

Los **P**laguicidas **A**ltamente **P**eligrosos en Costa Rica: Plan de Acción sobre **PAPs** Informes Técnicos IRET N° 53

Fernando Ramírez Muñoz



Acerca del autor

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 International Pollutants Elimination Network (IPEN) 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.

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 SAICM

El Enfoque estratégico para la gestión de productos químicos a nivel internacional, conocido internacionalmente por su acrónimo inglés SAICM, es un acuerdo voluntario no vinculante jurídicamente desarrollado en el Marco del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para proteger la salud humana y el medio ambiente.

La aprobación del Enfoque Estratégico por la Conferencia Internacional sobre Gestión de Productos Químicos en Dubai el 6 de febrero de 2006, fue el resultado de un proceso de negociación en que participaron los representantes de gobiernos, organizaciones intergubernamentales y la sociedad civil.

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, Fernando Bejarano
coordinacion@rapam.org

El contenido de esta publicación es responsabilidad del autor.

668.65097286
R173p Ramírez Muñoz, Fernando
 Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en Costa Rica: plan de
 Acción sobre PAPs.
 / Fernando Ramírez Muñoz. -- Primera edición. -- Heredia, Costa
Rica, IRET-UNA, 2023, 1 recurso en línea (73 páginas, ilustraciones a color:
PDF. -- (Informes Técnicos IRET; n° 53)

ISBN 978-9968-924-52-8.

1. PLAGUICIDAS 2. COSTA RICA 3. AGRICULTURA 4. IMPACTO
AMBIENTAL 5. HERBICIDAS 6. INSECTICIDAS 7. SALUD OCUPACIONAL 8.
TOXICOLOGÍA 9. INSECTOS 10. SERES HUMANOS I. Ramírez Muñoz,
Fernando II. UNA III. IRET. IV. SALTRA. V. Serie.

Como citar este documento:

Ramírez Muñoz, F. (2023). Los plaguicidas altamente peligrosos en Costa Rica: plan de acción sobre PAPs. IRET-UNA.

Más información en:

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

framirez@una.ac.cr

Indice

	Página
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
1 PAPs en Costa Rica.....	10
Listado de plaguicidas altamente peligrosos en Costa Rica al 2022	12
2 El SAICM	18
3 Criterios establecidos por FAO y OMS	19
4 Criterios (adicionales) propuestos por PAN	21
5 El Código de conducta sobre la gestión de plaguicidas y las directrices sobre los PAPs.....	24
6 Priorización de sustancias a restringir o prohibir	28
6.1 Clorpirifos	28
6.2 Los insecticidas neonicotinoides	31
6.2.1 Imidacloprid	36
6.2.2 Tiametoxan	37
6.2.3 Acetamiprid	37
6.2.4 Tiacloprid	38
6.2.5 Clotianidina	38
6.2.6 Dinotefuran	38
6.2.7 Nitenpyram	38
6.2.8 Nithiazine	39
6.3 Fipronil	39
6.4 MSMA	39
6.5 Mancozeb	41
6.6 Paraquat	43
6.7 Glifosato	45
6.8 Clorotalonil	50
6.9 Sulfluramida	53
7 Alternativas generales a los PAPs	54
8 Conclusiones	59
9 Literatura citada	61
10 Anexos	72

Plan de Acción sobre PAPs. Costa Rica.

Resumen

Este documento resume el Plan de Acción sobre los Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAPs), como una propuesta para las autoridades regulatorias y una guía para usuarios, consumidores, ONGs y estudiantes, en el campo de los plaguicidas de uso agrícola, para la toma de decisiones sobre uso, exposición, riesgos, cuidados en su manipulación, regulación y alternativas para reducirlos o eliminarlos. Primero se revisa el concepto de PAPs y los criterios que se establecieron para definirlos como tales, la historia de cómo por varios mecanismos a nivel internacional, se llegó a la necesidad de buscar la regulación, restricción o prohibición de algunos plaguicidas que, por su capacidad de producir toxicidad humana, aguda o crónica, y por sus características fisicoquímicas, pueden afectar el ambiente o grupos de organismos muy importantes para la sobrevivencia humana.

Se presenta un cuadro con los nombres de los plaguicidas considerados PAPs que se encuentran registrados o por registrar en Costa Rica para uso agrícola, divididos en grupos con las características de toxicidad en salud (aguda, crónica), toxicidad ambiental y la inclusión en algún convenio internacional que los regule. Además, se les asigna una calificación de acuerdo con el número de grupos en que se incluyen de acuerdo con los criterios PAPs.

A partir de esta lista extensa de PAPs usados en el país, se caracterizan, documentan y priorizan las sustancias que, desde el punto de vista del Proyecto “*HHP: Phase out and alternatives in Costa Rica*”, creemos que es necesaria una acción inmediata para su prohibición, dentro de un marco general de ir retirando del mercado y de nuestros campos a todos los plaguicidas considerados PAPs.

Se espera que este documento sea considerado por las autoridades competentes y que sirva como un insumo más para el cambio de las políticas gubernamentales en Costa Rica, que han permitido que entren al mercado plaguicidas que pueden causar un enorme daño a la salud de la población, afectar en forma relevante la biodiversidad y provocar contaminación de los recursos propios del medio ambiente.

Action Plan on HHP. Costa Rica

Abstract

This document summarizes the Action Plan on Highly Hazardous Pesticides (HHP), as a proposal for regulatory authorities and a guide for users, consumers, NGOs and students in the field of pesticides for agricultural use, for decision-making on use, exposure, risks, handling care, regulation and alternatives to reduce or eliminate them. First, the concept of HHP and the criteria that were established to define them as such are reviewed, as well as the history of how through various mechanisms at the international level, the need to seek the regulation, restriction or prohibition of some pesticides that, due to their capacity to produce acute or chronic human toxicity, and due to their physicochemical characteristics, they can affect the environment or groups of organisms that are very important for human survival.

A table is presented with the names of pesticides considered HHP that are registered or to be registered in Costa Rica for agricultural use, divided into groups with the characteristics of health toxicity (acute, chronic), environmental toxicity and inclusion in some agreement. international law that regulates them. In addition, they are assigned a rating according to the number of groups in which they are included according to the HHP criteria.

From this extensive list of HHP used in the country, the substances that, from the point of view of the Project: *HHP: Phase out and alternatives in Costa Rica*, we believe immediate action is necessary for its prohibition, are characterized, documented, and prioritized, within a general framework of gradually withdrawing from the market and from our fields all pesticides considered HHP.

It is hoped that this document will be considered by the competent authorities and that it will serve as one more input for the change in government policies in Costa Rica, which have allowed pesticides to enter the market that can cause enormous damage to the health of the population. significantly affect biodiversity and cause pollution of the natural resources of the environment.

Los Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAPs)

Introducción

La agricultura en Costa Rica permite la obtención de un sin número de productos agrícolas de importancia alimenticia y económica, como hortalizas, frutas, tubérculos, granos y cereales, entre otros. El aumento de la población mundial demanda una creciente producción de alimentos en el mismo suelo y muchas veces, la respuesta inmediata a esa coyuntura es la intensificación de la agricultura industrial, con el uso masivo de plaguicidas a que esto conlleva, del cual nuestro país no es la excepción.

En el mundo se utilizan más de 1000 plaguicidas (OMS, 2021) para controlar y erradicar plagas, enfermedades y arvenses, con propiedades y efectos toxicológicos muy diversos. Según datos de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), para el año 2015 el uso promedio de plaguicidas, como ingrediente activo (i.a.) por superficie de tierras de cultivo para Costa Rica, fue de 24,36 kg i.a./ha, ocupando el cuarto lugar después de Bahamas (80,26), Barbados (27,9) y Maldivas (25,72) (FAO, 2018a); mientras que el promedio de uso anual entre 2012 y 2020, según Vargas (2022), fue de 34,45 Kg i.a./ha/año.

La alerta mundial por la excesiva aplicación de sustancias químicas en los campos agrícolas, como medida de fitoprotección, genera preocupación en diversos sectores de la población, incluidas instancias gubernamentales y no gubernamentales. Por ese motivo, se han

creado normas y acuerdos a nivel internacional: 1) Convenio de Estocolmo, de 2011, cuyo objetivo es eliminar o restringir la producción y la utilización de contaminantes orgánicos persistentes (COP's), para proteger la salud y el medio ambiente. 2) Convenio de Rotterdam, de 2004, plasmado en el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional (PIC) 3) El Protocolo de Montreal para la protección de la capa de ozono. También la sociedad civil representada desde 1985 por la Red de Acción en Plaguicidas (PAN por sus siglas en inglés de *Pesticide Action Network*), ha hecho llamados a adoptar medidas internacionales efectivas para la eliminación de los PAPs (HHP por sus siglas en inglés de *Highly Hazardous Pesticides*).



PAN creó una lista de i.a. PAPs considerando criterios de la FAO, la Organización Mundial de la Salud (OMS),

el Sistema Global Armonizado (SGA) y otros organismos adicionales.



Los criterios para identificar los plaguicidas considerados PAPs son: alta toxicidad aguda, efectos tóxicos a largo plazo (crónicos) para el ser humano, alteración endocrina, peligro ambiental, riesgos para los servicios ecosistémicos (por ejemplo, toxicidad para las abejas) y aquellos que son causa de una alta incidencia de efectos adversos graves o irreversibles (PAN, 2022). Algunos de estos criterios se encuentran como regulaciones internacionales manifestadas en los convenios de Estocolmo, de Rotterdam y el Protocolo de Montreal.



El Código Internacional de Conducta sobre Manejo de Plaguicidas, aprobado por la FAO y la OMS en 2013, define los PAPs como sigue:

“Plaguicidas altamente peligrosos significa plaguicidas conocidos por presentar niveles particularmente altos de peligro agudo o crónico para la salud o el medio ambiente, conforme a los sistemas de clasificación aceptados a nivel internacional, como los de la OMS o del SGA, 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” (PAN, 2022).

El concepto de PAPs es una nueva categoría normativa que emerge en el contexto del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM) y el Código Internacional de Conducta sobre la Gestión de Plaguicidas, ambos de carácter voluntario. En este ámbito han participado los gobiernos, organismos especializados de la ONU, la industria y organizaciones de la sociedad civil.

En este documento se compara la lista de PAPs de PAN Internacional con los i.a. de plaguicidas autorizados o registrados para uso agrícola por las autoridades competentes de Costa Rica.

El uso de los PAPs, por las características que poseen, representa un grave riesgo a la salud humana y al medio ambiente, y vulnera un conjunto de derechos humanos, como son el derecho a la vida,

al disfrute del más alto nivel posible de salud, a la protección de los niños, de los trabajadores y al derecho constitucional de tener un medio ambiente sano y equilibrado, y a una alimentación adecuada, entre otros. Esto lo han reconocido los relatores especiales de derechos humanos de las Naciones Unidas en el tema de sustancias químicas y desechos peligrosos.

