y enterrarlos, teniendo en cuenta el uso de guantes para evitar cualquier tipo de irritación o reacción que estos puedan generar (JICA, 2007); algunas personas utilizan sopladoras de un lado del cultivo y láminas pegajosas del otro lado para reducir las poblaciones de insectos.

Asimismo, la efectividad de esta práctica depende del tamaño de área que se encuentre cultivada, así como del tamaño de las plantas, la mano de obra y eficiencia con el que el personal lo realice para no posibilitar la reinfestación de la o las especies en el cultivo. Dicha práctica se ha utilizado para la eliminación de larvas de la familia sphingidae presentes en el cultivo de tomate, papaya y yuca, tales como *Erinnyis ello* (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria [OIRSA], 2001). Además, esta práctica es útil para el control del *Anthonomus grandis* en algodón e insectos de la familia Pieridae en *Brassica* spp., *Manduca* spp., y otras larvas en diferentes cultivos (Jiménez, 2009).

3.4.2- Recolección y eliminación de órganos infestados

La recolección y destrucción de órganos infestados es una práctica recomendada para el combate de plagas en cultivos, como por ejemplo *Anthonomus eugenii* en chile dulce. La destrucción de tejidos enfermos de plantas es útil para disminuir los efectos y proliferación de plagas dentro de la plantación (OIRSA, 2001).

Fácilmente se pueden distinguir los tejidos o frutos de las plantas que se encuentran infestados y en los cuales se puede proceder a recolectar manualmente, para así enterrarlos en fosas profundas y evitar la emergencia a la superficie de los insectos que se encuentran dentro. La recolección para el caso de frutos caídos e infestados debe hacerse en intervalos frecuentes para no permitir que las larvas abandonen el fruto, penetren el suelo o localicen una zona adecuada para empupar (Cruz, 2016).



Figura 35. Entierro de desechos de cosecha para evitar proliferación de plagas, como polilla en papa (izq.) y mosca de la fruta en papaya (der.).

Además, es importante la recolección de frutos o tejidos infestados para el manejo de *Ceratitidis capitata* en cítricos y frutales, *Toxotrypana curvicauda* en papaya y especies de *Anastrepha* spp. en distintos cultivos (fig 35) (OIRSA, 2001).

3.5 MANEJO BIOLÓGICO

Este tipo de control se basa en la acción de enemigos naturales contra las plagas, teniendo en cuenta el uso de organismos vivos como depredadores, parasitoides, hongos, bacterias, virus, nematodos y otros, capaces de suprimir el desarrollo de las plagas. El control biológico es muy eficaz contra plagas importadas cuando son manejadas con su enemigo natural de su zona de origen, por lo que actualmente gran cantidad de estos organismos han sido manipulados y formulados para ser utilizados en el combate de plagas y enfermedades (Gutiérrez et al., 2013).

El control biológico es un componente muy importante en los programas MIP que utilizan recursos naturales para mantener las poblaciones de especies dañinas en cultivos, por debajo de niveles que causen daño económico.

3.5.1- Uso de artrópodos como controladores de plagas

La utilización de insectos para el control biológico de plagas es uno de los métodos más empleados en el MIP. El ejemplo más común de estos son los depredadores y parasitoides (Brechelt, 2004). Estos organismos se pueden utilizar dando mantenimiento a poblaciones naturales, enriqueciendo el sistema agrícola con plantas que les dan hospedaje y alimento; o utilizando un control aumentativo, al introducir masivamente individuos controladores.

Los artrópodos entomófagos más usados para el control de insectos plagas pueden ser clasificados como:

1) parasitoides: individuos que viven y se alimentan de un huésped hasta causarles la muerte, siendo su fase activa el estado larval; y los adultos que son de vida libre, pueden ser herbívoros, nectívoros o depredadores. Los parasitoides pueden clasificarse según su

hábito alimenticio en: parasitoides de huevos (*Trichogramma* spp., y *Meteorus* spp.), de larvas (*Euplectus* spp., y *Cotesia flavipes*) y de pupas (*Muscidifurax* spp.).

Desde 1984, en Costa Rica se ha utilizado el parasitoide de larva llamado *Cotesia flavipes* para el control de la *Diatraea* spp., el cual es el principal agente de control del barrenador común del tallo. Este himenóptero es reproducido por la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA) y suministrado a los productores nacionales de caña de azúcar, así como los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* que también son utilizados como controladores biológicos. Esto ha permitido que el uso de insecticidas en este cultivo de grandes extensiones, se reduzca casi a cero.

2) los depredadores son insectos o ácaros polífagos que actúan sobre diferentes estados biológicos de sus presas hasta causar su muerte. En algunos casos pueden inyectar toxinas y enzimas digestivas a su víctima para facilitar su alimentación (*Chrysoperla carnea* y *Orius tristicolor*).



Figura 36. Aplicación de insectos parasitoides (izq.) y ácaros depredadores (der.).

Los depredadores cuentan con variedad de adaptaciones para la captura y fagocitación de sus presas, generalmente no son específicos a una especie determinada y son eficaces ante poblaciones de baja densidad. Para el caso de los parasitoides, atacan a una determinada especie y su densidad poblacional depende de la población de la especie huésped (Carballo, 2002).



Por ejemplo, en Costa Rica para el cultivo de piña se ha demostrado la capacidad que posee el parasitoide *Spalangia endius* para reducir las densidades poblacionales de *Stomoxys calcitrans* (mosca del establo), cuyo manejo generalmente se basa en controles químicos, culturales o etiológicos. Este biocontrolador parasita las pupas de la mosca del establo presentes en los desechos y rastrojos de piña (Villalobos, 2018). Existen formulaciones comerciales de este parasitoide, como la de ChemTica Internacional llamada Spal-Tica P587-L (fig 37).

Figura 37. Presentación comercial de *Spalangia endius*.

Por otro lado, el cultivo de banano nacional se ve afectado por *Diaspis boisduvalii*, el cual es reprimido por diversos parasitoides presentes en la vertiente Caribe, dentro de estos *Coccobius* sp., *Plagiomerus* sp. y *Aphytis* sp. (Gutiérrez, 2019).

Cryptolaemus montrouzieri, es una especie de Catarina o Mariquita de la familia Coccinellidae. Este escarabajo, nativo de Australia, se empleó por primera vez en California para combatir la cochinilla de los cítricos. Desde entonces, se ha introducido en varias áreas por todo el mundo como medio para controlar una amplia gama de cochinillas (Malais y Ravensberg, 1991); es un depredador bastante polífago que prefiere las cochinillas algodonosas (pseudococcidos), tanto en las etapas de larva como de adulto, y ocasionalmente se alimenta de pulgones. Su máxima eficacia se da controlando grandes poblaciones de cochinillas, y si no hay suficiente número de ellas, vuela en busca de otras presas, pudiendo llegar al canibalismo. Las hembras adultas pueden alimentarse de hasta un total de 400 huevos en los focos de infestación y una sola larva de *Cryptolaemus* puede llegar a consumir hasta 250 cochinillas. Las larvas de *Cryptolaemus* están cubiertas con hilos de cera blanca que les hacen parecer externamente a su presa. Esta forma de mimetismo agresivo les sirve de camuflaje en una colonia de cochinillas algodonosas (fig 38).



Figura 38. *Cryptolaemus montrouzieri*, larva (izq.) y adulto (der.) consumiendo escamas de cochinilla. Foto tomada de: <https://www.biobestgroup.com/es/biobest/productos/controlbiologico-4462/insectos-y-acaros-depredadores-4477/cryptolaemus-system-4785/>

En Costa Rica, Guillén *et al.*, (2010), mencionan que el control de Cochinilla harinosa en banano se realiza utilizando cintas impregnadas con clorpirifos, aplicando sales potásicas y control biológico con *Cryptolaemus montrouzieri* y *Chrysoperla*. En otros países este depredador se comercializa bajo el nombre de Cryptolaemus-System.

Escama (*Diaspis boisduvallii*): al igual que las cochinillas, la escama es un hemíptero chupador que se alimenta de fluidos y provoca la aparición de fumagina; la plaga se establece principalmente en la corona, el pinzote y los dedos donde provocan lesiones cóncavas y cloróticas. El manejo se realiza con la utilización de bolsas con bupofrezina, aplicación de detergente industrial y el control biológico; la escama tiene un amplio grupo de enemigos naturales como avispas parasitadoras de la familia Aphytis, depredadores (*Pentilia* sp, *Delphatus* sp.) y crisopas (*Ceraeochrysa* sp.) (Guillén *et al.*, 2010).

Tres especies de avispas parasitoides fueron identificadas por Solano (2019), como controladoras de escamas en el cultivo de banano en Costa Rica: *Coccobius* sp., *Aphytis* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) y *Plagiomerus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae) y un hiperparasitoides del género *Ablerus* (Hymenoptera: Aphelinidae); con lo que se refuerza la importancia que tiene la biodiversidad en nuestros campos de cultivo, muchas veces rota al aplicar insecticidas.

En el caso del arroz, el gusano defoliador *Spodoptera frugiperda* es manejado por parasitoides como *Apanteles marginiventris* y depredadores del orden odonata (Vilaseca *et al.*, 2008).

En tomate, áfidos como *M. persicae* se controlan con parasitoides del género *Diaeretiella* spp., larvas de lepidópteros como *E. ello* con *Cotesia* spp.; para caña de azúcar plagas como *Liriomyza* spp. y *Diatraea saccharalis* con parasitoides como *Diglyphus* spp. y *Cotesia flavipes*, respectivamente. En el caso de crucíferas, la polilla *P. xylostella* se controla con *Diadegma insulare* (Vilaseca *et al.*, 2008; Carballo, 2002).



Figura 39. La avispa *Trichogramma evanescens*, parasitando huevos de insectos plaga. Foto tomada de: https://e-insects.wageningenacademic.com/trichogramma_evanescens

Para el caso de Costa Rica, existen registrados ante el SFE, varios “sistemas” de parasitoides y depredadores, que comercialmente se pueden adquirir y utilizarlos como controladores naturales de plagas de trips, ácaros, nemátodos, moscas blancas, áfidos, larvas de lepidópteros, entre otros. A continuación, se nombran algunos:

Aphelinus Mix System: son parasitoides vivos importados de varios países como Holanda, Bélgica, EE.UU. y Canadá, cuyos organismos controladores son las avispas *Aphidus coelamni* y *A. ervi* (Hymenoptera, Braconidae). Estos son utilizados en muchos cultivos para el control de varios tipos de ninfas y larvas de áfidos, como el áfido verde y el áfido de la papa, en dosis de 1.500 a 2.500 individuos/ha.