Por esto, el objetivo principal de este documento es aportar información base sobre las diferentes sustancias PAPs que

Costa Rica consume, cantidades y riesgos que conlleva su uso, para buscar un programa nacional de reducción y prohibición de este tipo de sustancias e ir haciendo el cambio necesario del paradigma de producción, hacia las alternativas agroecológicas en el manejo de plagas de la producción agropecuaria y forestal.



1. PAPS en Costa Rica

En el cuadro 1 se enlistan aquellos plaguicidas de uso agrícola, registrados o por registrar en Costa Rica, con características PAPS determinadas por FAO/OMS/PAN (ver criterios definidos por FAO y OMS en la página 19 y los criterios adicionales definidos por PAN en la página 21).

El cuadro se divide en 4 grupos de características:

1. Toxicidad aguda al Ser humano: se toma en cuenta la clasificación de toxicidad de la OMS, que incluye solo los plaguicidas de etiqueta roja (Ia y Ib); además, el criterio de PAN sobre la fatalidad de la sustancia formulada al ser inhalada.
2. Toxicidad crónica al Ser humano: se utiliza la clasificación de varias agencias internacionales como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), SGA, Unión Europea (UE) y Japón, OMS (Agencia Internacional para el Estudio del Cáncer, IARC por sus siglas en inglés): SGA carcinogénico 1A y 1B, mutagénico 1A y 1B, efectos reproductivos 1A, 1B, C2 y R2.
3. Toxicidad ambiental: se utilizan criterios de organizaciones especializadas en investigación ecotoxicológica. Sustancias muy bioacumulables (factor de bioconcentración o BCF

>5000); muy persistentes en agua (vida media > 60 días), en suelo o sedimentos (vida media > 180 días); muy tóxicas a organismos acuáticos, persistentes en agua (LC o EC₅₀ <0,1 mg/l para *Daphnia* spp); altamente tóxicas para abejas (< 2 µg/ abeja).



4. La pertenencia de la sustancia o de la formulación a alguno de los acuerdos internacionales (Convenio de Estocolmo, Convenio de Rotterdam y Protocolo de Montreal).

A la sustancia se le asigna un valor de 1 al cumplir un criterio, pero dentro de cada grupo se le califica con máximo de 1. Luego se suma la calificación de cada grupo y el número se expresa en letras rojas. A mayor valor de calificación de la sustancia, significa que ésta va a producir una mayor afectación.

Para Costa Rica, al 2022, se identificaron 127 plaguicidas (i.a.) registrados para uso en los campos agrícolas considerados PAPS, 6 i.a. en proceso adelantado de registro, de los cuales el sedaxane ya posee un registro de grado técnico (27/9/2022); una sustancia, bromuro de metilo, sin registros de uso agrícola vigentes, no prohibida en el país pero que

eventualmente se usa en procesos de exportación de bienes como madera. Además, un i.a. (tiram) con ciertas formulaciones consideradas dentro del anexo III del Convenio de Rotterdam. Todo esto da un total de 135 i.a. considerados PAPs, de los cuales, 96 se encuentran prohibidos en al menos otro país.

En cuanto a toxicidad aguda, en Costa Rica se utilizan 9 i.a. clasificados como “Extremadamente tóxicos” (Ia), 9 i.a. “Altamente tóxicos” (Ib) y 19 i.a que son fatales si se inhalan (cuadro 1A en Anexos).

Con respecto a toxicidad crónica, en nuestro país se utilizan 35 plaguicidas considerados por EPA o por IARC como probablemente carcinogénicos y una sustancia (el herbicida MSMA) como cancerígena (cuadro 2A en Anexos). Además, 22 i.a. se consideran disruptores endocrinos, 14 con efectos reproductivos y 3 con la capacidad de ser mutagénicos.

En la parte de sustancias con efectos ambientales, en Costa Rica se usan 49 i.a. considerados altamente tóxicos para abejas, 13 i.a. muy tóxicos para

organismos acuáticos, 9 i.a. muy persistentes en agua, suelo o sedimentos y 5 sustancias muy bioacumulables en organismos (cuadro 3A en Anexos).



Además, existen sustancias que cumplen con parámetros o características para considerarlas dentro de varios grupos. Por ejemplo, el cadusafos es un i.a. con toxicidad aguda alta (Ib), muy persistente, biocumulable y altamente tóxico para abejas; otro insecticida organofosforado, el metamidofos, es altamente tóxico de forma aguda (Ib), fatal si se inhala, altamente tóxico para abejas y se encuentra incluido en un convenio ambiental (PIC) (ver cuadros en anexos).

Cuadro 1. Lista de plaguicidas altamente peligrosos registrados en Costa Rica al 2022

	Grupos			1: Toxicidad Aguda	2: Toxicidad Crónica									3: Toxicidad Ambiental				4: Convenciones			
	Número CAS	Ingrediente activo	Suma max=1 Grupo 1-4	OMS Ia	OMS Ib	Fatal si se inhala max = 1	EPA carcinogénico	IARC carcinogénico	EU GHS carcin. (1A, 1B)	IARC probab carcinog.	EPA probable carcinog.	EU GHS muta (1A, 1B)	EU GHS repro (1A, 1B)	Disruptor endocrino max = 1	Muy bio acumulable	Muy persistente	Muy tóxico org. acuat.	Altamente tóxico abejas max = 1	Protocolo Montreal	PIC Rotterdam	POP Estocolmo max = 1
1	542-75-6	1,3-Dicloropropeno	1			0				1				1			0				0
2	94-75-7	2,4-D	1			0							1	1			0				0
3	71751-41-2	Abamectina	2		1	1								0			1	1			0
4	30560-19-1	Acefato	1			0								0			1	1			0
5	34256-82-1	Acetocloro	1			0						1	1	1				0			0
6	10043-35-3	Acido bórico	1			0						1	1	1				0			0
7	82560-54-1	Benfuracarb	1			0								0			1	1			1
8	17804-35-2	Benomil	2			0					1	1		1				0		1	1
9	155569-91-8	Benzoato emamectina	1			0								0	1	1	1	1			0
10	82657-04-3	Bifentrina	2			0							1	1			1	1			0
11	56073-10-0	Brodifacouma	1	1		1								0				0			0
12	28772-56-7	Bromadiolona	1	1		1								0				0			0
13	74-83-9	Bromuro de metilo	1			0								0				0	1		1
14	23184-66-9	Butaclor	1			0				1				1				0			0
15	95465-99-9	Cadusafos	2		1	1								0	1	1	1	1			0
16	133-06-2	Captan	1			0				1			1	1				0			0
17	63-25-2	Carbaril	2			0				1			1	1			1	1			0
18	10605-21-7	Carbendazina	1			0					1	1		1				0			0
19	55285-14-8	Carbosulfan	2			1	1							0			1	1			0
20	68359-37-5	Ciflutrina Beta	2		1	1	1							0		1	1	1			0
21	76703-62-3	Cihalotrina Gamma	1			0								0			1	1			0
22	91465-08-6	Cihalotrina Lambda	3			1	1						1	1			1	1			0

	Número CAS	Ingrediente activo	Grupos				1: Toxicidad Aguda	2: Toxicidad Crónica								3: Toxicidad Ambiental				4: Convenciones			
			Suma max=1 Grupo 1-4	OMS Ia	OMS Ib	Fatal si se inhala max = 1	EPA carcinogénico	IARC carcinogénico	EU GHS carcin. (1A, 1B)	IARC probable	EPA probable carcinog.	EU GHS muta (1A, 1B)	EU GHS repro (1A, 1B)	Disruptor endocrino	max = 1	Muy bio acumulable	Muy persistente	Muy tóxico org. acuat.	Altamente tóxico abejas max = 1	Protocolo Montreal	PIC Rotterdam	POP Estocolmo	max = 1
23	52315-07-8	Cipermetrina	1			0							0				1	1				0	
24	67375-30-8	Cipermetrina Alfa	1			0							0				1	1				0	
25	65731-84-2	Cipermetrina Beta	1			0							0				1	1				0	
26	52315-07-8	Cipermetrina Zeta	2		1	1							0				1	1				0	
27	94361-06-5	Ciproconazol	1			0							1					0				0	
28	500008-45-7	Clorantraniliprole	1			0							0		1	1		1				0	
29	122453-73-0	Clorfenapir	1			0							0				1	1				0	
30	76-06-2	Cloropicrina	1			1	1						0					0				0	
31	1897-45-6	Clorotalonil	2			1	1				1		1					0				0	
32	2921-88-2	Clorpirifos	1			0							0				1	1				0	
33	5836-29-3	Coumatetralil	1		1	1							0					0				0	
34	1596-84-5	Daminozide	1			0					1		1					0				0	
35	52918-63-5	Deltametrina	2			0							1	1			1	1				0	
36	80060-09-9	Diafentiuron	1			0							0				1	1				0	
37	333-41-5	Diazinon	2			0				1			1				1	1				0	
38	62-73-7	Diclorvos = DDVP	2		1	1	1						0				1	1				0	
39	82-66-6	Difacinona	1	1		1							0					0				0	
40	60-51-5	Dimetoato	1			0							0				1	1				0	
41	165252-70-0	Dinotefuran*	1			0							0				1	1				0	
42	85-00-7	Diquat	1			1	1						0					0				0	
43	298-04-4	Disulfoton	1	1		1							0					0				0	
44	330-54-1	Diuron	1			0				1			1					0				0	
45	133855-98-8	Epoxiconazol	1			0				1		1	1	1				0				0	
46	13194-48-4	Etoprofos	2	1		1	1			1			1					0				0	

	Número CAS	Ingrediente activo	Grupos				1: Toxicidad Aguda	2: Toxicidad Crónica								3: Toxicidad Ambiental				4: Convenio Internacional			
			Suma max=1 Grupo 1-4	OMS Ia	OMS Ib	Fatal si se inhala max = 1	EPA carcinogénico	IARC carcinogénico	EU GHS carcin. (1A, 1B)	IARC probab carcinog.	EPA probable carcinog.	EU GHS muta (1A, 1B)	EU GHS repro (1A, 1B)	Disruptor endocrino	max = 1	Muy bio acumulable	Muy persistente	Muy tóxico org. acuat.	Altamente tóxico abejas max = 1	Protocolo Montreal	PIC Rotterdam	POP Estocolmo	max = 1
47	80844-07-1	Etofenprox	1			0							0		1	1	1	1				0	
48	2593-15-9	Etridiazol = Terrazole	1			0			1				1				0					0	
49	22224-92-6	Fenamifos	2	1	1	1							0				1	1				0	
50	114369-43-6	Fenbuconazol	1			0						1	1				0					0	
51	122-14-5	Fenitrotrion	2			0						1	1				1	1				0	
52	900-95-8	Fentin acetato	2		1	1						1	1				0					0	
53	14484-64-1	Ferbam	1		1	1							0				0					0	
54	120068-37-3	Fipronil	1			0							0			1	1					0	
55	90035-08-8	Flocuamafen	1	1	1	1							0				0					0	
56	69806-50-4	Fluazifop p butil	1			0					1		1				0					0	
57	272451-65-7	Flubendiamida *	1			0							0	1	1		1					0	
58	101463-69-8	Flufenoxuron	1			0							0	1		1		1				0	
59	117337-19-6	Flutiacet metil	1			0			1				1				0					0	
60	133-07-3	Folpet	1			0			1				1				0					0	
61	298-02-2	Forato	2	1		1							0				1	1				0	
62	20859-73-8	Fosfuro de aluminio	2		1	1							0				1	1				0	
63	12057-74-8	Fosfuro de magnesio	1		1	1							0				0					0	
64	98886-44-3	Fostiazato	1			0							0				1	1				0	
65	1071-83-6	Glifosato	1			0			1				1				0					0	
66	77182-82-2	Glufosinato de amonio	1			0					1		1				0					0	
67	100784-20-1	Halosulfuron metil	1			0				1			1				0					0	
68	69806-40-2	Haloxifop metil	1			0			1				1				0					0	
69	78587-05-0	Hexytiazox	1			0			1				1				0					0	
70	20427-59-2	Hidróxido de cobre	1			0							0		1	1		1				0	