Swirskii System: este sistema incluye el ácaro depredador *Amblyseius swirskii*, perteneciente a la familia de los Fitoseidos, que se alimenta de huevos y larvas de mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*), larvas de trips (*Frankliniella occidentalis*, *Thrips parvispinus*) y, en menor medida, de araña roja y araña blanca. Está registrado para usarse en varios cultivos de hortalizas, solanáceas y cucurbitáceas en dosis de 125.000 a 250.000 individuos/ha (fig 36).

Insidious System y THRIPOR-I: utilizan adultos del Chinche depredador *Orius insidiosus* (Hemiptera, Anthocoridae) para el control de larvas de trips en muchos cultivos de solanáceas, cucurbitáceas, flores, cacao, algodón y papaya, entre otros.

Atheta System: El insecto *Atheta coriaria* es un pequeño coleóptero depredador de algunos artrópodos que pueden ser plaga del suelo. Los adultos son de unos 3 a 4 cm de longitud, de color entre marrón y negro. Se utiliza en programas de control biológico de plagas, especialmente en invernaderos.



Figura 40. *Atheta coriaria*, coleóptero depredador de plagas de suelo. Foto tomada de: <https://www.biobestgroup.com/es/biobest/productos/control-biologico-4462/insectos-y-acaros-depredadores-4477/atheta-system-4783/>

Dacnusa Mix System y Dyglyphus System: ambos sistemas utilizan avispas parasitoides como controladores de plagas. El primero usa un Braconide, *Dacnusa sibirica*, y el segundo un Eulophidae, *Diglyphus isaea*.



Figura 41. Braconide parasitando huevos de insectos plaga. Foto tomada de: <https://www.planetnatural.com/beneficial-insects-101/diglyphus-isaea/>

Nematodos entomopatógenos:

Existen diversos productos formulados comercialmente cuya composición son nemátodos vivos, que atacan diferentes estados de crecimiento de insectos considerados plagas. Capsanem es un producto formulado de la casa Koppert, que se compone de nemátodos (*Steinernema carpocapsae*) que se utilizan para control de varios insectos plaga por medio de su aplicación foliar en campo e invernaderos. Los nematodos penetran en la plaga y liberan una bacteria simbiótica en su cavidad corporal. Estas bacterias convierten el tejido del huésped en una fuente de alimentación, gracias a la cual los nematodos se nutren, desarrollan y reproducen dentro del huésped. Esto acaba con la plaga en unas pocas horas o días tras la infección. Se puede utilizar para una gran variedad de plagas de orugas, gusanos soldados, polillas, larvas de escarabajos, de mosca, cochinillas, grillo topo, en muchos cultivos.

Existe otro producto de la misma casa comercial, Entonem, usado para el control de varias plagas de insectos en cultivos protegidos y espacios verdes urbanos. Es una formulación del nemátodo entomopatógeno *Steinernema feltiae*, que se usa para larvas de mosca, pupas y larvas de trips, larvas de escarabajos, orugas, gusano medidor, soldados, cochinillas y polillas en muchos cultivos y actividades. Y otro nemátodo usado es *Heterorhabditis bacteriophora* (nombre comercial Larvanem), usado para el control de orugas, gorgojos y otros escarabajos en un amplio rango de cultivos.

3.5.2- Uso de patógenos como controladores de plagas

Dentro de los patógenos capaces de atacar a los insectos plaga se destacan los hongos, las bacterias y los virus. Dichos organismos pueden aplicarse en forma de productos

fabricados según su fórmula. Los organismos entomopatógenos son un amplio grupo de microorganismos capaces de regular a las plagas y mantenerlas en niveles poblacionales por debajo del umbral económico, por lo que se ha estimulado el desarrollo de bioplaguicidas a base de dichos organismos (Motta y Murcia, 2011). El control biológico permite contar a su vez con beneficios como la protección del ambiente, la salud de los trabajadores y consumidores, así como la economía de los agricultores (Pacheco, Reséndiz y Arriola, 2019).

Los entomopatógenos más conocidos para el caso de las bacterias pertenecen al género *Bacillus* spp. como por ejemplo *B. thuringiensis* (contra larvas de lepidópteros). Para el caso de los hongos se encuentran *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium lecanii*, entre otros, y en el caso de los virus, los de la poliedrosis nuclear (VPNs) o granulosis (Brechelt, 2004).

Bacillus thuringiensis: es una bacteria con acción insecticida utilizado para controlar diversos insectos plaga agrícolas y forestales. Produce componentes tóxicos que paralizan el intestino del huésped, imposibilitando su movimiento y alimentación.

B. thuringiensis se usa para el control de *S. megarus*, *M. dimidiatipennis*, *D. brevipipes* y *E. nucicolora* en piña; para *Pseudoplusia includens*, *Trichoplusia ni*, *Spodoptera* spp., *Agrotis* spp. *Manduca sexta*, *Liriomyza trifolii* en tomate y para nematodos como *Radopholus similis*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita* y *Pratylenchus coffeae* (Muñoz, 2018; Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar [LAICA], 2017; Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2017b).

Otra variedad de ***Bacillus thuringiensis***, la var. *kustaki* e *israelensis*, es utilizada para el control de larvas de Lepidópteros (mariposas) y de Dípteros (moscas). Es un hongo entomopatógeno capaz de infectar a más de 700 especies de insectos; en la actualidad se utiliza como insecticida biológico por su eficacia contra numerosas plagas en una amplia variedad de cultivos como frutales, cítricos y hortalizas.

Para plagas que pertenecen a los órdenes de insectos Hemíptera (chinchas) y Homóptera (saltamontes) se utiliza el hongo *Isaria fumosorosea*. Ha sido muy exitoso en el control de moscas blancas y áfidos (ver Estudio de caso: melón). También para estas plagas de insectos se utiliza *Lecanicillium lecani* y *L. muscarium*, que también tienen efecto sobre control de enfermedades como roya y mildiú polvoso, y sobre garrapatas en ganado.

Beauveria bassiana es un hongo entomopatógeno que además de Lepidóptera y Díptera, controla insectos del orden Coleóptera, como picudos y otros escarabajos. En el cultivo de piña, *B. bassiana* se utiliza para el control de *S. megarus*, *Metamasius dimidiatipennis*, *Dysmicoccus brevipipes* y *Elaphria nucicolora*; en caña para *Diatraea* spp., *Telchin* spp., *Elasmopalpus lignosellus*, *Mocis latipes*; en tomate para *B. tabaci*, *Tetranychus urticae*, *Aculops lycopersici*; en papa para *Phyllophaga* y en banano para el control de *Cosmopolites sordidus*. En dichos cultivos se utiliza clorpirifos (Muñoz, 2018; Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar [LAICA], 2017; Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2017a).

Metharrizium anisopliae: es un hongo entomopatógeno utilizados para el manejo de diversos insectos plagas. Se adhiere a la cutícula de los insectos e ingresa vía oral, las esporas germinan y producen toxinas que matan al insecto en cuestión de 3 a 4 días.

En Costa Rica existen formulaciones comerciales a base de este tipo de hongos entomopatógenos. Por ejemplo, el producto comercial Metafix y Meta-eco, que contiene *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* y es recomendado para el control de trips, ácaros, babosas, caracoles, cochinillas, jobotos, termitas, garrapatas y otros. La particularidad de las cepas de esta especie es que está potencializada para el control de insectos resistentes a los insecticidas de uso común.

Este se utiliza en un sinnúmero de cultivos y la dosis recomendada es de 4 kg a 6 kg por hectárea cuando se aplica por primera vez, a esto se le llama dosis inundativa. Las siguientes aplicaciones varían de 2 kg a 3 kg por hectárea, dosis inoculativa. La frecuencia de aplicaciones varía dependiendo de las plagas a controlar. En el caso de plagas de follaje la frecuencia varía de 15 a 30 días. Cuando las plagas son subterráneas es preferible hacer aplicaciones semanales o quincenales. Para la inoculación de abonos y sustratos de siembra se recomienda una dosis de 2 kg a 5 kg/tonelada, mezclar en sólido o fumigado.



Figura 42. Insecto parasitado con *Metharrizium* sp. Foto de: <https://www.doctor-obregon.com/meta>

Las esporas de los hongos están altamente hidratadas y su germinación se ve estimulada por el calor, por lo que es importante refrigerar a una temperatura entre 1 °C y 10 °C. A esta temperatura el producto se puede conservar hasta 4 meses lo mismo que el hongo suspendido en agua.

M. anisopliae se emplea para el control de *S. megarus*, *M. dimidiatipennis*, *D. brevipes* y *E. nucicolora* en el cultivo de piña; en caña para *Metamasius hemipterus*, *Phyllophaga* spp. *Saccharosydne saccharivora* y *Proarna invaria*; en tomate para *F. occidentalis* y *E. americanus* y en papa para *Phyllophaga* spp. (Muñoz, 2018; Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar [LAICA], 2017; Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2016).

Algunas compañías costarricenses tienen a la disposición formulaciones que contienen los hongos *Purpureocillium lilacinum* y *Pochonia chlamydosporia* que tienen acción biocida sobre huevos y larvas de los géneros de nematodos *Meloidogyne*, *Radopholus*, *Pratylenchus* y también sobre larvas y huevos de moscas blancas y chinches.

Paecilomyces spp.: es un género de hongos nematófagos que controla los nematodos nocivos por patogénesis. Se utiliza como un bionematicida. A su vez, controla insectos de diversas familias de los órdenes Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Neuroptera, Hymenoptera, Thysanoptera, Hemiptera y Homoptera.

En un ensayo preliminar para control de *Pratylenchus* sp en cultivo de piña, como alternativa al insecticida organofosforado etoprofos, se utilizó *Pochonia chlamydosporia*, *Paecilomyces* sp y un producto artesanal extraído de la destilación del humo de la combustión de madera (ácido piroleñoso), conocido como vinagre de madera. La eficacia de las alternativas se evaluó por la cuantificación de nematodos en suelo y raíces de plantas de piña; a los 90 y 120 días después de la aplicación, las poblaciones eran similares y bajas en todos tratamientos, excepto en el testigo absoluto, lo que demuestra que es necesario conocer previamente las poblaciones de nematodos presentes en suelo y que las alternativas a insecticidas sintéticos son eficaces, más seguras y menos costosas (Ramírez, F. Comunicación personal).

Para el control biológico de ácaros existen formulaciones comerciales (Acaridox) del entomopatógeno *Hirsutella* sp, y de *Cladosporium herbarum* (Scamin) para el control de escamas en varios cultivos.

Nemout 0.65 WP, es una formulación microbiológica compuesta por los hongos Hipomycetes *Arthrobotris oligospora*, *A. botryospora* y *Dactyllela brochophaga*, que son habitantes comunes del suelo que atrapan nemátodos mediante anillos constrictores y colonización. Una investigación efectuada por Piedra *et al* (2008), encontró que sí hubo eficacia biológica del nematicida Nemout 0,67 PM contra el género del nematodo fitoparásito *Pratylenchus* sp en el cultivo de ñame. Esta formulación estaba registrada para dos cultivos de tubérculos (ñampí y tiquisque), sin embargo, fue cancelada hace poco tiempo (SFE, 2023).

Microp 0,40 SL es otra formulación comercial compuesta por la bacteria *Burkholderia* (Pseudomonas) tipo Wisconsin, que se ha utilizado como nematicida. Los mismos autores (Piedra *et al.*, 2008), reportan que en el cultivo de ñame en Costa Rica, el género *Meloidogyne* sp. presentó la menor cantidad de larvas en los tratamientos con Sincocin 0,55 SL y Microp 0,40 SL.

Para el control de hormigas cortadoras de hojas (zompopas) y sus nidos, se puede usar el hongo entomopatógeno *Isiria javanica*; y por separado, *Trichoderma harzianum* y la actinobacteria *Streptomyces* sp. También tiene efecto comprobado y existen formulaciones comerciales de los entomopatógenos *Lecanicillium lecani* y *L. muscarium* para el control de hormigas cortadoras, además de mosca blanca, trips, cochinillas y áfidos.



Figura 43. Uso de hongos entomopatógenos para control de hormigas cortadoras. Foto por Proyecto CAFÉ-UNA.

Para el control de hormigas cortadoras de hojas (zompopas) y sus nidos, se puede usar el hongo entomopatógeno *Isiria javanica*; y por separado, *Trichoderma harzianum* y la actinobacteria *Streptomyces* sp.

También de forma casera se utilizan sustratos en que pueda crecer el hongo *Penicillium* sp, como cáscaras de naranjas. Se utilizan naranjas a las que les ha crecido un micelio verdoso grisáceo para lavarlas e introducir al nido el agua de lavado o colocar trozos con moho en los caminos de las hormigas; estas lo acarrearán hasta el hongo de donde se alimentan, el cual es destruido por el *Penicillium* y las hormigas mueren de hambre.



Figura 44. Este tipo de hongo (*Penicillium* sp) es antagónico con el hongo (Basidiomicetos) que cultivan las hormigas cortadoras de hojas para alimentarse en las profundidades del nido. Foto de: <https://infoagronomo.net/penicillium-control-de-hormigas-cortadoras-de-hojas/>

Recientemente en varios países de América Central y del Norte, se está produciendo una invasión de la hormiga loca (*Nylanderia fulva*), originaria de Brasil, y las primeras reacciones, incluso de las autoridades, es la recomendación de aplicar plaguicidas altamente peligrosos como clorpirifos, carbaril y fipronil, entre otros insecticidas.

Se conocen muy pocos enemigos naturales para esta especie. *Macrodinychus sellnicki* es el único parasitoide conocido por el momento, un ácaro ectoparasitoide de las pupas (CENICAÑA, 1999). Otro enemigo natural que puede ser un candidato para control biológico de esta hormiga es *Pseudacteon convexicauda*, el cual parasita a la hormiga loca en Brasil y Argentina (Brown et al., 2011).

Recientemente se encontró un hongo microsporidio (*Myrmecomorba nylanderiae*) infectando poblaciones de la hormiga loca en Texas y Florida, este entomopatógeno produce tres tipos de esporas que infectan los cuerpos grasos de todas las etapas de vida de *N. fulva* (Plowes et al., 2015).

3.5.3- Extractos botánicos como controladores de plagas

Una alternativa al uso excesivo de insecticidas sintéticos son las sustancias semioquímicas obtenidas del metabolismo secundario de las plantas. Dichas sustancias poseen la capacidad de interferir en los procesos bioquímicos de los insectos, empleándose como potencial alternativa anexo manejo integrado de plagas (Mareggiani, 2001). A continuación, se muestran algunos ejemplos de extractos naturales o insecticidas botánicos que se pueden obtener de plantas presentes en Costa Rica.

El Neem (*Azadirachta indica*)

El Nim posee diversas sustancias activas en sus tejidos que se han empleado por muchos años para la protección de cultivos vegetales y medicina. Aproximadamente nueve de sus diferentes ingredientes activos tienen afectación sobre el crecimiento y comportamiento de los insectos, algunos ejemplos son los triterpenoides, el cual por el tipo de acción que posee sobre los insectos dificulta la aparición de resistencia (Díaz et al., 2010).

A su vez, causan efectos repelentes anti-alimentarios en muchos tipos de insectos como coleópteros, hemípteros, heterópteros y ortópteros, generalmente inhibiendo el crecimiento y alterando la metamorfosis. Además, afecta también a larvas de lepidópteros, dípteros y tiene efectos sobre los nematodos. Actualmente existen aceites formulados y extractos alcohólicos de Neem para su uso en grandes extensiones de terreno (Peña, 2016).

El efecto insecticida del producto es producido por la actividad de la azahirachiractina que actúa como un potente regulador de crecimiento que paraliza el crecimiento el proceso de mudas (metamorfosis) en los insectos. Al eclosionar los huevos, las larvas, ninfas o pupas no pasan a sus estados adultos y los insectos mueren, actúa vía contacto (SFE, 2023).

Algunos de los principales efectos sobre las plagas de cultivos generados por extractos derivados de *A. indica* son: de repelencia, anti alimentarios, reducción de fecundidad, inhibición de la oviposición, alteración de la metamorfosis y afectaciones en la conducta. Los principales grupos de plagas que se ven perjudicados son: nematodos, larvas de lepidópteros, coleópteros, himenópteros y dípteros, adultos de coleópteros, hemípteros, heterópteros, ortópteros y tisanópteros.

Del árbol de Neem se pueden utilizar sus hojas y frutos para obtener el efecto insecticida. De las semillas se pueden hacer extracciones con alcohol, se pueden prensar para obtener aceite y ese residuo (torta) también se puede usar para el control de plagas. En cuanto a la preparación de insecticida a base de hojas o torta, se deben de coleccionar hojas relativamente jóvenes, machacarlas en agua, dejarlas reposar por una noche, y aplicar el extracto colado al día siguiente. Los residuos sólidos de las extracciones se pueden aprovechar para aplicarlos al suelo para el control de plagas como nematodos, *Phyllophaga* sp y larvas cortadoras, entre otros.

En Costa Rica actualmente hay dos formulaciones comerciales con Azadirachtina, registradas para muchos cultivos: Bionim 1.5 EC registrada para el control de *Liriomiza* sp y Neem-X 3 EC registrada para control de *Keiferia* sp (gusano alfiler).

Piretro (*Chrysanthemum cinerariaefolium*)

El piretro hace referencia al extracto de oleoresina obtenido de las flores de *C. cinerariaefolium*, el cual cuenta con seis ésteres, entre ellos la piretrina, la cual posee una amplia actividad insecticida. Debido a su acción neurotóxica, tiene un rápido efecto de convulsiones e hiperactividad sobre los insectos (Pérez, 2012).

Por otro lado, el piretro controla una gran variedad de insectos tanto domésticos como de importancia agrícola, masticadores y chupadores. Se emplea en la producción orgánica gracias a su baja toxicidad en mamíferos y baja persistencia en el ambiente por rápida fotodegradación (Mareggiani, 2001).

Acetogeninas (*Annona* spp.)

A partir de semillas de *Annona* spp. se han elaborado insecticidas gracias a la gran cantidad de derivados de ácidos grasos de cadena larga como lo son las acetogeninas, responsables de la acción insecticida. Para *A. squamosa*, la principal acetogenina que se obtiene es el annonin; en *A. muricata* L la asimicina, esquamocina y anonacina. Estas bloquean la producción de energía en las mitocondrias de los insectos (Pérez, 2012)

Además, las semillas de *A. muricata* han demostrado su efecto insecticida contra dípteros, hemípteros, blatodeos y coleópteros. Por ejemplo, para *Bemisia* spp. una efectividad de hasta el 98,3% y para *P. xylostella* de hasta un 100% (Rodríguez *et al.*, 2020).

Lantana camara

A principios de los ochenta se observó que extractos elaborados a partir de las hojas de *L. camara* mostraban su efecto insecticida en campo sobre *Bagrada hilaris*, *M. persicae* y *P. xylostella*, además de sus efectos antialimentarios y repelente contra larvas y adultos de *Anobium punctatum* y *Henosepilachna vigintioctopunctata*. Posee una rica fuente de moléculas bioactivas en sus hojas, flores, frutos, semillas, etc. con actividades insecticidas para defoliadores, chupadores, plagas domésticas, de cultivos y de granos almacenados (Routray *et al.*, 2021)

Por otro lado, el aceite esencial de *L. camara* posee actividad bactericida y fungicida sobre *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus niger* y *Fusarium solani*. Además, dentro de los componentes de sus aceites esenciales, para el citral, eugenol, farnesol y geraniol se señala la actividad nematocida y para el eugenol y el furfural su actividad insecticida. Los compuestos lantanósido, lantanona, linarósido y ácido camarínico muestran efectividades nematocidas de hasta un 85 y 100% a concentraciones del 10%, resultados comparables con nematocidas comerciales (Pérez, 2012).

Algunos ejemplos de plantas a nivel mundial con componentes tóxicos en sus tejidos para los insectos son: *Solanum tuberosum* (tubérculo con triterpenoides), *Nicandra physalodes* (hojas con alcaloides), *Stemona tuberosa* (raíz con alcaloides), *Aesculus californica* (semillas y néctar con cumarina), *Anabasis aphylla* (hojas con anabasina), *Anamirta cocculus* (frutos con picrotoxina), entre otras (Brechelt, 2004).

Otra formulación, comercial en Costa Rica, es el Armorex, compuesta de extractos botánicos que mata por contacto y mantiene una acción repelente sobre insectos, moluscos, nemátodos, hongos y bacterias. Se recomienda para aplicar en suelos donde se vayan a sembrar hortalizas, frutales, flores, bulbos, hierbas, especias, cultivos bajo plástico y plantas ornamentales. No tiene restricciones para ningún cultivo. Comercialmente se publicita como un fumigante de suelo e insecticida foliar.

Madero Negro y Apazote

El árbol de Madero Negro (*Gliricidia sepium*) se puede utilizar para controlar o repeler insectos como garrapatas en ganado con buenos resultados (González y Luna, 2020) y

para controlar ratones y repeler pulgas en establecimientos como establos y viviendas, ya que sus raíces y hojas poseen cumarina (Rivera, Flores y Castillo, sf). De la misma forma, la planta conocida en Costa Rica como Apazote (*Chenopodium ambrosioides*) es una planta repelente para pulgas, que comúnmente se ha utilizado para untarla fresca en animales domésticos, colocarla en los lugares en que duermen. También se ha utilizado como desparasitante interno en animales y humanos.