	Número CAS	Ingredientes activo	Suma max=1 Grupo 1-4	1: Toxicidad Aguda				2: Toxicidad Crónica							3: Toxicidad Ambiental					4: Convenio Internacional			
				OMS Ia	OMS Ib	Fatal si se inhala max = 1	EPA carcinogénico	IARC carcinogénico	EU GHS carcin. (1A, 1B)	IARC probable carcinogénico	EPA probable carcinogénico	EU GHS muta (1A, 1B)	EU GHS repro (1A, 1B)	Disruptor endocrino	max = 1	Muy bio acumulable	Muy persistente	Muy tóxico org. acuát.	Altamente tóxico abejas	max = 1	Protocolo Montreal	PIC Rotterdam	POP Estocolmo
71	35554-44-0	Imazalil	1			0					1			1				0					0
72	138261-41-3	Imidacloprid	1			0								0			1	1					0
73	173584-44-6	Indoxacarb	1			0								0			1	1					0
74	36734-19-7	Iprodiona	1			0					1			1									0
75	140923-17-7	Iprovalicarb	1			0					1			1									0
76	881685-58-1	Isopyrazam *	2			0					1			1		1	1		1				0
77	141112-29-0	Isoxaflutol	1			0					1			1					0				0
78	143390-89-0	Kresoxim metil	1			0					1			1					0				0
79	330-55-2	Linuron	1			0						1	1	1					0				0
80	103055-07-8	Lufenuron	1			0								0	1	1	1		1				0
81	121-75-5	Malation	2			0					1			1			1	1					0
82	8018-01-7	Mancozeb	1			0					1			1	1				0				0
83	12427-38-2	Maneb	1			0					1			1	1				0				0
84	139968-49-3	Metaflumizon	1			0								0			1	1					0
85	137-42-8	Metam sodio	1			0					1			1	1				0				0
86	10265-92-6	Metamidofos	3		1	1	1							0			1	1		1		1	1
87	298-00-0	Metil paration	2	1		1	1							0					0		1		1
88	23564-05-8	Metil tiofanato	1			0					1			1					0				0
89	2032-65-7	Metiocarb	2		1	1								0			1	1					0
90	9006-42-2	Metiram	1			0					1			1	1				0				0
91	16752-77-5	Metomil	2		1	1								0			1	1					0
92	21087-64-9	Metribuzin	1			0								1	1				0				0
93	51596-10-2	Milbemectina	1			0								0			1	1					0
94	2163-80-6	MSMA	1			0		1		1				1					0				0

	Número CAS	Grupos	Ingrediente activo	Suma max=1 Grupo 1-4	1: Toxicidad Aguda				2: Toxicidad Crónica							3: Toxicidad Ambiental					4: Convenio Internacional			
					OMS Ia	OMS Ib	Fatal si se inhala	max = 1	EPA carcinogénico	IARC carcinogénico	EU GHS carcin. (1A, 1B)	IARC probable	EPA probable carcinog.	EU GHS muta (1A, 1B)	EU GHS repro (1A, 1B)	Disruptor endocrino	max = 1	Muy bio acumulable	Muy persistente	Muy tóxico org. acuat.	Altamente tóxico abejas	max = 1	Protocolo Montreal	PIC Rotterdam
95	300-76-5	Naled		1				0							0									0
96	19666-30-9	Oxadiazon		1				0						1										0
97	23135-22-0	Oxamil		2		1	1	1							0				1	1				0
98	42874-03-3	Oxifluorfen		1				0						1										0
99	1910-42-5	Paraquat		1			1	1							0									0
100	40487-42-1	Pendimetalina		1				0							0	1	1							0
101	52645-53-1	Permetrina		2				0						1					1	1				0
102	123312-89-0	Pimetrozina		1				0						1										0
103	8003-34-7	Piretrinas		1				0							0				1	1				0
104	29232-93-7	Pirimifos metil		1				0							0				1	1				0
105	41198-08-7	Profenofos		1				0							0				1	1				0
106	139001-49-3	Profoxidim		1				0							1	1								0
107	2312-35-8	Propargita		2				0						1										0
108	60207-90-1	Propiconazol		1				0							1									0
109	12071-83-9	Propineb		1				0						1										0
110	34643-46-4	Protiofos		1				0							0	1		1						0
111	148-24-3	Quinolina Hidroxi-8		1				0							1									0
112	124495-18-7	Quinoxifen*		1				0							0	1		1						0
113	119738-06-6	Quizalofop-p-tefuryl		1				0							1									0
114	874967-67-6	Sedaxane *		1				0						1										0
115	187166-15-0	Spinetoram		1				0							0				1	1				0
116	122-34-9	Simazina		1				0							1	1								0
117	168316-95-8	Spinosad		1				0							0				1	1				0
118	148477-71-8	Spirodiclofen *		1				0						1										0
119	4151-50-2	Sulfluramida **		1				0							0							1	1*	1

2. EL SAICM

En febrero del 2006, delegados de más de 100 países aprobaron el **Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional**, cuya Secretaría está a cargo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y con menor participación, de la OMS. El SAICM tiene carácter multisectorial y está diseñado para la participación del sector gubernamental, el sector privado, organismos especializados de la ONU, organizaciones de trabajadores y de la sociedad civil sin intereses de lucro. Abarca los aspectos ambientales, económicos, sociales, laborales y de salud, relacionados con la gestión de los productos químicos, tanto los usados en la agricultura como en la industria, durante todas las etapas de su “ciclo de vida” (desde la síntesis, producción, transporte, distribución, uso y disposición de residuos), salvo los de la industria alimentaria y farmacéutica (PNUMA, 2007)

El Plan de Acción Mundial del SAICM incluye varias áreas de trabajo dedicadas a reducir los riesgos de los plaguicidas. Es así como indica que “se debe considerar la aplicación del Código de Conducta de la FAO sobre Gestión de Plaguicidas”, el “facilitar plaguicidas menos tóxicos para su venta y utilización”, e “impartir capacitación en prácticas agrícolas ecológicas y de otro tipo, incluso las que no utilizan productos químicos”.

El SAICM no es un acuerdo jurídicamente vinculante, sin embargo, ha sido respaldado por los gobiernos y los organismos intergubernamentales al más alto nivel, entre ellos Costa Rica.

Representa un compromiso de los gobiernos del mundo para lograr la gestión racional de estas sustancias, de manera que la exposición a productos químicos de uso agrícola o industrial ya no causen daños significativos a la salud humana y al medio ambiente, incluyendo metales tóxicos como el plomo, cadmio y mercurio. El SAICM facilita la implementación de reformas nacionales y mundiales relacionadas con la manera en que se producen y utilizan las sustancias químicas sintéticas, lo que incluye la posibilidad de aplicar medidas para su prohibición, su eliminación gradual o la restricción en su producción y uso.

En concordancia con el SAICM, en Costa Rica se crea la Secretaría Técnica de Coordinación para la Gestión de Sustancias Químicas, mediante el Decreto Ejecutivo N° 33104-RE-MAG-MINAE-S, publicado en La Gaceta 109 del 7 de junio de 2006, y está conformada por entes gubernamentales (Ministerios de Agricultura; Ambiente y Energía; Salud; y Relaciones Exteriores y Culto), Servicios Aduaneros del Ministerio de Hacienda, Consejo de Salud Ocupacional, Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), Unión Costarricense de Cámaras y Asociaciones de la Empresa Privada y académicos del Consejo Nacional de Rectores, todos vinculados con el tema de las sustancias químicas (Digeca, 2022).

La Secretaría Técnica de Coordinación para la Gestión de Sustancias Químicas es una instancia de apoyo y de consejo técnico para las autoridades nacionales competentes y puntos focales de las diferentes convenciones relacionadas con esta materia, así como de otras autoridades vinculadas, con el fin de

promover una efectiva y eficiente conducción del tema de sustancias químicas a nivel nacional.

En 2006, el Consejo de la FAO aprobó involucrarse en la aplicación del SAICM con el fin de otorgar asistencia a los países en desarrollo para reducir los riesgos de los PAPs y llamó a los gobiernos a tomar acciones, incluyendo la prohibición progresiva de los PAPs. En 2007, el Comité de Agricultura de FAO llamó a una reunión de expertos FAO y OMS para que establecieran los criterios técnicos para definir a los PAPs. Estas reuniones estuvieron abiertas para observadores de la industria (CropLife), organizaciones intergubernamentales y ONGs de interés público, como PAN Internacional y la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN por sus siglas en inglés).

3. Criterios establecidos por FAO y OMS

Los criterios para la definición de PAPs se pueden dividir en dos: los definidos por FAO y OMS en 2008, y los que la sociedad civil, liderada por PAN, adicionó luego. Los definidos originalmente por FAO y OMS son los siguientes:

A) **Toxicidad aguda alta:** formulaciones de plaguicidas que cumplen con los criterios de la categoría 1A y 1B, clasificación de la OMS según su peligrosidad, es decir, que si entran al organismo pueden causar síntomas graves de intoxicación e incluso la muerte a las pocas horas de exposición. En Costa Rica en su etiqueta del envase aparece una banda roja con la indicación “Extremadamente Peligroso” (1A) o

“Altamente Peligroso” (1B), el símbolo de la calavera y la frase “Tóxico”.



B) **Toxicidad crónica:** ingredientes activos o formulaciones de plaguicidas que causan efectos crónicos en la salud humana, los que por lo general se desarrollan lentamente como consecuencia de la exposición repetida a bajas dosis, por un tiempo prolongado.

Estos efectos incluyen:

-Cáncer en humanos: que se conoce o presume que el plaguicida puede provocar tumores malignos, según las categorías de carcinogenicidad 1A y 1B del SGA.

-Mutagénicos en humanos: que se conoce o presume que el plaguicida puede provocar mutaciones de las células germinales humanas (óvulos y espermatozoides) que se pueden heredar y causar malformaciones, según categorías de mutagenicidad 1A y 1B del SGA.

-Tóxicos para la reproducción: que se conoce o presume que el plaguicida puede causar efectos adversos en la función sexual y la fertilidad o afectar el

desarrollo del ser humano antes o después del nacimiento, según categorías 1A y 1B del SGA.

C) Incluidos en Convenios internacionales ambientales vinculantes:

-Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), que incluye a productos químicos para su restricción y/o prohibición mundial (Anexos A y B del Convenio), que cumplen con los criterios de: persistencia, bioacumulación, potencial de transporte a grandes distancias en el medio ambiente, y efectos adversos por su toxicidad o ecotoxicidad en la salud humana y el medio ambiente. Este Convenio incluye a plaguicidas y otras sustancias químicas que pueden trasladarse lejos de su punto original de liberación al ambiente y pueden almacenarse y concentrarse en los tejidos grasos como la carne de pollo, peces e incluso excretarse con la leche materna.

Anexo A. Sustancias a eliminar: aldrín, alfa y beta hexaclorociclohexano; clordano, clordecona, dieldrín, endrín, heptacloro, hexaclorobenceno, lindano, mirex, toxafeno y endosulfan.

Anexo B. Restricción del DDT. Uso solo para control del paludismo mediante una supervisión de la OMS.

-Convenio de Róterdam sobre el Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional. Incluye ingredientes activos y formulaciones de plaguicidas extremadamente peligrosas (que produzcan efectos graves a la salud

o el medio ambiente, observables en un período corto, en sus condiciones de uso), que han sido prohibidos en algunos países o rigurosamente restringidos, para proteger la salud humana y el medio ambiente (Anexo III).

El Anexo III incluye a 30 plaguicidas y 3 formulaciones consideradas extremadamente peligrosas que entran en el procedimiento PIC, entre otras sustancias.

Plaguicidas: 2,4,5-T, alaclor, aldrin, azinfos metílico, binapacril, captafol, clordano, clordimeformo, clorobencilato, compuestos de mercurio, compuestos tributilestaño, DDT, dicloruro de etileno, dieldrín, DNOC, dinoseb y sus sales y ésteres, dibromuro de etileno (EDB), endosulfan, fluoroacetamida, forato, HCH, heptacloro, hexaclorobenceno, lindano, metamidofós, monocrotofos, óxido de etileno, paration, pentaclorofenol y sus sales y ésteres, toxafeno.

Formulaciones: benomil igual o mayor al 7%; carbofuran igual o superior al 10%; tiram igual o superior al 15%; fosfamidon igual o más de 100 g/l; metil paration en formulaciones Concentrado Emulsionable (CE) con 19,5% o más, y polvos 1,5% o más.

Para estos productos, el Convenio exige a los países exportadores que, previamente a su envío, lo notifiquen al país importador; mecanismo conocido como el procedimiento de consentimiento fundamentado previo (CFP) o PIC, por sus siglas en inglés. El Convenio busca que no se produzcan envíos de esos productos químicos sin el consentimiento fundamentado previo de la parte importadora.

-Protocolo de Montreal de Sustancias que Agotan la Capa de Ozono: busca la eliminación mundial de las sustancias que destruyen la capa de ozono. Agrícolamente se refieren al fumigante bromuro de metilo, con algunas excepciones limitadas y específicas para “usos críticos”, como usos cuarentenarios y de pre-embarque.

D) Los plaguicidas (i.a. o formulaciones) que muestran una **alta incidencia de efectos adversos irreversibles o severos a la salud o el ambiente**, según las condiciones de uso en el país. La reunión conjunta de expertos recomendó que los criterios para definirlos fueran desarrollados por FAO, OMS y PNUMA. Esto implica contar con un buen sistema de registro de intoxicaciones que exija indicar el nombre del producto comercial o i.a. que causó la intoxicación o el daño.

La reunión conjunta de expertos de la FAO y OMS recomendó que los PAPs no deberían registrarse para su uso, a menos que:

- a) los gobiernos establezcan una clara necesidad de ellos,
- b) no haya alternativas disponibles basadas en un análisis costo-beneficio, y
- c) fueran insuficientes las medidas de control y las buenas prácticas comerciales para asegurar que el producto puede ser manejado con un riesgo aceptable a la salud y al ambiente.

El panel también recomendó, como primera medida prioritaria para la reducción de los riesgos, que se pusiera a disposición de los países información

actualizada sobre los PAPs, de manera amplia y regular.

4. Criterios (adicionales) propuestos por la Red Internacional de Acción en Plaguicidas (PAN)

PAN Internacional ha propuesto un conjunto más amplio de indicadores, algunos de ellos usados por autoridades reconocidas, como la UE y la EPA, con el objetivo de aumentar el rango de protección a la salud y al ambiente. Estos indicadores se describen a continuación:

-Toxicidad mortal por inhalación (fatal si se inhala). Ésta es una característica de peligrosidad que se señala con un rombo y una calavera y el código H 330 con la frase “Mortal en caso de inhalación” en las etiquetas de plaguicidas que siguen el SGA.

-Alteración hormonal (disruptores endocrinos). Incluye los plaguicidas de la Categoría 1 de la UE (con al menos un estudio que aporta evidencia de perturbación endocrina en un organismo intacto).

-Toxicidad alta para las abejas. Se incluyen los clasificados por la EPA como “Altamente tóxico para las abejas” por tener una dosis letal media menor de 2 microgramos por abeja ($DL_{50} < 2 \mu\text{g}/\text{abeja}$).



-Muy persistente en agua, suelo o sedimentos. Es decir, que van a tardar meses y hasta años, en degradarse en otros compuestos o metabolitos.

-Muy tóxicos para los organismos acuáticos. Los que pueden causar la muerte de peces, crustáceos o algas en ríos, lagos y mares.



-Muy bioacumulables. Los que pueden concentrarse en organismos a través de la cadena trófica y que puede causar efectos tóxicos.

Entre los nuevos criterios propuestos por PAN Internacional se destacarán a continuación los relacionados con la perturbación endocrina y la toxicidad alta para las abejas.

4.1 Los plaguicidas que perturban la acción de las hormonas

La perturbación o disrupción endocrina, se refiere al “efecto de algunas sustancias o mezcla de sustancias químicas que interfieren con cualquier aspecto de la acción de las hormonas y, en consecuencia, provocan efectos adversos en un organismo intacto, o en su descendencia o en subpoblaciones (Gore et al., 2014; IPCS, 2002). Las hormonas son sustancias químicas naturales producidas por las glándulas endocrinas, distribuidas por todo el cuerpo (hipotálamo, pineal, pituitaria, páncreas, tiroides, paratiroides, adrenales, ovarios y testículos, principalmente), y son fundamentales para la función reproductiva y esenciales para el desarrollo normal del cuerpo y el cerebro.

Las sustancias químicas, al imitar o bloquear una hormona natural, pueden llevar a un mal funcionamiento del sistema endocrino y alterar diversas funciones biológicas y fisiológicas, conduciendo a diversas enfermedades e incluso a la muerte. Entre los plaguicidas perturbadores endocrinos más estudiados se encuentran insecticidas como el DDT y clorpirifos, y herbicidas como atrazina, 2,4-D y glifosato (Gore et al., 2014).

4.2 Plaguicidas que pueden causar la muerte a las abejas

La protección de organismos como las abejas y otros polinizadores es esencial para la seguridad alimentaria. La

polinización por insectos, como las abejas, es necesaria para el 35% de la producción mundial de cultivos e incrementa su rendimiento en 87 de ellos (Van der Valk et al., 2013); es esencial en árboles frutales (manzano, ciruelo, perales, duraznero, cerezos, almendros), leguminosas forrajeras (alfalfa, trébol rojo, blanco y de olor), para la producción de semilla de hortalizas (repollo, zanahoria, coliflor, cebolla, berenjena), vegetales (tomate, pepino, melón, ayote, sandía), oleaginosas (girasol, colza), nueces, especies y estimulantes como el café y el cacao, por mencionar algunos.



Los insectos benéficos, como los polinizadores, pueden ser fuertemente impactados por la acción de los plaguicidas. Los países que evalúan el impacto de los plaguicidas en los polinizadores como requisito para su registro, consideran sólo una de las especies, la abeja melífera europea (*Apis mellifera*), y dejan por fuera a otros polinizadores. Para muchos cultivos tropicales, las abejas silvestres “no Apis” son los principales o únicos polinizadores

y conforman aproximadamente el 90 % de las abejas del mundo (Nates-Parra, 2005). Por lo anterior, la evaluación del impacto de los plaguicidas debería considerar tanto el impacto en la abeja melífera europea como en las abejas nativas locales, meliponas u otros polinizadores relevantes.

En los últimos años se ha documentado la alta toxicidad que tienen para las abejas los plaguicidas neonicotinoides, derivados sintéticos de la nicotina, e introducidos en el mercado mundial en 1991 (Watts, 2011b). La Unión Europea ha restringido temporalmente algunos insecticidas neonicotinoides como el fipronil y el imidacloprid, pero no son los únicos plaguicidas que pueden tener una alta toxicidad para las abejas.

Particularmente en Costa Rica, el fipronil ha sido el causante de las principales intoxicaciones masivas de colonias enteras de abejas. En la lista de PAPs de PAN Internacional se incluyen los insecticidas clasificados por EPA como altamente tóxicos para abejas cuando la dosis letal media es menor a 2 microgramos por abeja. Pero además de la toxicidad aguda alta, se han documentado otros efectos subletales provocados por algunos plaguicidas en la fisiología y conducta de las abejas (disminución en la movilidad, en el aprendizaje y en la orientación), tanto en las abejas que pecorean afuera como las obreras en la colmena.

No hay que dejar de mencionar plaguicidas como el glifosato y otros herbicidas, que tienen también un efecto indirecto al eliminar las fuentes de néctar, polen y otras sustancias que producen las plantas arvenses que son controladas,

especialmente las de bordes de cultivos, orillas de caminos, zonas no agrícolas y zonas agrícolas en barbecho.

5. El Código de conducta sobre la gestión de plaguicidas y las directrices de FAO y OMS sobre los PAPS

El concepto de PAPS se incorporó en la cuarta actualización del llamado Código de Conducta sobre la Gestión de los Plaguicidas, publicada en 2014. Este Código se llamaba originalmente “Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de los Plaguicidas” que fue adoptado por FAO en 1985 y suscrito después por la OMS. Establece normas de conducta de carácter voluntario que proporcionan un marco de referencia para la regulación gubernamental, el sector privado y la sociedad civil sobre las mejores prácticas en la gestión de los plaguicidas, incluyendo su producción, distribución, consumo y manejo de residuos, particularmente cuando hay una legislación nacional inadecuada o inexistente.

Las versiones iniciales del Código fueron muy criticadas al suponer que se puede garantizar un “uso seguro” de los plaguicidas, si se siguen las instrucciones de las etiquetas y se utiliza un equipo de protección personal adecuado; aunque las investigaciones en campo, bajo las condiciones de uso predominantes en países de Asia, África y América Latina, demuestran que esto pocas veces se practica.

De hecho, el término “uso seguro de los plaguicidas” fue retirado de los objetivos y de otros artículos del Código de Conducta

en 2002; en su lugar, se habla ahora de “promover prácticas que minimicen los riesgos potenciales a la salud y ambiente asociados con los plaguicidas”.