Vinagre de madera

El ácido piroleñoso, o vinagre de madera, es un líquido obtenido de la destilación seca de la madera, se encuentra formado por un 80 a 90% de agua y muchos compuestos orgánicos; entre ellos, el ácido acético y el alcohol metílico. El vinagre de madera se utiliza con múltiples propósitos, como el mejoramiento de la calidad del suelo, como enraizador y como fertilizante foliar, además se puede utilizar como un repelente de insectos, como fungicida, nematocida y puede reprimir la germinación de las semillas de malezas. El rendimiento del ácido piroleñoso depende de la madera que se emplee, siendo las maderas para elaborar carbón y el bambú dan un mejor rendimiento. Algunos horticultores lo utilizan como una forma eficiente y barata de controlar nematodos en cultivos como zanahoria (Rodríguez, G. Comunicación personal), y en piña dio tan buenos resultados como el etoprofos en el control de *Pratylenchus* sp (Ramírez, F. Comunicación personal).



Figura 45. Vinagre de madera o ácido piroleñoso usado como nematocida.

3.6- ALGUNOS INSECTICIDAS DE MENOR IMPACTO EN SALUD Y AMBIENTE

Azufre

El azufre en polvo favorece la optimización natural de los mecanismos de defensa de la propia planta, generando así una mejora gradual y duradera de su sistema inmunológico frente a posibles agentes externos nocivos, como hongos y ácaros.

En Costa Rica existen formulaciones comerciales de azufre soluble, entre estas: Thiovit 80 WG, Azufral 80 WP, Azucoop 80 WP, Kumulus 80 WG, Microthiol Special 80 WG, Banazuf 72 SC, Elosal 72 SC, etc.

Es primordialmente un fungicida, pero también se utiliza para el control de ácaros y algunos trips, sobre todo en los primeros estadios larvarios. De hecho, está registrado para el control de Arañita Roja (*Tetranychus* sp) y otros tipos de ácaros en cultivos como cítricos, plantas ornamentales y flores (rosas); en otros países se usa en cultivos como fresas, frutales tropicales y de hoja caduca y variedad de hortalizas. Puede ser tóxico a algunas variedades de manzana, albaricoque, frambuesas, pepinos, melones, zapallo y espinacas.

Dióxido de Silicio:

El dióxido de silicio en polvo se utiliza como un insecticida desecante. En Costa Rica está registrada ante el Ministerio de Salud, una formulación comercial (Cimexa), como polvo insecticida a base de dióxido de silicio amorfo (92.1%), que se recomienda para el control de hormigas, cucarachas, cochinilla, arañas, ácaros, chinche de cama (adultos y ninfas), piojos, pulgas, garrapata, escarabajos de tela y productos almacenados, polillas y termitas. Cuando las plagas entran en contacto con el dióxido de silicio, éste se adhiere a su exoesqueleto y absorbe el recubrimiento ceroso, causando la muerte por deshidratación.

Cal diatomita:

Las tierras de diatomeas se utilizan para controlar insectos en granos almacenados, causando la muerte de los insectos al absorber los lípidos epicuticulares de la cutícula del insecto, pero tiene un efecto negativo en las propiedades físicas de los granos, particularmente en la densidad aparente. Algunos agricultores las aplican directamente al follaje del cultivo para utilizarla como repelente de insectos, especialmente en lugares de alta radiación, pues también protege al cultivo de ésta (ver estudio de caso finca Los Sukias).

Citoquininas:

Las citoquininas en conjunto con extractos naturales de algas (*Laminaria digitata*, *L. hyperborea*, *Mucus serratus* y *Ascohyllum nodosum*), ácidos grasos y extractos minerales han demostrado tener efecto nematicida, lo cual se convierte en una alternativa a los nematicidas sintéticos organofosforados, que por lo general son extremada y altamente tóxicos, además de que, por su composición variada, se puede catalogar como nematicida multimodos de acción. Existe un producto comercial (Sincocin 0.55 SL), con acción de contacto, preventivo y estomacal, cuya formulación actúa sobre el proceso de alimentación del nematodo mediante sustancias que afectan su orientación hacia las fuentes de alimento y que bloquea sus procesos digestivos; además, contiene ácidos grasos que afecta su cutícula y facilita la penetración de toxinas del medio (SFE, 2023).

Está registrado comercialmente para usarse en cultivos como café, banano, plátano, ornamentales de follaje y helechos, para el control del nemátodo espiral (*Helicotylenchus* sp.), nemátodo de agallas (*Meloidogyne* sp), nemátodo lesionador (*Pratylenchus* sp.), nemátodo barrenador (*Radopholus similis*) y nemátodo del quiste (*Globodera* sp).



Figura 46. Ejemplo de formulaciones comerciales de citoquininas (izq.) y de sales potásicas de ácidos grasos (der.).

Sales potásicas de ácidos grasos:

Este es un producto a base de sales potásicas de ácidos grasos o jabón potásico, que procede de la saponificación de aceites y grasas de origen natural. Se utiliza como bioinsecticida, potenciador de agroquímicos (principalmente insecticidas) y limpiador de fumagina y manchas en el follaje de las plantas, mejorando con ello el proceso de fotosíntesis.

Actúa por contacto, disolviendo la membrana celular del exoesqueleto de quitina, principalmente de los insectos de caparazón blando, provocando su muerte por deshidratación rápidamente. Controla adultos, larvas y pupas de mosca blanca, mosca minadora, pulgones o áfidos, psílidos, trips, escamas, chicharritas, diversos tipos de ácaros, entre otros.

En Costa Rica existen formulaciones comerciales, registradas para una gran variedad de cultivos como banano, café, hortalizas, frutales y ornamentales, como Impide 46 SL, ISK 45 SL y Zohar 47 SL (fig 46).

Extracto de *Tagetes erecta*:

Los extractos de la planta (hojas, raíces y flores) del género *Tagetes*, principalmente *T. erecta*, controlan enfermedades del suelo y nematodos por contacto. Tiene efecto nematicida y nematostático directo, sobre todos los géneros de nematodos fitopatógenos que afectan a las plantas, tanto adultos como quistes. La planta presenta piretrinas y tiofenos, que son las sustancias vegetales responsables de los efectos contra insectos y nematodos, respectivamente.

La rotación de maíz con *T. erecta* en tierras con antecedentes de plagas en el suelo, como la gallina ciega o Joboto (*Phyllophaga* sp), abate drásticamente las poblaciones de este insecto.

Las formulaciones comerciales de *Tagetes* son de contacto, sus compuestos activos traspasan la cutícula de los insectos, paralizando su sistema nervioso. Tiene acción excitatoria intensa, provoca hipersensibilidad a los estímulos externos, ocasionando

convulsiones, tetanización de músculos y muerte del insecto. Obstruye y altera el impulso nervioso en las neuronas, por lo que presenta un alto efecto irritante o de derribe que hace que el insecto apenas entre en contacto con las superficies tratadas deje de alimentarse, se paralice y muera.



Figura 47. Diversas plantas del género Tagetes usadas para extractos insecticidas. Fuente. <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/genero-tagetes-en-el-control-de-plagas>.

4- ESTUDIO DE CASOS.

Reducción en el uso de insecticidas organofosforados en varios cultivos. Costa Rica. Experiencias exitosas en cultivos comerciales de grandes áreas.

A continuación, se presenta un resumen de entrevistas realizadas a productores de arroz, caña, melón y sandía del Pacífico Norte de Costa Rica. Ing. Andrés Vasques productor de arroz y caña; Ing. Arnoldo Rodríguez, productor de arroz; Ing. Jorge Baltodano, productor de arroz, melón y sandía; Alvaro Torres productor de frutas de altura (aguacate, manzana, ciruela) de Copey de Dota; Henry Guerrero, horticultor de Zarcero, Alajuela.

4.1- Arroz: en Costa Rica existen varias experiencias muy exitosas en la reducción del uso de insecticidas y otros plaguicidas en plantaciones comerciales y extensivas de arroz. Costa Rica cultiva cerca de 30.000 ha de arroz y en algunas regiones, debido a los altos costos que tiene el cultivo y a la presión de precios de arroz importado, agricultores han adoptado sistemas de producción que han reducido o eliminado el uso de algunos plaguicidas, entre estos insecticidas y fungicidas principalmente.

Caso finca Los Sukias, Cañas, Guanacaste.

Finca con acceso a riego por inundación, produce arroz sin plaguicidas en cerca de 250 ha, utilizando los siguientes métodos:

- 1- Saber identificar artrópodos benéficos como depredadores y parasitoides (avispas, arañas, libélulas, ciempiés, entre otros) y no solamente los insectos plaga (que conforman solo un 5% del total de insectos).
- 2- Mantener las rondas de la finca (bordes, cercas, orillas de caminos) con vegetación natural que atraiga y mantenga poblaciones de organismos benéficos. Palmeras que ofrecen lugar de anidación a avispas para el control de gusanos plaga; árboles donde puedan perchar aves que controlan roedores (lechuzas, halcones, etc) y murciélagos que controlan insectos por la noche; arbustos y hierbas que atraigan biodiversidad como insectos benéficos, depredadores y parasitoides para el control de plagas dentro de los cultivos.

Mantener la mayor diversidad posible de plantas nectaríferas, arvenses, palmeras y otras, que también van a atraer organismos controladores como ranas, sapos y aves.

A estas rondas o bordes no se les da mayor mantenimiento, por lo que se ahorra en costos de mano de obra o herbicidas y son una forma de capturar carbono. Es el método que el agricultor llama “ganar, ganar”.

Los murciélagos controlan adultos de *Diatrea* sp y *Rupella* sp y llegan a consumir cerca de 50 g de insectos por noche.

Esta finca no requiere del uso de insecticidas al tener una diversidad muy grande de organismos controladores de plagas que mantienen el equilibrio natural. Al no usar insecticidas se ha visto el regreso de abejas y otros polinizadores a las panículas de arroz.

- 3- Uso de coberturas: mantener siempre el suelo cubierto, dejando en el campo los residuos de la cosecha que forman un mulch enriquecedor con materia orgánica para los microorganismos del suelo. Esto se practica en el cultivo de arroz y caña, lo que ha permitido pasar de 1% de contenido de materia orgánica en 2014 a 4,5% en 2022.
- 4- Uso de trampas nocturnas para la captura de *Oebalius* sp y *Rupella albinella*: se instalan trampas muy sencillas que constan de una luz, un recipiente con una mezcla de agua y jabón. En el cultivo de caña se utilizan para capturar adultos de *Phyllophaga* sp, una plaga que tradicionalmente se controlaba con organofosforados.
- 5- Evitar los fertilizantes químicos sintéticos: los suelos se acompañan de una fertilización orgánica, con el uso de insumos como harina de hueso, algas, diatomita, té de lombricompost, harina de rocas; todo esto buscando aumentar la microbiología del suelo. En esta coyuntura mundial, donde los precios de los fertilizantes químicos son muy altos, el manejo con fertilización orgánica le significa al productor un costo de \$3,00 por ha, mientras que si utiliza químicos el costo sería cerca de \$200,00.