Algunos artículos del Código de Conducta que se relacionan con los PAPS son los siguientes:

“Deberían evitarse los plaguicidas cuya manipulación y aplicación exijan el empleo de equipo de protección personal incómodo, costoso o difícil de conseguir, especialmente cuando los plaguicidas han de utilizarse en climas cálidos, por usuarios en pequeña escala y trabajadores agrícolas (artículo 3.6).

“Utilizar todos los medios posibles para recoger datos fiables y mantener estadísticas sobre los aspectos sanitarios de los plaguicidas y los incidentes de envenenamientos por plaguicidas, utilizando instrumentos armonizados, cuando estén disponibles y presentar, en su caso, ante la autoridad nacional designada, los formularios del Convenio de Róterdam de comunicación sobre las formulaciones de plaguicidas extremadamente peligrosas (FPEP), relativos a incidentes para la salud humana. Deberían disponer de personal debidamente capacitado y de recursos suficientes para asegurar que se recoja una información exacta” (artículo 5.1.6).



El artículo 6 del citado Código menciona que, los gobiernos deberían:

6.1.1 “introducir las políticas y la legislación necesarias para la reglamentación, la comercialización y el uso de los plaguicidas en todo su ciclo de vida y adoptar disposiciones para su coordinación y cumplimiento efectivos, lo que comprende el establecimiento de los correspondientes servicios de educación, asesoramiento, extensión y atención de salud, siguiendo las Directrices de FAO y de OMS y, cuando proceda, las disposiciones de los instrumentos legalmente vinculantes que correspondan. Al hacerlo, los gobiernos deberían tomar en consideración factores como las necesidades, condiciones sociales y económicas y niveles de alfabetización locales, así como las condiciones climáticas y la disponibilidad con un costo asequible de equipo apropiado de aplicación de plaguicidas y equipo de protección personal”.

“Podrá estudiarse la posibilidad de prohibir la importación, distribución, compra y venta de plaguicidas muy peligrosos si otras medidas de control o las buenas prácticas de comercialización no bastan, sobre la base de una evaluación del riesgo, para asegurar que el producto pueda manipularse sin riesgos inaceptables para las personas y el medio ambiente” (artículo 7.5).

El apartado 9.4 enuncia: Todas las entidades a las que se dirige el presente Código deberían:

9.4.1 apoyar el proceso de intercambio de información y facilitar el acceso a la información, en particular sobre los peligros y riesgos de los plaguicidas, sus

residuos en los alimentos, el agua potable y el medio ambiente, su uso en o sobre productos no alimenticios, el Manejo Integrado de Plagas (MIP) y el Manejo Integrado de Vectores (MIV), su eficacia, alternativas a los plaguicidas muy peligrosos y las medidas de reglamentación y política correspondientes.

Las directrices de FAO y OMS invitan a los gobiernos de los países a diseñar un proceso que comprende tres grandes pasos y acciones: la identificación de los PAPs, la evaluación de los riesgos a la salud y el ambiente, y las acciones de mitigación, que pueden llevar a la restricción o prohibición del producto.



El no actuar para reducir o sustituir el uso de plaguicidas químicos tiene un alto costo. El PNUMA ha elaborado el reporte *El costo de la inacción en la gestión de las sustancias químicas*, donde se calcula que los costes económicos y medioambientales más importantes causados por el uso de plaguicidas fueron, en Estados Unidos de \$15.000 millones debido a pérdidas por resistencia a los plaguicidas, pérdida de cosechas por \$14.000 millones y pérdida de aves por valor de \$2.200 millones, entre otros; también se cita en China el efecto de los casos de contaminación grave del agua

en pesqueras comerciales, que se han estimado en aproximadamente \$634 millones (4.000 millones de Yuanes). En Africa Subsahariana, costos por \$90.000 millones anuales en gasto por enfermedades y lesiones de usuarios de plaguicidas entre 2015 y 2020 (PNUMA, 2012). En América Latina, donde los estudios de este tipo son más escasos, se ha calculado que, en el Estado de Paraná en Brasil, por cada dólar gastado en plaguicidas se gasta \$1,28 en servicios de salud e incapacidades laborales debido a las intoxicaciones ocupacionales (Soares y de Souza, 2012).

Dadas las serias consecuencias del daño potencial inherente a los PAPs, debería diseñarse una estrategia que permita prevenir los riesgos y no sólo mitigarlos. La definición de lo que es aceptable o no, debería ser consistente con la obligación de procurar el nivel más alto de protección para la vida y dignidad de los seres humanos. Es necesario considerar en este contexto, como se hace en otros países, la aplicación del principio precautorio y del principio de sustitución, frente a sustancias químicas o actividades particularmente peligrosas.

Por ejemplo, en la UE se aplican criterios de exclusión ("*hazard cut off criteria*") del registro de plaguicidas basados en la peligrosidad; así, las sustancias no pasan a las siguientes etapas de evaluación de riesgos si presentan características específicas como ser persistentes, bioacumulables y tóxicas o tener potencial de causar cáncer, mutagénesis, ser tóxicas a la reproducción, o causar perturbación endocrina. En América Latina, sólo Brasil cuenta con una legislación de plaguicidas que incorpora criterios de exclusión basados en la

peligrosidad, y establece que está prohibido el registro de los agrotóxicos, sus componentes o afines, que sean teratogénicos, carcinogénicos, mutagénicos y que provoquen alteraciones hormonales (Bejarano, F. 2017).

Pensando en la situación de Costa Rica, se podrían negociar plazos para el retiro de los PAPs del mercado, mientras se impulsan alternativas de menor riesgo, además de no registrar más moléculas consideradas PAPs. Debido a sus características de peligrosidad y a las evidencias de impacto a la salud y al medio ambiente que se hayan documentado a nivel nacional, habría que impulsar un fuerte programa que permita sustituirlas dentro de una estrategia de manejo agroecológico de plagas, enfermedades y plantas no deseadas, donde se valore la experiencia de las organizaciones de productores del sector social y privado, así como la aportada por la academia y grupos no gubernamentales.

Los relatores especiales de la ONU destacaron su profunda preocupación por la lentitud de las acciones globales e hicieron un llamado a los participantes "a acelerar la acción global para sustituir los PAPs con alternativas más seguras". Además de apoyar los elementos de la estrategia propuesta de manera conjunta por FAO, PNUMA y OMS sobre PAPs, recomendaron tres medidas:

- 1) Que el proceso incluya plazos claros para la prohibición global creciente (*phase out*) de los PAPs y su reemplazo con alternativas más seguras. En este sentido, se deberían promover políticas de gestión de los plaguicidas que pongan

énfasis en la precaución y en el fomento a las alternativas agroecológicas que permitan su sustitución.

2) Que los fabricantes de plaguicidas aseguren la trazabilidad o seguimiento de los plaguicidas peligrosos a través de las cadenas de suministro de alimentos, para proteger mejor, hacer efectivos y respetar los derechos humanos. La trazabilidad está ligada al reconocimiento y garantía del derecho a saber de cualquier persona si está siendo expuesta a sustancias peligrosas o puede ser perjudicada por ellas.

3) El compromiso de los fabricantes de plaguicidas de implementar los Principios Rectores sobre las empresas y los derechos humanos (Tuncak, 2014). Los Principios Rectores incluyen principios fundacionales y operativos para que el Estado cumpla con su deber de proteger los derechos humanos, la responsabilidad de las empresas de respetarlos y el acceso a mecanismos de remediación del daño cuando éste ya ocurrió.

Ante estas determinaciones y discusiones, se concluye y se pide la adopción de las siguientes medidas:

- Que las instituciones gubernamentales lleven adelante los planes y prácticas establecidas a partir de la ratificación y firma de los convenios y estrategias internacionales sobre el manejo de sustancias químicas (SAICM), que insta, entre otras medidas, a reemplazar los PAPs.
- Repensar los modos de producción agrícola. Claramente es posible producir alimentos de manera sustentable y viable

reduciendo la cantidad o sin usar agrotóxicos, a partir de estrategias, prácticas y tecnologías agroecológicas.

- Informar y realizar monitoreos epidemiológicos fundamentalmente en la población expuesta.
- Facilitar el acceso a la justicia ambiental a la población afectada por el efecto de los agrotóxicos.
- Fomentar las prácticas y tecnologías agroecológicas a partir del acceso a la información y aplicando políticas públicas adecuadas.
- Planificar la prohibición de los plaguicidas, comenzando por los PAPs.

Ante la preocupación por los efectos ecosistémicos a corto y largo plazo de los PAPs, las peticiones anteriores fueron hechas por Naciones Unidas, académicos, investigadores, organizaciones de productores y en general por la sociedad civil. A continuación, se nombran algunas sustancias consideradas PAPs que se deberían de priorizar para una política de prohibición de plaguicidas en Costa Rica.



6. Priorización de sustancias a restringir o prohibir

6.1 Clorpirifos N° CAS: 2921-88-2

El clorpirifos es un insecticida perteneciente al grupo químico organofosforado y clorado, registrado en Costa Rica 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 diversas 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).

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.

Aunque no se encuentra registrado, también se usa en cultivos como zanahoria, lechuga, culantro y cebolla de la zona de Zarcero (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., 2010).

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 (Bandoim, 2020). 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 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 UE. En Chile fue prohibido en octubre del 2022, junto con el paraquat y metomil; y en Perú en julio del 2023.

El clorpirifos cumple tanto los criterios de FAO/OMS, como los de PAN, sobre PAPs; además, se encuentra prohibido en 37 países a nivel mundial.

La 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 LMR, tanto para el 2020 como para el 2021 (SFE, 2022a; SFE, 2021).

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. 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 cáncer de pulmón y próstata, entre otros (Sagiv et al., 2018; Slotkin y Seidler, 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, 2018).

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.



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 (TCP), en niveles bajos, en muestras de

lavado de manos y pies, y de orina, en niños que habitan en zonas agrícolas, cerca de plantaciones de banano y plátano de la región de Talamanca (2005-2006). También se reportó en el polvo acumulado en 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.

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, el clorpirifos fue el cuarto plaguicida con mayores incumplimientos en los LMR en vegetales frescos en Costa Rica, con 48 inconformidades para el 2021 en aguacate, apio, chayote, culantro de castilla y de coyote, y perejil (SFE, 2022a).

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. 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 COPs (PAN E, 2018).

Hay una gran historia de hallazgos de residuos de clorpirifos 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 encontrado 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, 2022).

6.2 Los insecticidas Neonicotinoides

En esta lista de PAPs destacan los insecticidas pertenecientes al grupo de los neonicotinoides, que se ubican dentro del grupo III por su toxicidad ambiental y poseer como criterio de peligrosidad ser Muy Tóxicos para las Abejas. Estos organismos han sido uno de los grupos de polinizadores más estudiados con un 26%, 24% y 22% para *Apis mellifera*, abejas silvestres y abejorros, respectivamente (García, Ríos y Alvarez, 2016). Además, se discute la asociación entre los neonicotinoides con la pérdida de insectos polinizadores y, es probable que la afectación de invertebrados acuáticos y del suelo, implique la amenaza de servicios ecosistémicos.

Los insectos polinizadores contribuyen con más de US\$200 mil millones en servicios de polinización para aproximadamente dos tercios de las especies de cultivos y para la mayoría de las plantas silvestres con flor (Connolly, 2013). Según FAO (2018b), la producción de 87 de los principales cultivos alimentarios del mundo se ve beneficiada con la mejora de la densidad y la diversidad de los polinizadores. Pese a esto, es probable que las cifras se subestimen, pues solo se incluye la polinización que está directamente relacionada al rendimiento de cultivos para consumo humano, dejando de lado el valor de la producción de semillas y el forraje para el ganado (Isaacs et al., 2017).

Los neonicotinoides son insecticidas sistémicos, que son absorbidos por la planta y se trasladan a través de ella por medio del sistema vascular en forma acrópeta para dirigirse hasta los tallos, hojas, flores, nectarios extraflorales e incluso polen, néctar y fluidos de gutación (Fairbrother et al., 2014). Poseen una estructura química similar a la nicotina y, en consecuencia, su modo de acción sobre las células nerviosas provoca la parálisis de los insectos y puede conducir a su muerte, dependiendo de la dosis y la duración de la exposición (Kasiotis y Machera, 2015).

Los neonicotinoides también son comunes en aplicaciones veterinarias para el control de garrapatas, pero son mucho más tóxicos para los invertebrados como los insectos, que, para mamíferos, aves y otros organismos superiores (EFSA, 2018).

Este grupo de insecticidas incluyen imidacloprid, acetamiprid, clotianidina, tiametoxam, tiacloprid, dinotefuran, nitenpiram, que se comercializan bajo una variedad de nombres comerciales. Además, se encuentran los compuestos neonicotinoides de cuarta generación recientemente comercializados, cicloxaprid (Kasiotis y Machera, 2015), paichongding, sulfoxaflor, guadipyr, flupyradifurone (Giorio et al., 2017), imidaclothiz de uso en China (University of Hertfordshire, 2018; Hua et al., 2017) y nitiazina, que nunca fue comercializado (RAPAL, 2017).

Además del movimiento sistémico ascendente en las plantas, los neonicotinoides presentan la capacidad de tener un amplio espectro de acción, tasas de aplicación bajas, baja toxicidad

en mamíferos y versatilidad mediante los métodos de aplicación (Fairbrother et al., 2014).

Los neonicotinoides se aplican principalmente como gránulos en el suelo (Sánchez-Bayo, 2014), y en los países desarrollados, sobre todo el imidacloprid, clotianidina y tiametoxam, se usan predominantemente para recubrir semillas en una amplia variedad de cultivos como colza, girasol, cereales, remolacha y papa. También se aplican foliarmente en cultivos frutales como las frambuesas (principalmente tiacloprid), que son visitadas por polinizadores silvestres y abejas melíferas (Goulson, 2013). Estos productos aplicados a los cultivos, incluso para el recubrimiento de semillas, pueden contaminar la vegetación adyacente, incluyendo las flores silvestres atractivas para las abejas (Hopwood et al., 2016).

Como lo muestra la figura 1, aproximadamente entre 2 a 20% de los neonicotinoides que recubren la semilla, son absorbidos durante la germinación, lo que conlleva a una proporción potencialmente grande de los plaguicidas como residuos en el suelo (Sur y Stork, 2003). Incluso, plantas no tratadas, han absorbido los residuos de algunos neonicotinoides que persistían del año anterior (Hopwood et al., 2016).

Los neonicotinoides pueden persistir y acumularse en el suelo, de tal manera que los tiempos de degradación son muy variables, con valores de DT_{50} que oscilan entre 200 y más de 1000 días para clotianidina, tiametoxam e imidacloprid. Además, son solubles en agua y propensos a la lixiviación en las vías fluviales (Goulson, 2013), lo que provoca

la contaminación de aguas superficiales, comprometiendo la vida acuática y disminuyendo las presas invertebradas,

que son necesarias para los organismos superiores de la cadena alimenticia.

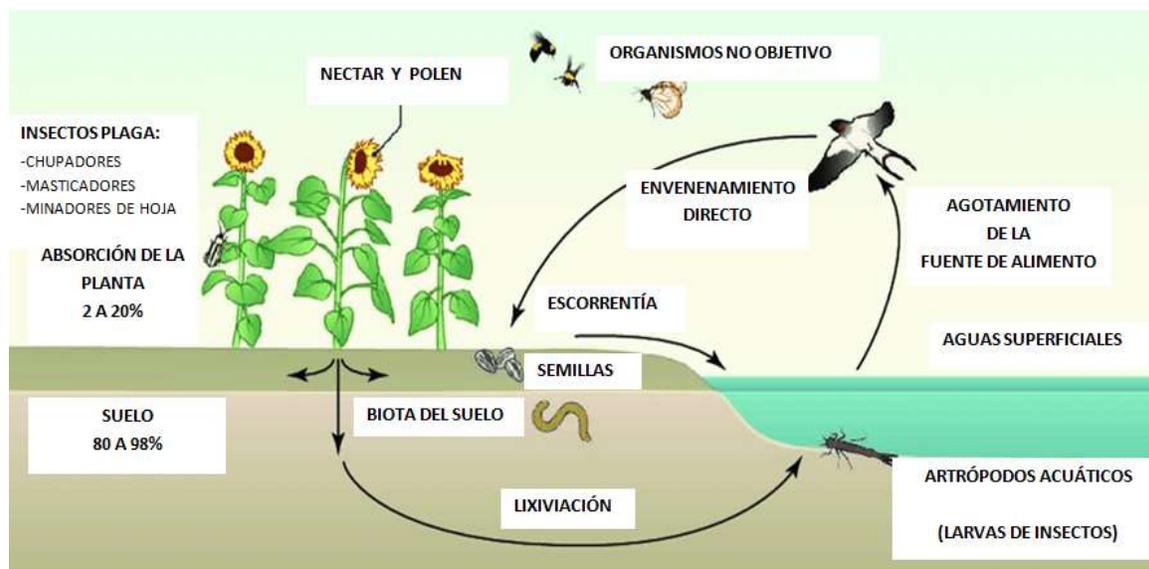


Figura 1. Destino de los neonicotinoides y vías de contaminación ambiental. Tomado y adaptado de Sánchez-Bayo (2014).

La mortalidad de las abejas es un fenómeno mundial, particularmente en la UE y EE.UU., en donde el uso intensivo de plaguicidas parece ser el principal factor (Bejarano, 2017). En América Latina se han reportado la muerte de colonias de abejas melíferas entre los años 2016 y 2017 por la afectación con neonicotinoides utilizados en campos de cultivos extensivos, como ha sucedido en México y Chile (RAP-AL, 2017). La mortalidad de abejas en Costa Rica en los últimos años ha sido manifiesta y preocupante, no solo por el valor que representa a nivel del servicio ecosistémico que brindan las abejas, sino también por la repercusión en el sector apícola nacional. Según la Cámara Nacional de Fomento a la Apicultura, entre 2010 y 2020 se perdieron 2.200

colmenas sólo en la zona de Los Santos, y en el año 2020 se registraron aproximadamente 30 eventos de intoxicación masiva de abejas. (<https://semanariouniversidad.com/pais/c-amara-deapicultura-alerta-sobre-posible-extincion-de-abejas-en-costarica-en-menosde-15-anos/>).

Actualmente, la agricultura convencional se caracteriza por la presencia de grandes extensiones de cultivo, que durante la floración atraen abejas que con frecuencia se exponen a una amplia gama de agroquímicos, incluidos los insecticidas neonicotinoides (Hopwood et al., 2016); los cuales son considerados como uno de los muchos factores responsables de la declinación de las poblaciones de abejas.

En general, las abejas están expuestas no solo a uno, sino a mezclas de dichos químicos que pueden mostrar efectos negativos en su sistema inmunológico, la actividad de forrajeo o búsqueda de alimento, el aprendizaje y la formación de la memoria de las abejas, al inducir alteraciones de las transcripciones de genes (Christen, Bachofer y Fent, 2017). Además, cuando se exponen a dosis subletales de plaguicidas, las abejas melíferas a menudo se desorientan y no pueden realizar el vuelo de regreso a sus colmenas (Calatayud et al., 2018).

Estudios realizados por EFSA, compararon los niveles esperados de plaguicidas neonicotinoides, a los que es probable que las abejas estén expuestas en el ambiente, con aquellos que les causan efectos. Concluyen que los riesgos variaron dependiendo de la especie de abeja, el uso previsto del plaguicida y la ruta de exposición (residuos en polen de abeja y néctar, dispersión del polvo durante la siembra o aplicación de las semillas tratadas y consumo de agua). Sin embargo, tomadas en conjunto, confirman que, para todos los usos al aire libre de estas sustancias, hubo al menos un aspecto de la evaluación que indica un alto riesgo, lo que lleva a la conclusión de que, en general, los neonicotinoides representan un riesgo para las abejas (EFSA, 2018) y una gran amenaza a nivel mundial para la biodiversidad, los ecosistemas y todos los servicios que estos brindan (Giorio et al., 2017).

Los tres neonicotinoides más comúnmente detectados en los estudios (clotianidina, imidacloprid y tiametoxam) se clasifican como altamente tóxicos para las abejas, con valores de toxicidad aguda

por ingestión oral de 1 a 5 ng/abeja (Hladik, Main y Goudson, 2018). También es sabido que los insecticidas neonicotinoides con frecuencia son utilizados en combinación con otros químicos en el campo, mostrando interacciones sinérgicas (Hopwood et al., 2016).

En 2018, los estados miembros de la UE acordaron prohibir el uso al aire libre de tres plaguicidas neonicotinoides (clotianidina, imidacloprid y tiametoxam), tras advertencias de EFSA que concluyeron, a través del estudio de la evidencia científica, sobre sus riesgos para las abejas, tanto silvestres como las abejas melíferas (<https://www.science.org/content/article/european-union-expands-ban-three-neonicotinoid-pesticides>).

Los insecticidas neonicotinoides registrados y usados en Costa Rica durante el año 2016, representan el 0,14% de las importaciones totales de plaguicidas (SFE, 2022b). Para el 2019, el imidacloprid posee la mayor cantidad importada (128.911 kg) seguido por tiametoxam, tiacloprid y acetamiprid (Cuadro 2), tendencia que sigue para años posteriores. El sufoxaflor, considerado un neonicotinoide de nueva generación, se registró en Costa Rica en el año 2020 como i.a. de dos formulaciones comerciales al 24% CE para los cultivos de arroz, chile dulce, melón, naranja, sandía, piña y tomate; aunque desde 2018 se hacían importaciones considerables. Los i.a. tiametoxam, acetamiprid e imidacloprid, se comercializan como productos formulados en mezcla, además de su presentación individual (SFE, 2022b).

Cuadro 2. Importación de insecticidas neonicotinoides. 2016-2021. Costa Rica. Kg i.a./año.