- 6- Uso de bioplaguicidas como las bacterias *Bacillus subtilis*, *B. Pumillus* y *B. thuringiensis*; hongos como *Beauveria bassiana* y *Trichoderma* spp. Además de aplicaciones de bambucina (un compuesto a base de brotes de bambú, usado como estimulador de crecimiento), hormona de camote, *Azolla* sp como fijadora de nitrógeno.
- 7- Uso de repelentes y otras sustancias. Se utilizan extractos botánicos comerciales y producidos en la finca de chile picante, pimienta, ajo y mostaza para repeler insectos en el cultivo. En arroz, pero más en otros cultivos como ayote, se utiliza la diatomita como una forma de repeler la llegada del insecto al hacer la superficie de las hojas irritables.

Con estos métodos de cultivo, en esta finca han dejado de utilizar plaguicidas organofosforados como el dimetoato y otros como deltametrina, imidacloprid y piretroides.

Han reducido los costos de control de insectos a US\$1,5 /ha. En otras fincas se pueden utilizar en momentos de apuro, algunos insecticidas piretroides, pero siempre hacia inicios de ciclo (máximo primeros 30 días) para evitar presencia de residuos en cosecha.

Caso finca Pelón de la Bajura en Bagaces:

Esta finca extensiva cultiva 5.000 ha de arroz y desde hace unos 5 años ha reducido o casi eliminado el uso de insecticidas, bajo la certificación Kiwa (<https://www.kiwa.com/lat/es/tipo-de-servicio/certificacion/>).

Esta finca ha llegado a reducir los ciclos de aplicación de insecticidas de 3 en toda el área a 1 ciclo y de forma aislada. Hace unos 6 años que no utilizan insecticidas organofosforados (el último fue acefato) y eventualmente en algunas áreas y por emergencia de plaga, utilizan algún piretroide o neonicotinoide (imidacloprid, tiametoxan). Otras fincas arroceras utilizan dimetoato (OF).

Esta reducción en el uso de insecticidas se ha hecho con base en obtener conocimiento sobre el comportamiento de la plaga en cuanto a ciclos y periodos de mayor presión, uniformizando las fechas de siembra para evitar tener diferentes momentos fenológicos del cultivo en áreas cercanas. El ser una finca extensa, les permite de alguna forma aislarse de otros productores.

Actualmente utilizan bioplaguicidas como *Beauveria bassiana*, *Metharrizium* sp, *Trichoderma* sp y un manejo de precisión para reducir la carga química. También repelentes a base de ajo, chile picante y mostaza, dependiendo del estado de desarrollo de la plaga.

La productividad de esta finca no se vio afectada por la reducción en el uso de insecticidas, la calidad del grano se mantuvo y por el contrario, los costos de producción se bajaron muy significativamente.

4.2- Caña de azúcar: si bien el uso de organofosforados en caña ha sido muy poco en Costa Rica, algunos métodos que han funcionado para eliminarlos son los siguientes:

Los insecticidas se usaban principalmente para el control de defoliadores (*Spodoptera* sp), taladradores (*Diatrea* sp) y para insectos de suelo (larvas de *Phyllophaga* spp). Para el manejo de *Spodoptera* se utilizan enemigos naturales al aumentar las áreas con arvenses, plantas nectaríferas, palmas y árboles, además del uso de los mismos bioplaguicidas usados en arroz. Para el control de *Diatrea* se utilizan parasitoides producidos en laboratorios (<https://laica.cr/dieca/>).

Para el control de larvas de *Phyllophaga* se utilizan varios métodos en vez de los insecticidas granulados terbufos, clorpirifos y oxamil. Uno de estos métodos es la inundación por 1 hora de los surcos de caña de azúcar, lo que provoca la muerte de las larvas. Otro método complementario es el uso de trampas nocturnas de luz para atraer a los adultos de *Phyllophaga* y así bajar las poblaciones.

4.3- Melón y sandía:

Estos cultivos han sido un ejemplo exitoso de reducción en la carga química, en el uso de fumigantes de suelo e insecticidas. Los medianos y grandes productores de melón y sandía han seguido la misma técnica de los productores orgánicos de arroz y caña, básicamente no controlar la vegetación que crece en los bordes de los cultivos, en los bordes de las quebradas, utilizar cercas vivas y sembrar plantas trampa; todo esto con el uso de controladores biológicos.

Plantas trampa: algunas plantas son atrayentes de una de las principales plagas por las cuales se usan insecticidas organofosforados: la mosca blanca. Los productores han corroborado desde hace varios años que plantas como frijol o berenjena son muy atrayentes de adultos de mosca blanca. Utilizando esta propiedad, las siembran en las cabeceras de las camas de melón y en los bordes del cultivo, de forma conjunta con la siembra del melón, pero las aplicaciones de insecticidas, tanto químicos como biológicos) las hacen en las plantas trampa y no en el cultivo, logrando bajar la presión de la plaga y reduciendo el uso de insecticidas en el melón.

Uso de bioplaguicidas: Utilizan el hongo *Isaria fumosorosea*, que tiene efecto sobre insectos como mosca blanca, hemípteros, homópteros, dípteros y lepidópteros. Las aplicaciones las hacen desde varias semanas antes de iniciar las siembras de melón en la vegetación de los bordes de los cultivos, bordes de las quebradas y en las plantas trampas.

Para el control de larvas de lepidóptera utilizan BT pero también spinoteram, spinosad, metoxifenocida, deltametrina y clorantraniliprole. Por restricción de ciertas certificaciones ya no aplican metomil, dimetoato o diazinon, que era común usarlos en años anteriores a la aplicación de esos estándares. Han logrado bajar las aplicaciones de insecticidas químicos sintéticos de frecuencias de 5 veces a 2 aplicaciones por ciclo de cultivo actualmente.

Para el control de Trips se utilizan repelentes, *Beauveria bassiana* y *Metharizium* sp, especialmente para prepupa y adultos; también se usa spinoteram para esta plaga.

Uso de repelentes: sumado a los insecticidas, el uso de repelentes es normal en la actualidad. Se utilizan extractos de canela y de ajo-chile, principalmente, y son aplicados para el control de mosca blanca, trips y otros insectos chupadores.

Uso de feromonas: en melón y sandía se utilizan trampas con feromonas como una forma de controlar poblaciones de *Spodoptera*, cuando anteriormente se utilizaba benzoato de emamectina y spinosad. Para plagas de suelo se utiliza *Phaselomyces* sp, lo que ha llevado a reducir el uso de fumigantes, que actualmente se utilizan solo para lotes con problemas fuertes de malezas.

En cuanto a costos, se han reducido pues los insecticidas biológicos han bajado el precio, debido a que hay un mayor volumen de producción en el país. En muchas fincas se ha logrado tener un laboratorio de producción de biológicos, lo que reduce aún más el costo. La calidad del producto no se baja.

Este sistema de producción se aplica en cerca de 1.500 ha, en fincas dedicadas a la exportación de melón y sandía. Algunos insecticidas como oxamil y terbufos se han dejado de usar debido a las políticas de las certificadoras.

4.4- Papaya: este cultivo tiene un uso relativamente alto de plaguicidas, entre ellos insecticidas como dimetoato, malatión, terbufos y oxamil (carbamato). Se aplican tanto en forma granulada al suelo como por atomizaciones al follaje y a la fruta.

En Costa Rica algunos productores de papaya (y también de otras frutas como manzana, ciruela, fresa y aguacate), utilizan agua tratada con ozono (O₃) para el control de plagas de suelo y foliares. Este sistema es relativamente nuevo, pero preliminarmente ha tenido buena acogida debido a que reduce el uso de plaguicidas y los costos de aplicación son bajos. Este uso de agua ozonificada inyectada al sistema de riego ha permitido eliminar el uso de insecticidas- nematicidas organofosforados y carbamatos como terbufos y oxamil, y en aplicaciones foliares se ha reducido el uso de malatión y dimetoato.

Otra ventaja que tiene la aplicación de ozono al suelo es que al reaccionar con la materia orgánica, produce oxígeno lo que es aprovechado por las raíces de la planta, actuando como un estimulante radicular, y por los microorganismos benéficos del suelo, potenciando su acción sobre patógenos y nematodos.

Se considera al ozono una alternativa promisoría para la reducción del uso de plaguicidas en varios cultivos.

4.5- Aguacate: los productores de aguacate, en su mayoría pequeños y medianos productores, han buscado la forma de reducir la carga química en su cultivo, buscando bajar costos y residuos en fruta. Algunos han iniciado pruebas con agua ozonificada para control de patógenos y ácaros del follaje, pero principalmente aplicado por sistema de riego al suelo. Esto les ha permitido tener un mejor desarrollo radical, por lo tanto, un árbol con mejor salud y más resistente al ataque de plagas.

Hace algunos años en aguacate y manzana se usaba oxamil para control de larvas de *Phyllophaga*, aunque no era tan efectivo; sin embargo, debido a necesidades económicas

y ambientales, dejaron de usarlo y se dieron cuenta que no existía un daño mayor al que tenían cuando lo usaban, lo que les demostró que una activación de la vida microbiana del suelo es más importante para la salud de los cultivos, que la aplicación de plaguicidas.

Actualmente en estos cultivos se utilizan repelentes e insecticidas biológicos, lo que ha permitido que la carga química baje considerablemente.