Ing. activo	Cantidad importada Kg i.a./año					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tiametoxam	5.725	4.714	1.998	7.104	6.217	2.883
Tiacloprid	412	401	399	442	491	197
Acetamiprid	108	183	0	3	90	244
Imidacloprid	23.601	100.350	56.850	128.911	42.910	20.033
Sulfoxaflor	0	0	1.198	521	1.103	1.505

Fuente: Departamento Agroquímicos y Equipos. SFE (2022b).

Los cultivos para los cuales está registrado el uso de estos plaguicidas abarcan desde hortalizas, frutas, pastos, plantas ornamentales, hasta cultivos perennes, los cuales reciben visitas constantes de abejas y otros polinizadores.

Ahunado a la importación y uso de PAPs en Costa Rica, Jokisch et al. (2015), examinaron la agricultura dependiente de agroquímicos y cómo su regulación desigual en la exportación frente a los mercados nacionales, afecta a los agricultores de vegetales costarricenses. Esos procesos producen resultados desiguales que ponen en desventaja a los productores menos poderosos que tienen opciones más limitadas que los agricultores más grandes, que generalmente pueden reducir el uso de plaguicidas y los costos de producción.

Frente a las restricciones de los precios internos, los productores de vegetales en Costa Rica son más propensos a abastecer el mercado nacional con productos que contienen residuos de plaguicidas altamente tóxicos, mientras usan plaguicidas menos tóxicos en las hortalizas exportadas. Al buscar soluciones, los autores defienden una mejor gobernanza e investigación sobre el control alternativo de plagas.

Para el año 2020, un análisis efectuado por el SFE (2021), encontró que, del total de muestras de vegetales frescos de producción nacional, solamente un 30,3% estaba libre de residuos cuantificables de plaguicidas y el 20% superaba los LMR permitidos; el chile dulce fue la cosecha que mayores incumplimientos a los LMR obtuvo (72% no cumple), seguido del apio (64%) y de zanahoria y culantro (42%), lo

que implica un riesgo sostenido en la exposición de plaguicidas a los consumidores.

Los principales plaguicidas involucrados en los “no cumplimientos” son insecticidas, destacándose el fipronil.

El Centro Nacional de Control de Intoxicaciones (CNCI, 2020), reporta varios neonicotinoides como la causa de intoxicaciones agudas en costarricenses. Imidacloprid con 9 casos, y tiametoxan y fipronil con 5.

A continuación, se describen brevemente los insecticidas neonicotinoides, tanto los registrados en Costa Rica como los que aún no se han incorporado a la oferta comercial nacional de plaguicidas:

6.2.1 Imidacloprid N° CAS: 138261-41-3/105827-78-9

El imidacloprid se desarrolló en 1985 y a partir de la década del 2000 su uso se fue incrementando a nivel mundial, hasta llegar a ser el insecticida de mayor uso global (RAP-AL, 2017; Sur y Stork, 2003; Fairbrother et al., 2014). En otros países fue registrado en 1992 para cultivos de algodón, arroz, cereales, maní, papas, vegetales, pomáceas, pecanas y césped. En Costa Rica hay formulaciones que contienen este i.a., tanto de composición única o en mezcla con otros insecticidas, registradas para su uso en algodón, arroz, banano, café, caña de azúcar, chayote,

chile dulce, melón, naranja, papa, papaya, piña, plátano, tomate, ornamentales, rosas, salvia, sandía y yuca (SFE, 2022b).

En la zona de Zarcero en 2014-16 se usaba en culantro y repollo (Ramírez et al., 2018) y en Pacayas en pastos (Ramírez et al., 2010), aunque no tuviera registro para esos cultivos. El imidacloprid se aplica para el control de insectos chupadores y del suelo, mosca blanca, áfidos, trips, termitas, entre otras plagas (Fairbrother et al., 2014). También es usado para el control de pulgas en perros y gatos.

El insecticida imidacloprid se aplica en otros países principalmente como una formulación para el recubrimiento de semillas, y en Costa Rica se usa mayoritariamente aplicado al follaje.

En Costa Rica se han encontrado residuos de imidacloprid en hortalizas como culantro y repollo de la zona de Zarcero (Ramírez et al., 2016) y en pastos en la zona de Pacayas (Ramírez, Fournier y Ruepert, 2010), cultivos que fueron aplicados con el insecticida.

Después de la absorción por la raíz, el imidacloprid se transporta acrópetamente vía xilema y se degrada rápidamente en el interior de las plantas (Sur y Stork, 2003).

Según Sánchez-Bayo (2014), a medida que crece, la planta toma de 2 a 20% del insecticida y lo distribuye a todas sus partes, incluidas hojas, flores, polen y néctar. Las concentraciones resultantes de 5 a 10 µg por litro [partes por billón (ppb)] en la savia, son suficientes para controlar las plagas de insectos chupadores y masticadores. Sin embargo, los polinizadores como abejas,

mariposas, polillas y moscas voladoras están igualmente expuestos. La dosis letal por ingesta oral registrada para imidacloprid, tiametoxam y clotianidina en abejas, alcanza valores entre 1 y 2.5 ng/abeja, sin embargo, las abejas forrajeras no mueren inmediatamente después de visitar las flores en cultivos tratados porque los niveles de residuos están por debajo de su toxicidad aguda (DL₅₀) y las abejas solo ingieren parte de lo que recolectan; el resto es llevado a la colmena. En este caso, el problema radica en las dosis subletales diarias que ingieren los polinizadores.

Es preocupante los riesgos existentes para las abejas por la ingestión de polen y miel contaminados con insecticidas sistémicos, particularmente imidacloprid y tiametoxan. En abejas obreras afecta el aprendizaje olfativo, la memoria y el deterioro locomotor e inhibe la alimentación; mientras que en larvas expuestas a alimentación contaminada, se reduce su sobrevivencia y el paso a estado de pupa (Hopwood et al., 2016). En un estudio de laboratorio, la ingestión crónica de 4 a 8 ppb de imidacloprid resultó en un 50% de sobrevivencia de abejas obreras después de 30 días (Sánchez-Bayo, 2014). Un estudio de monitoreo a nivel de campo realizado durante 8 años por van Dijk, van Staalduinen y van der Sluijs (2013), concluye que concentraciones de imidacloprid de 0.01 ppb provocaron la reducción significativa de macroinvertebrados en aguas superficiales, lo cual demuestra la afectación de otros ecosistemas por parte de este insecticida. Otros estudios refuerzan la conclusión de los neonicotinoides como una amenaza importante en todo el mundo para la

biodiversidad, los ecosistemas y todos los servicios que estos proporcionan (Giorio et al., 2017).

6.2.2 Tiametoxan N° CAS: 153719-23-4

Registrado en Costa Rica para ser usado en los cultivos de algodón, arroz, caña, chayote, cítricos, chile, melón, naranja, pastos, piña, tomate y sandía (SFE, 2022b), aunque se han encontrado residuos en cebolla en la zona de Zarcero (Ramírez et al., 2016), lo que indica que hay uso ilegal.

El tiametoxan es un insecticida de contacto rápido, estomacal y sistémico, rápidamente absorbido por la planta y transportado acrópetamente vía xilema. Afecta los receptores de acetilcolina nicotínica en el sistema nervioso, así es eficaz contra los insectos chupadores y masticadores, incluyendo pulgones, trips, escarabajos, ciempiés, milpiés, minadores de hojas, barrenadores y termitas (Fairbrother et al., 2014); así como en salud pública.

El tiametoxan se metaboliza a clotianidina, presenta una vida media en el suelo de 25 a 100 días (Hopwood et al., 2016).

6.2.3 Acetamiprid N° CAS: 135410-20-7

Formulaciones que contienen acetamiprid están registradas en Costa Rica para los cultivos de piña, algodón, melón, sandía y tomate (SFE, 2022b), en otros países se usa en hortalizas de hoja y fruto, cultivos de col, cítricos y plantas ornamentales

(Fairbrother et al., 2014). El IRET (2022) reporta su uso para el control de Hemíptera, especialmente áfidos, Thysanoptera y Lepidóptera en muchos cultivos.

El acetamiprid es moderadamente tóxico para las abejas melíferas con una DL_{50} entre 2 a 10.99 ug y presenta una vida media en el suelo de 1 a 8 días (Hopwood et al., 2016). Se ha encontrado polen contaminado por acetamiprid en concentraciones significativamente más altas en apiarios localizados en contextos de agricultura intensiva (Calatayud et al., 2018). También se ha determinado que para abejas melíferas expuestas a una mezcla de acetamiprid y el fungicida fenbuconazol, la toxicidad letal aguda de la mezcla es hasta cinco veces mayor que la exposición a sólo el acetamiprid, manifestando la sinergia entre este insecticida neonicotinoide y otro plaguicida (Hopwood et al., 2016).

6.2.4 Tiacloprid N° CAS: 111988-49-9

En Costa Rica se encuentra una formulación registrada con este i.a. en mezcla con betaciflutrina, para cultivos de chile dulce, tomate y ornamentales (SFE, 2022b). En otros países está registrado desde 2003 para usarse en algodón y pomáceas (cítricos) contra una variedad de insectos chupadores y masticadores, que incluyen pulgones, mosca blanca, polillas, escarabajos y minadores de hojas (Fairbrother et al., 2014). Es moderadamente tóxico para las abejas melíferas con una LD_{50} entre 2 y 10,99 ug y presenta una vida media en el suelo de 1 a 27 días (Hopwood et al., 2016). Sus metabolitos la amida-tiacloprid y el ácido

sulfónico tiacloprid son móviles en el suelo y se consideran medianamente tóxicos para lombrices de tierra (IRET, 2022).

6.2.5 Clotianidina N° CAS: 210880-92-5

En otros países fue registrado en 2003 para ser usado en maíz, canola, uvas, pomáceas, arroz, tabaco, césped y plantas ornamentales, contra una amplia variedad insectos chupadores, mosca blanca, escarabajos y polillas (Fairbrother et al., 2014). De uso en follaje, semillas y aplicaciones al suelo.

En Costa Rica, a la fecha no hay registros de este insecticida (SFE, 2022b). Es altamente tóxico para abejas melíferas por contacto y por ingestión con una $DL_{50} < 2\text{ug}$ y presenta una vida media en el suelo de 148 a 1155 días (Hopwood et al., 2016).

6.2.6 Dinotefuran N° CAS: 165252-70-0.

En otros países fue registrado en 2012 para usarse en algodón, mostaza, césped y uso en jardines, cultivos de hortalizas, para un amplio espectro de insectos, incluyendo áfidos, mosca blanca, trips, saltamontes, minador de hojas, mosca de sierra (*Symphyta* sp), grillo topo, chinches, escarabajos y cucarachas (Fairbrother et al., 2014). También se usa en medicina veterinaria como preventivo de pulgas en perros y gatos. Es altamente tóxico para abejas melíferas por contacto y por ingestión con una $DL_{50} < 2\text{ug}$ y presenta una vida media en el suelo de 138 días (Hopwood et al., 2016).

Para Costa Rica no se han registrado a la fecha formulaciones de dinotefuran para uso comercial (SFE, 2022b).