4.6- Control de *Phyllophaga* spp. en hortalizas

Narración de Henry Guerreo, productor orgánico de hortalizas: Entre los años 2010 y 2011, en apariencia, por un exceso de aplicación de materia orgánica sin descomponer, se presentó un problema serio en la finca. El Joboto (*Phyllophaga* sp), llegó a niveles muy altos, más de 150 larvas por metro cuadrado, con un daño al cultivo del 98%, es decir pérdida total. En esos años un investigador norteamericano especialista en Fitopatología vino de Luisiana, Estados Unidos, a Costa Rica a dar unas charlas sobre suelos. En un recorrido por la zona, visitó la finca, encontrando el problema en su máxima gravedad. Al revisar el suelo encontró que algunos de los jobotos estaban parasitados por microorganismos nativos. Debido a un conocimiento sobre la reproducción de bacterias nativas (que adquirí con un especialista japonés), se inició en la finca, una estrategia de combate del Joboto; de la siguiente manera. Se cosechan los jobotos “enfermos” (parasitados), se maceran (se muelen) y fermentan con microorganismos nativos. Posteriormente se diluyen en agua a razón de 2 kg/200 L de preparado. Luego se aplica en volumen del 50%, es decir 300 litros por manzana. Ese año, en 2 meses se hicieron 3 aplicaciones, entre julio y setiembre cuando ya estaban creciendo las larvas (jobotos). Esta práctica dio buenos resultados. En el 2014, cuando llegó el producto Milky spore (*Bacillus popilliae*), a través de la investigación que estábamos haciendo con la Agencia del MAG y el apoyo de FITTACORI, la aplicación de ese año y la del 2015, dieron excelentes resultados. Se aplicó a razón de 8 galones por hectárea el primer año. Dependiendo de la respuesta y el nivel de la población de jobotos, se puede aplicar 4 galones el segundo año y 2 galones el tercer año, si hace falta.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería por medio de la Agencia de Extensión de Zarcero, recomienda lo siguiente para el manejo de *Phyllophaga* sp (<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1744.pdf>)

Para el combate de esta plaga se debe implementar una estrategia de manejo integrado, que involucra varias acciones a realizar:

Trampeo: En primer término, se recomienda en el mes de abril, con el inicio de las primeras lluvias, colocar trampas para la captura de adultos, de esta forma se trata de reducir la población. Existen muchas maneras de elaborar trampas para abejones. Se pueden hacer con estañones, llantas, recipientes plásticos o huecos en el suelo cubiertos con plástico. Se les coloca agua con jabón y especialmente una fuente de luz (son atraídos por ella). La luz violeta es de las que más eficiencia ha demostrado (figura 36).

En el mes de mayo, con el establecimiento de la época lluviosa, se debe encalar, de acuerdo con el resultado del análisis de suelo. Aplicar los hongos entomopatógenos: *Lecanicilium lecanii*, *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* (según recomendaciones técnicas). Hacer evaluaciones en los terrenos infestados de jobotos, al menos una vez por mes para llevar un registro. Se escarba con una pala de 10 a 15 cm de profundidad y se cuenta la cantidad de larvas presentes en un metro cuadrado, si existen más de 20, ya es una población que puede causar pérdidas económicas.

En el mes de junio, con los suelos húmedos, se debe hacer la aplicación de la bacteria *Bacillus popilliae*; el primer año a razón de 8 galones por hectárea, debe haber mucha humedad en el suelo y un buen nivel de materia orgánica. Si el segundo año es necesario, se aplican 4 galones por hectárea y 2 galones por hectárea el tercer año.



Izquierda: primera manifestación de Joboto parasitado por *Bacillus popilliae*. Derecha: larva presionada por los dedos, en un estado avanzado de parasitación.

Figura 48. Tomado de: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1744.pdf>

4.7- Consideración final: en general, la reducción en el uso de insecticidas se puede dar con un cuidado integral del sistema de producción agrícola, utilizando técnicas, estrategias y productos de muy variada índole, pero siempre buscando aumentar biodiversidad en el sistema finca, suelo y cultivo. Todo esto acompañado de medidas de control como el uso de repelentes botánicos, trampas, bioplaguicidas, conocimiento de los organismos benéficos y de las plagas, para buscar el equilibrio perdido por el uso constante de plaguicidas sintéticos. Los plaguicidas sintéticos forman parte de esta diversidad de medidas a aplicar, pero deben ser la última opción de uso dentro de un sistema racional. Se debe de volver la mirada a la agroecología, que busca que los agroecosistemas sean productivos económicamente, pero que además sean sustentables y resilientes. Hemos demostrado que en general, existen alternativas menos impactantes que los insecticidas de síntesis químicas, agrotóxicos, para todas las situaciones que enfrenta la práctica de la agricultura y otras actividades relacionadas con la producción de alimentos y bienes, con respecto a aquellos organismos que en muchas ocasiones hemos convertido en plagas. También se ha demostrado que existen experiencias muy exitosas en el manejo y control de plagas sin el uso de insecticidas químicos: dos cultivos principales en Costa Rica, caña de azúcar y palma aceitera, que debido a la aplicación de manejo agroecológico por medio de control biológico natural o aumentativo, han

reducido casi a cero la aplicación de insecticidas desde hace muchos años; otras experiencias se suman en cultivos como arroz, hortalizas y frutales. Si queremos cuidar a nuestro planeta, uno de los primeros pasos es ir retirando de nuestros campos, aquellas sustancias peligrosas que generan altos riesgos para la salud ecosistémica en general, de donde el ser humano es parte.

5- LITERATURA CITADA

- Agencia Japonesa de Cooperación Internacional [JICA]. (2007). *Guía del Manejo Integrado de Plagas (MIP) para técnicos y productores*. https://www.jica.go.jp/project/panama/0603268/materials/pdf/04_manual/manual_04.pdf
- Aragón, A., Trujillo, C., Morón, M., y López, F. (2008). Uso de trampas de luz fluorescente para el manejo de la gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 42 (2), 217-223. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n2/v42n2a9.pdf>
- Arancon, N., Galvis, P., Edwards, C., Yardim, E. (2004). The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost. *Pedobiología*. 47(5):736-740.
- Arboleya, J. (2019). Solarización: una técnica de manejo integrado de malezas y plagas en horticultura. *INIA Serie técnica*. <http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/st-245-2018.pdf>
- Badii, M., Landeros, J., y Cerda, E. (2015). Manejo Sustentable de Plagas o Manejo Integral de Plagas: Un apoyo al desarrollo sustentable. *Cultura Científica y Tecnológica*, (23). <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/423/403>
- Barrera, J., Montoya, P., y Rojas, J. (2006). Bases para la aplicación de sistemas de trampas y atrayentes en manejo integrado de plagas. In *Simposio de trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de Plagas de importancia económica*. Barrera J. F y P. Montoya (eds.) *Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur*. Manzanillo, Colima, México. Pp (pp. 1-16). https://www.researchgate.net/profile/Juan-Barrera-18/publication/237736490_Bases_para_la_aplicacion_de_sistemas_de_trampas_y_atrayentes_en_manejo_integrado_de_plagas/links/00b495276a570042d4000000/Bases-para-la-aplicacion-de-sistemas-de-trampas-y-atrayentes-en-manejo-integrado-de-plagas.pdf
- Bejarano, F. (2017). Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A.C. (RAPAM). Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/319515704/download>
- Bejarano, F., y Rojas-García, AE. (2023). Informe sobre clorpirifos en México. Razones para su prohibición, México, RAPAM. <https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2021/09/Informe-Clorpirifos-Mexico-RAPAM-IPEN-Digitalred.pdf>
- Bello, A., López, A., y Díaz, L. (2000). Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. *Memorias del Simposium Internacional de la Fresa Zamora, México*, 24-50. https://www.researchgate.net/profile/antonio-lopez-perez/publication/242215944_biofumigacion_y_solarizacion_como_alternativa

- s_al_bromuro_de_metilo/links/00463528f154d0e3fb000000/biofumigacion-y-solarizacion-como-alternativas-al-bromuro-de-metilo.pdf
- Blanco, H. (2004). *Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas*. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6481/A1933e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Blanco, M; Morera, R. y Loría, C. (2013). Evaluación de materiales de embolsado para el control de moscas de la fruta (*Anastrepha* sp) en guayaba taieanesa en Alajuela, Costa Rica. *Rev Entomol. Mex.* V12(2):1206-1212
- Blanco, Y., y Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos tropicales*, 28(2), 21-28. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217731003.pdf>
- Bravo, R., Zela, K., y Lima, I. (2020). Eficiencia de trampas pegantes de colores en la captura de insectos de hortalizas de hoja. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 61-66. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000100061&script=sci_arttext
- Brechelt, A. (2004). *El manejo ecológico de plagas y enfermedades*. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). RD.
- Brown, B.V., Schneider, S.A. & LaPolla, J. (2011). New North American species of *Pseudacteon* (Diptera: Phoridae), parasitic on *Nylanderia arenivaga* (Hymenoptera: Formicidae). *Annals of the Entomological Society of America*. 104: 37-38.
- Bucio, CM.; Díaz, FR., Martínez, OA. Y Torres, JJ. (2006). Efecto del ozono sobre la población microbiana del suelo y el crecimiento de plantas de fresa. *Terra Latinoam vol.34 no.2 Chapingo*. México. Consultado en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000200229&script=sci_arttext
- Burgos, A., Pacheco, J., Zamora, D. y Cánovas, J. (2019). Insectos benéficos asociados a plantas arvenses atrayentes en agroecosistemas del Piedemonte de la Orinoquia Colombiana. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/94267/1/CuadBio_56_01.pdf
- California Department of Pesticide Regulation [CDPR]. (2019). Agreement Reached to End Sale of Chlorpyrifos in California by February 2020. Consultado en: <https://www.cdpr.ca.gov/docs/pressrls/2019/100919.htm>
- Carballo, M. (2002). Manejo de insectos mediante parasitoides. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6533/A2023e.pdf?sequence=1>
- Castro, A. M., Tapias, J., Ortiz, A., Benavides, P., & Góngora, C. E. (2017). Identification of attractant and repellent plants to coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 164(2), 120-130. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/eea.12604>
- CENICAÑA. 1999. Informe anual. Macroproyecto Producción de Alta Sacarosa Estable. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali, CO. 114 p.
- CNCI (Centro Nacional de Control de Intoxicaciones de Costa Rica). (2020). Datos de Intoxicaciones con plaguicidas; casos reportados al CNCI en el año 2019, Costa Rica. CCSS.
- Cohen, E. (2001). Chitin synthesis and inhibition: a revisit. *Pest Management Science*. 57:946–950.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2023). Enciclopedia. Consultado en:

- https://enciclovida.mx/busquedas/resultados?nivel=%3D&cat=7000&busqueda=avanzada&id=2&por_pcookagina=50
- Cook, RJ y Veseth, RJ. (1991). *Weath Health Management*. APS Press, Minnesota, USA, 152p
- Coto-Umaña, F; Gómez.Gómez, R; Flores-Chaves, L. y González-Lutz, MI. (2021). Susceptibilidad de varias leguminosas de cobertura a los nematodos *Meloidogyne incognita* y *M. arenaria*. *Agronomía Costarricense* 45(1): 93-101.
- Cruz, M. (2016). *Guía sobre Manejo Integrado de Plagas*. https://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Control_mecanico_biologico.pdf
- De Oliveira, S. S.; Pires de M. A.; Maciel, C. Z.; Meissner, P. da Cunha C.C.; y Torres, B. P. 2000. Enfermedades del banano y su control en Brasil. Informe sobre el Taller Regional del Manejo Integrado de Plagas en Banano y Plátano. El Vigía, Venezuela, 9-13 de agosto de 1999, División de Producción y Protección Vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. http://www.fao.org/ag/agpp/IPM/weeds/download/ban_ven.pdf
- Díaz, G., López, J., Jiménez, J., Acosta, F., Otero, G., y Camacho, E. (2010). Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. Juss. *Agrociencia*, 44(7), 821-833. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952010000700008&script=sci_arttext
- Dong, X., Agarwal, M., Xiao, Y., Ren, Y., Maker, G., Yu, X. (2022). Ozone Efficiency on Two Coleopteran Insect Pests and Its Effect on Quality and Germination of Barley. *Insects*. 24;13(4):318. doi: 10.3390/insects13040318.
- ECHA. (2022) Chlorpyrifos Draft Risk Profile. Disponible en: <https://echa.europa.eu/documents/10162/8a51d7d9-e9a4-2513-e975-492fb70f825c>
- Espinoza, A., Vaquerano Castro, B., Torres, R., y Montiel, H. (2003). *Efectos de los plaguicidas en la salud y el ambiente en Costa Rica* (pp. 36-36). <https://www.bvs.sa.cr/php/situacion/plaguicidas.pdf>
- Flora de Costa Rica. (2023). Home. <https://floracostaricensis.myspecies.info/>
- Fontecha, A., Hernández, J., Salmerón, A., Benavente, A., Arias, S. y López, A. (2004). Efectos del uso de plásticos fotoselectivos sobre el desarrollo y la productividad del tomate en invernadero. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (868), 890-893. Consultado en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri/Agri_2004_868_890_893.pdf
- Fuhrmann, S., Winkler, M.S., Staudacher, P., Weiss, F.T., Stamm, C., Eggen, R.I., Lindh, C., Menezes-Filo, J., Baker, J., Ramírez-Muñoz, F., Gutiérrez-Vargas, R. y Mora, A.M. (2019). Exposure to pesticides and health effects in farm owners and workers from conventional and organic agricultural farms in Costa Rica: a study protocol. *JMIR Res Protoc*. 8(1):e10914. Disponible en: <https://www.researchprotocols.org/2019/1/e10914/>
- Garbarino, Snyder-Conn, Leiker, Hoffman. (2002). Contaminants in Arctic Snow Collected over Northwest Alaskan Sea Ice. *Water, Air, and Soil Pollution*, 139(1), 183–214. doi:10.1023/a:1015808008298.
- García-Munguía, AM, Contreras-Martínez RN, Ramos-Barreto, CA, Pérez-Sato, M, Gastélum Ferro, WK, Pérez-Cabrera, LE, Ibáñez-Martínez, A, García-Munguía, CA. (2016). Control biológico In Vitro de nematodos agalladores (*Meloidogyne*

- sp.) a base de quitosano y fluensulfone. *Revista Biológico Agropecuaria*, Tuxpan, Mexico 4 (1). <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v4i1.17>
- Giraldo, H. 1988. Manejo Integrado de Plagas. Experiencias de control biológico en Venezuela. **In:** Manejo y liberación en los cultivos del parásito *Trichogramma* spp. Programa Agropecuario CORPOVEN-FONAIAP. 57 p.
- Gonzalez, F., Rodríguez, C., Arroyo, A. y González, A. (2023). Detección con feromonas de *Duponchelia fovealis* Zeller en fincas freseras de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 51870-51870. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/51870>
- González Salazar, MG. y Luna Rodríguez, HF. (2020). *Evaluación del uso de madero negro (Gliricidia sepium) en el control de garrapata del género Rhipicephalus (Boophilus) microplus en el Centro de Practicas San Isidro Labrador de la UNA Sede Regional Camoapa*. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.
- Gortari, M., Hours, R. (2008). Fungal chitinases and their biological role in the antagonism onto nematode eggs. *A review Mycology Progress*. 7:221–238.
- Grossman, Joel. (1990). Las nuevas rotaciones de cultivos frustran los nematodos del nudo de la raíz. *Control de plagas de sentido común*. Invierno. 6p.
- Guillen C., Rodríguez A., Laprade S., Valle H., Segura R., Uva V., Sandoval J. (2010). *Biología y control de las cochinillas y escamas que atacan al banano*. CORBANA, S.A; Proyecto REPCAR. Hoja divulgativa N°. 5. Guápiles, Costa Rica.
- Gutiérrez, M. (2019). Parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) y porcentaje de parasitismo, en plantaciones de banano (Musa AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica. <http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/11111/1/44683.pdf>
- Gutiérrez, A; Robles, A; Santillán, C; Ortíz, M. y Cambero, O. (2013). Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el estado de Nayarit, México. CONACYT. Consultado en: <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/40>
- Hafiz, R; Waqas, A; Wahab, N; Mansur, A; Anwaar, A. y Nauman, K. (2021). A comprehensive review on chlorpyrifos toxicity with special reference to endocrine disruption: Evidence of mechanisms, exposures and mitigation strategies. *Sci. Total Environ.* 755. Consultado en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33059141/>
- Hammond, RB; Beck, T; Smith, JA; Amos, R; Barker, J; Moore, R; Siegrist, D; States, B, y Ward, B. (1999). Slugs in conservation tillage corn and soybeans in the eastern corn belt. *J. Ent. Sci.* 34(4):467-468
- Hoferkamp, L., Hermanson, M. H., Muir, DCG. (2010). Current use pesticides in Arctic media; 2000-2007. *The Science of the total environment*, 408(15), 2985–2994. doi:10.1016/j.scitotenv. 2009.11.038.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2016). *Trampas Para el control de plagas en los cultivos*. <http://repiica.iica.int/docs/B4170e/B4170e.pdf>
- Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas [IRET]. (2023). *Manual de Plaguicidas de Centroamérica*. IRET Universidad Nacional. Consultado en: <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/>
- Intagri. (2016). Control de Nematodos desde una Perspectiva Integral. Serie Fitosanidad Núm. 91. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. En:

- <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/control-de-nematodos-desde-una-perspectiva-integral>
- James RR. (2011). Potential of ozone as a fumigant to control pests in honeybee (Hymenoptera: Apidae) hives. *J Econ Entomol.* 104(2):353-9. doi: 10.1603/ec10385. PMID: 21510179.
- Jiménez, E. (2009). Métodos de control de plagas. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. <https://www.casadeinsecticidas.com.ar/imgprod/Metodos%20para%20control%20de%20plagas.pdf>
- Kagungi, J., Adipala, E., Ogenga-Latigo, MW., Kyamaniya, S. y Oyobo, N. (2000). Pest Management in Cowpea. Part 1. Influence of planting time and plant density on cowpeas field pest's infestation in eastern Uganda. *Crop Protection* 19:231-236.
- King, MA. y Aaron, KC. (2015). Organophosphate and Carbamate Poisoning. *Emerg med Clin N AM*, (33), pp.133-151. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2014.09.010>
- Landers, D. (2008). Western Airborne Contaminants Assessment Project (WACAP) Final Report, Volume I, The Fate, Transport, and Ecological Impacts of Airborne Contaminants in Western National Parks (United States of America). Retrieved from National Park Service, Oregon State University, United States Geological Survey, United States Forest Service - Department of Agriculture, University of Washington, Environmental Protection Agency. Consultado en: http://www.nature.nps.gov/air/Studies/air_toxics/wacap.cfm.
- León T., Jhonny. (2018). Evaluación de la funda protectora impregnada con Bifentrina sobre el daño de la "mancha roja" causado por *Chaetanaphotrips signipennis* en banano. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/5023>
- Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar [LAICA]. (2017). Catálogo de identificación de plagas del cultivo de caña de azúcar en Costa Rica. <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/pDthIzKFKUpmxMcZRAnjaIDqkCgLiWuY>
- López, G. (2012). Ventajas y desventajas de los plásticos degradables para su aplicación en la agricultura sustentable o ecológica. Especialización en Química Aplicada. Coahuila, México. Centro de Investigación en Química Aplicada. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/371/1/Gorgonio%20Lopez%20Tolentino.pdf>
- Lorenzo, V. (2014). La biofumigación y la solarización como alternativas al manejo de plagas del suelo. *Ciencia en su PC*, (1), 15-26. <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181331235002.pdf>
- Malais, M. y Ravensberg, W. (1991). La biología de las plagas de invernadero y sus enemigos naturales: conocer y reconocer. Rotterdam, Koppert Biological Systems. 109p.
- Markov, D. y Bocles, I. (2021). Efecto de los agrotóxicos en el desarrollo embrionario y en el sistema nervioso infantil. En "Efecto de los Agrotóxicos en la Salud Infantil" Sociedad Argentina de Pediatría. CABA. Argentina.
- Mareggiani, G. (2001). Manejo de insectos plaga mediante sustancias semioquímicas de origen vegetal. Consultado en: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6534/A1756e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mexzón, R. y Chinchilla, C. (2003). Especies vegetales atrayentes de la entomofauna benéfica en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. *Palmas* 24 N°1:33-57
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2016). Manual técnico del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2017). Manual del cultivo de papa en Costa Rica (*Solanum tuberosum* L.). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10931.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2017). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8205.pdf>
- Morantes, J. y Renjifo, L. (2018). Cercas vivas en sistemas de producción tropicales: una revisión mundial de los usos y percepciones. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 739-753. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442018000200739&script=sci_arttext
- Motta, P., y Murcia, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 77-90. <https://www.redalyc.org/pdf/928/92819767006.pdf>
- Muñoz, M. (2018). Guía para la identificación de las principales plagas y enfermedades en el cultivo de piña. https://cica.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2020/11/Manual-de-plagas-Pi%C3%B1a-CICA-08-10-20191_compressed.pdf
- Murgas, A. (2008). *Diversidad y herbivoría de insectos en cuatro especies de árboles nativos en monocultivos y cultivos mixtos en Sardinilla, provincia de Colón, Panamá* [Tesis de Doctorado, Universidad de Panamá]. http://up-rid.up.ac.pa/2299/1/alonso_santos.pdf
- Naturalista Costa Rica. (2023). NaturalistaCR. <https://costarica.inaturalist.org/>
- OPS. (2003). Organización Panamericana de la Salud. Efectos de los plaguicidas en la salud y el ambiente en Costa Rica / Organización Panamericana de la Salud, Ministerio de Salud. San José, C.R 36p
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria [OIRSA]. (2001). *Manual técnico integrado de plagas*. <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/Oirsa/50000083.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. Aprovechar la automatización de la agricultura para transformar los sistemas agroalimentarios. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9479es>
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). (2018). Patente WO2018/130235 A1. Consultado en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/49/02/95/614937b160a8ca/WO2018130235A1.pdf>
- Orozco, M., Farias, J., y López, J. (2002). *Evaluación de coberturas plásticas para el manejo de plagas en el occidente de México*. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6258/A2043e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Owens, K. (2000). Alternatives to Using Chlorpyrifos. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-015-0513-7>
- PAN E. (2023). Children are the first victims of neurotoxic pesticides. Consultado en: <https://www.pan-europe.info/blog/children-are-first-victims-neurotoxic-pesticides>

- PANNA (Pesticide Action Network North America). (2023). Chlorpyrifos. Consultado en: <https://www.panna.org/resources/chlorpyrifos-facts/>
- Pacheco, M., Reséndiz, J., y Arriola, V. (2019). Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 4-32. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322019000600004&script=sci_arttext
- Peet, María. (1996). *Prácticas sostenibles para la producción de hortalizas en el Sur*. Focus Publishing, Newburyport, MA. págs. 75—77.
- Peña, G. (2016). Origen y Distribución del Neem. *Desarrollo Local De Las Comunidades Agrícolas Rurales*, 18. <https://ecotec.edu.ec/content/uploads/investigacion/libros/Desarrollo-comunidades-agricolas-rurales.pdf#page=24>
- Pérez, E. (2012). Plaguicidas botánicos: una alternativa a tener en cuenta (No. 3194). <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209125190002.pdf>
- Pérez, N., Infante, C., Rosquete, C., Ramos, A., y González, C. (2010). Disminuyendo la relevancia de los plaguicidas. *Alternativas a su uso. Agroecología*, 5, 79-87. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/160601/140471>
- Piedra, R., Meckbel, J., Aguilar, E. y Brenes, M. (2008). Eficacia biológica de cuatro nematocidas en el combate de nematodos (*Pratylenchus* sp. y *Meloidogyne* sp.) que afectan el cultivo de ñame (*Dioscorea rotundata*). *Alcances Tecnológicos*, Año 6, N°1:61-71.
- Plowes, R.M; Becnel, J.J; LeBrun, E.G; Oi, D.H; Valles, S.M; Jones, N.T. y Gilbert, L. E. (2015). *Myrmecomorba nylanderiae* gen. et sp. nov., a microsporidian parasite of the tawny crazy ant *Nylanderia fulva*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 129: 45–56.
- Pub Chem. (2023). Compound: Chlorpyrifos. Consultado en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Chlorpyrifos#section=InChIKey>
- Ramírez, F.; Berrocal, S.; Fournier, M.L.; de la Cruz, E; Chaverri, F; Echeverría, S.; Moraga, G.; Solano, K.; Alfaro, A.; Pinnock, M., Calvo, A.; Ruedert, C.; Orozco, M. (2016). Las buenas prácticas agrícolas en el uso y manejo de agroquímicos en la zona hortícola de Zarcero, Alajuela. Informe final de proyecto para el Servicio Fitosanitario del Estado del Ministerio de Agricultura y Ganadería. IRET-UNA. Heredia. 142 p
- Ramírez, F., Fournier, M. L., Ruedert, C. e Hidalgo, C. (2014). “Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica”. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 339-345.
- Rivera, V. J., Flores, A. J., & y Castillo, C. O. (s.f.). Identificación de cumarina en hojas y raíz de *Gliricidia sepium* con potencial para repeler pulgas, y matar roedores. Farmacia UNIBE. Obtenido de <https://unibe.ac.cr/revistafarmacia/1111-identificacion-de-cumarina-en-hojas-y-raiz-de-gliricidia-sepium-con-potencial-pararepeler-pulgas-y-matar-roedores/>
- Rodríguez, L., Berrocal, A., Campos, R., y Madriz, M. (2020). Determinación de la actividad biocida de extractos vegetales para el combate de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 117-129. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4373/5000
- Rodríguez-Kabana, R. (1991). Control biológico de nematodos parásitos de plantas. *Nematropica*. 21(1):111-122.
- Routray, S., Kabi, M., Debnath, D., & Palei, S. (2021). Potential of Lantana camara L. extracts as biopesticide against insect pests. *Journal of Entomological*

- Research, 45(3), 461-469.
<https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:jer&volume=45&issue=3&article=012>
- Ruggirello, R. M., Hermanson, M. H., Isaksson, E., Teixeira, C., Forsström, S., Muir, DCG, Meijer, HAJ. (2010). Current use and legacy pesticide deposition to ice caps on Svalbard, Norway. *Journal of Geophysical Research*, 115(D18). doi:10.1029/2010jd014005.
- Sagiv, S.K.; Harris, M.H.; Gunier, R.B.; Kogut, K.R.; Harley, K.G.; Deardorff, J.; Bradman, A.; Holland, N.; Eskenazi, B. (2018). Prenatal Organophosphate Pesticide Exposure and Traits Related to Autism Spectrum Disorders in a Population Living in Proximity to Agriculture. *Environ. Health Perspect.* V126, N°4
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). (2023). Consulta de registro de plaguicidas. En: <https://app.sfe.go.cr/SFEInsumos/aspx/Insumos/ConsultaRegistroPlaguicida.aspx>
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). (2022). Informe del año 2021. Análisis de residuos de plaguicidas realizados a vegetales frescos. Unidad de Control de Residuos de Agropecuarios. Departamento de Agroquímicos y Equipos. En: *Informe_de_residuos_de_plaguicidas_2021.pdf* (sfe.go.cr)
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). (2021). Informe del año 2020. Análisis de Residuos de Plaguicidas realizado a Vegetales Frescos. Unidad de Residuos de Agroquímicos. Departamento Agroquímicos y Equipos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. Junio, 25p.
- Silva, P., Vergara, W., y Acevedo, E. (2015). Rotación de cultivos. *Rastrojo de cultivos y residuos forestales. Programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la región del Bio-Bio*, 48-67. <https://agrohuertos.com/wp-content/uploads/2020/10/NR40199.pdf>
- Slavica, V., Dubravko, B., Milan, J. (2018). Acute organophosphate poisoning: 17 years of experience of the National Poison Control Center in Serbia. *Toxicology*.409(March):73-9.
- Slotkin TA, Seidler FJ, Fumagalli F. (2007). Exposure to organophosphates reduces the expression of neurotrophic factors in neonatal rat brain regions: similarities and differences in the effects of chlorpyrifos and diazinon on the fibroblast growth factor superfamily. *Environ Health Perspect.*;115(6):909-16.
- Solano, M. (2019). Parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) y porcentaje de parasitismo, en plantaciones de banano (*Musa AAA*, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica. Tesis Lic. UCR. Obtenido en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/11111>
- Solano, K., Wesseling, C., Monge, P., Ruedert, C., Delclós, G.L. (2005). Análisis de residuos de plaguicidas en polvo interior en casas y escuelas en Costa Rica ubicadas cerca de plantaciones de banano y piña. In: *Libro de Resúmenes: III Conferencia Salud Ocupacional y Ambiental en las Américas 2005*. Alajuela, Costa Rica 6 – 9 de febrero. p 122
- Souza, Javier. (2023). La agroecología como paradigma civilizatorio para reinsertarnos en la naturaleza; análisis de las características y efecto socioambiental del insecticida clorpirifos. CETAR-RAPAL. Buenos Aires, Argentina. 208p
- Tello, C. (2010). Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos: prácticas culturales para una agricultura sostenible (No. 635.0496 O7). https://www.researchgate.net/publication/259621583_Organismos_para_el_co

- ntrol_de_patogenos_en_los_cultivos_protegidos_Practicas_culturales_para_un_a_agricultura_sostenible
- UNEP. (2023). Database of Notifications of Final Regulatory Action, Rotterdam Convention. Disponible en: <http://www.pic.int/Procedures/NotificationsofFinalRegulatoryActions/Database/tabid/1368/language/enUS/Default.aspx>
- Van Driesche, R., Hoddle, M., Center, T., Ruíz, C. E., Coronada, B. J., y Manuel, A. J. (2007). Control de plagas y malezas por enemigas naturales (No. 632.96 V33). US Department of Agriculture, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. <https://www.zin.ru/labs/insects/Hymenopt/personalia/Myartseva/pdf/2007a.pdf>
- van Wendel de Joode B, Mora AM, Lindh CH, Hernández-Bonilla D, Córdoba L, Wesseling C, Hoppin JA, Mergler D. (2016). Pesticide exposure and neurodevelopment in children aged 6-9 years from Talamanca, Costa Rica. *Cortex*. 85:137-150. Epub. PMID: 27773359. Encontrado en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27773359/>
- van Wendel de Joode, B., Barraza, D., Ruepert, C., Mora, A. M., Córdoba, L., Öberg, M., & Lindh, C. H. (2012). Indigenous children living nearby plantations with chlorpyrifos treated bags have elevated 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCPy) urinary concentrations. *Environmental Research*.
- Vargas, Elidier. (2022). Uso aparente de plaguicidas en la agricultura de Costa Rica. PNUD. 84 p
- Vázquez, L. (2011) La cerca viva perimetral de la finca como práctica agroecológica en el manejo de plagas. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Vazquez-50/publication/274312508_Capitulo_4_La_cerca_viva_perimetral_de_la_finca_como_practica_agroecologica_en_el_manejo_de_plagas/links/551b0060cf2fdce8438473e/Capitulo-4-La-cerca-viva-perimetral-de-la-finca-como-practica-agroecologica-en-el-manejo-de-plagas.pdf
- Vilaseca, C. J., Baptiste, L. G., & Ávila, A. L. (2008). Incidencia de los márgenes sobre el control biológico natural de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en cultivos de arroz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 45-54. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5624736>
- Villalobos, J. (2018). Control biológico de *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) en rastrojos de piña, con el parasitoide *Spalangia endius* (Hymenoptera: pteromalidae) como parte del manejo agroecológico de plagas, en Pital de San Carlos, Costa Rica. Descargado de: <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14235/Control%20biol%203%20de%20stomoxys%20calcitrans%20en%20rastrojos%20de%20pi%c3%b1a%20-%20Jairo%20Trevi%c3%b1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang, KH., McSorley, R. y Gallaher, RN. (2004). Effect of *Crotalaria juncea* Amendment on Squash Infected with *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 36(3):290–296. 2004
- Watts, M. (2012). Clorpirifos: Un posible COP a nivel global. Pesticide Action Network Norteamérica (PANNA), 2-3. https://rap-al.org/wp-content/uploads/2017/09/Clorpirifos_Rev_-1.pdf
- Wolejko, E; Lozowicka, B; Jablonska-Trypuc, A; Pietruszynska, M. y Wydro, U. (2022). Chlorpyrifos Occurrence and Toxicological Risk Assessment: A Review. *Int J Environ Res Public Health*. 19(19): 12209.