6.2.7 Nitenpyram N° CAS: 150824-47-8

No se encuentran formulaciones registradas en Costa Rica con este i.a. (SFE, 2022b). En otros países está registrado como un producto veterinario para uso en gatos y perros para el control de pulgas (Fairbrother et al., 2014), también se usa para controlar los insectos chupadores en arroz y en cultivos de invernadero y para plagas como áfidos, trips, mosca blanca, pulgas y garrapatas. Fue descubierto en 1989 y de uso comercial a partir de 1995.

Es un insecticida sistémico con acción estomacal y de contacto que afecta el sistema nervioso de los insectos. Por lo general, se suministra en polvo, gránulos, gotas e impregnado en collares para uso tópico y en tabletas para tratamientos orales (University of Hertfordshire, 2018).

6.2.9 Nithiazine N° CAS: 58842-20-9

No se encuentran formulaciones registradas en Costa Rica con este i.a. (SFE, 2022b). En otros países está registrado desde el 2011 para el control de la mosca doméstica en instalaciones de animales (aves, establos) y ubicaciones industriales (Fairbrother et al., 2014). En humanos es altamente tóxico si se ingiere (University of Hertfordshire, 2018).

6.4 MSMA N° CAS: 124-58-3

El ácido metilarsónico o metanearsonato monosódico (MSMA), es un herbicida arsenical, postemergente de amplio espectro, usado para el control de poaceas y otras malezas como *Murdania nudiflora* (Comelinaceae). Está registrado en Costa Rica desde 1993 para su uso en algodón, caña de azúcar, arroz y palma aceitera. En este último cultivo, además se usa para la eliminación de palmas antiguas en terrenos de renovación, por medio de la inyección del herbicida en el tronco.

Por su toxicidad aguda se clasifica como “Ligeramente Peligroso”, pero es una sustancia reconocida por sus capacidades de producir cáncer en seres humanos.

Su metabolito primario, el ácido cacodílico tiene persistencia alta en el suelo. El producto de degradación es el arsénico inorgánico.

Actualmente se encuentra prohibido en 31 países a nivel mundial y se considera un PAP bajo los criterios de FAO/OMS/PAN.

6.3 Fipronil N° CAS: 120068-37-3

El insecticida fipronil, a pesar de no pertenecer a la familia química de los neonicotinoides, es un plaguicida que ha causado severas intoxicaciones a nivel mundial y también en Costa Rica. Es una molécula que contiene átomos de cloro y flúor, lo que le da un carácter de mayor persistencia ambiental. Es usado para el control de trips, larvas de suelo, minadores, defoliadores y otros insectos en muchos cultivos como chile dulce,

piña, naranja, ornamentales y algodón, y para el control de hormigas en café, cítricos, palma aceitera, ornamentales y frutales (en formulaciones al 0,003 GB). También se utiliza para el control de exoparásitos (pulgas, garrapatas) en animales domésticos y productivos.

En Costa Rica se tiene casi 30 años de historia de importación y uso, iniciando en 1994 con 100 kg y llegando al 2017 y en 2021 a importarse más de 4 toneladas de i.a. y usando casi su totalidad en el país. Varias formulaciones de insecticidas comercializadas en países centroamericanos se componen de una mezcla de fipronil más otros insecticidas neonicotinoides (tiametoxan e imidacloprid). Uno de los casos de intoxicación de abejas documentado más recordado en nuestro país, se dio en la zona de Esparza, Puntarenas, afectando a más de 2 millones de abejas a causa del insecticida fipronil, según lo confirmó el Servicio de Salud Animal (SENASA) (<https://www.ameliarueda.com/nota/insecticida-fipronil-causo-muerte-2-millones-abejas-confirma-senasa>).



El fipronil actúa de forma sistémica, tiene una persistencia de extrema a mediana en el suelo; y, aunque tiene baja solubilidad en el agua, ha demostrado ser altamente tóxico para invertebrados acuáticos, es un insecticida extremadamente tóxico para peces, crustáceos y abejas. Al uso de fipronil se atribuye la intoxicación masiva de abejas melíferas en Francia en la década de los 90's debido a su bioacumulación (Holder et al., 2018). También se ha demostrado que es altamente tóxico para las abejas sin aguijón (Jacob et al., 2013).

En Costa Rica el fipronil es el plaguicida con mayor número de reportes de residuos por encima del LMR en vegetales frescos, con un 15,3% del total de incumplimientos; le sigue el metamidofos con 11,7%, un 9,1% corresponden a un metabolito del dimetoato, el ometoato, ya prohibido en Costa Rica, y un 8,8% al clorpirifos (SFE 2021b); todos los anteriores son insecticidas y considerados PAPs.

También el fipronil ha sido encontrado como residuo en cosechas de brócoli, repollo y coliflor en la zona de Pacayas, Cartago (Ramírez, Fournier y Ruepert, 2010).

En diciembre de 2013 la UE acordó prohibir la utilización del fipronil para el tratamiento de semillas de maíz y de girasol, a raíz de una propuesta de la Comisión Europea, por el riesgo grave del insecticida para poblaciones de abejas.

En Colombia, la razón principal para tomar la decisión de prohibir el fipronil, fue la muerte masiva de cerca de 64.000 colmenas de abejas entre 2016 y 2020. De acuerdo con los análisis del Instituto

Colombiano Agropecuario, el valor de pérdida de esas colmenas puede ser de US\$7 millones en material biológico y de US\$10 millones en producción de miel y polen.

Actualmente el fipronil está prohibido en 38 países a nivel mundial, incluyendo la UE, Reino Unido, Vietnam, Argentina, Colombia y varios países africanos (<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2013.3158>).

Este es un ejemplo de la importancia de los criterios de PAN, pues el fipronil no se considera PAP bajo las consideraciones de FAO y OMS, pero sí por PAN, por ser altamente tóxico para abejas.

6.5 Mancozeb N° CAS: 8018-01-7

Mancozeb es un fungicida que pertenece al grupo de los etileno-bis-ditiocarbamatos (EBDC), el cual incluye otros ingredientes activos como maneb y metiram. Este es utilizado como protector de contacto, preventivo, y actúa por medio de la inhibición de la germinación de las esporas al afectar el metabolismo de lípidos, la respiración y la producción de ATP en hongos (Belpoggi et al., 2002). En Costa Rica existe una gran gama de formulaciones registradas para más de 30 cultivos, entre ellos piña, banano, arroz, melón, sandía, papaya, frijol, maíz, café y hortalizas (SFE, 2022b).

En Costa Rica este fungicida es el plaguicida de mayor importación desde hace muchos años, y constituyó más del 25 por ciento del total de importaciones para el 2007 (Ramírez et al., 2009); actualmente se estima que representa cerca del 40% del uso total, llegando a aplicarse cerca de 5,6 millones de kgi.a. por año en Costa Rica (Vargas, 2022).



Mancozeb presenta una baja solubilidad en agua (6,2 mg l⁻¹ a 20°C), por lo que es poco probable que esta sustancia escurra o lixivie (Universidad Hertfordshire, 2018); sin embargo, se ha reportado la presencia de residuos de este plaguicida en cuerpos de agua superficiales (Yildirim y Özcan, 2007), posiblemente a causa del potencial que tienen los fungicidas aplicados de manera aérea sobre las plantaciones bananeras, de alcanzar y contaminar cuerpos de agua, poniendo en riesgo organismos acuáticos (Humbert et al., 2007).

Debido a la estabilidad de la molécula del mancozeb, la presencia de este plaguicida en cuerpos de agua generalmente es corta, ya que se degrada rápidamente en etilenotiourea (ETU) y sulfato de etilendisotiocianato (EPA, 2005b). ETU constituye el metabolito de mayor importancia toxicológica, y al ser una sustancia altamente móvil en el suelo, tiene un alto potencial de alcanzar las

aguas subterráneas y contaminarlas, poniendo en riesgo la salud humana (IRET, 2022). En estudios realizados en zonas productoras de banano en México (Geissen et al., 2010) y en Holanda (Johannesen et al., 1996), se han encontrado concentraciones altas de residuos de ETU en aguas superficiales y subterráneas. En un estudio realizado en 2011 en Costa Rica, se encontró la presencia de residuos del metabolito ETU en pozos cercanos a zonas de cultivo de banano (Skyt, 2011).

Otro producto de degradación asociado al mancozeb es el Manganeseo (Mn). Los fungicidas EBDC, como el mancozeb, contienen aproximadamente un 20% de Mn en su molécula (Xu, 2000), por lo que su uso en la agricultura puede constituir una fuente potencial de exposición a este metal (Gunier et al., 2013), el cual puede provocar efectos perjudiciales sobre organismos en desarrollo (ATSDR, 2008).

Mora et al. (2014), analizaron la presencia de este compuesto en sangre y cabello de trabajadores y de vecinos de plantaciones de banano en Costa Rica; se observó una relación positiva y significativa entre las concentraciones de Mn y varios factores ocupacionales y ambientales, como la fumigación aérea cercana y las concentraciones de Mn en el agua potable, lo que deja en manifiesto que, efectivamente, puede existir una exposición de la población a mayores concentraciones de magnesio a causa de la degradación del mancozeb.

Debido al uso agrícola que se le da al mancozeb y a sus propiedades fisicoquímicas, las principales rutas de exposición involucran la de tipo dietética, por medio del consumo de productos

contaminados o la ingesta de agua potable contaminada, la exposición laboral u ocupacional entre los trabajadores que realizan las mezclas químicas de los productos de aplicación, y entre los trabajadores agrícolas tras el contacto dérmico, por inhalación de polvo o pulverización fina, o a causa de la ingestión accidental (Ellenhorn y Barceloux, 1988).

Si bien es cierto que el mancozeb se caracteriza por tener una baja toxicidad aguda (EPA, 2005b), la exposición a este fungicida se ha relacionado con una amplia gama de riesgos de tipo crónicos. Este plaguicida se encuentra clasificado en el Grupo B como Probable Carcinógeno en humanos por la IARC (EPA, 2005a), está ligado a efectos neurotóxicos y síntomas asociados al Parkinson (Erro et al., 2010), a la interrupción de la hormona tiroidea en mujeres expuestas crónicamente (Goldner et al., 2010), a la desregulación en el desarrollo del cerebro fetal (Nordby et al., 2005), a cambios genotóxicos y premalignos duraderos en ovario humano y células inmunes, elevando las preocupaciones de posibles riesgos de cáncer y problemas de salud reproductiva en poblaciones humanas expuestas (Paro et al., 2012; Srivastava et al., 2012). Los experimentos realizados en roedores han establecido que mancozeb y ETU son capaces de cruzar la barrera placentaria con un gran potencial de interrumpir el rendimiento reproductivo, causar daño en el ADN e iniciar tumores en células fetales (Cecconi et al., 2007; Shukla y Arora, 2001). Además, también se ha demostrado que esta sustancia es un presunto disruptor endocrino asociado con el hiper e hipotiroidismo (Axelstad et al., 2011; Goldner et al., 2010).

Es por esta amplia evidencia que mancozeb y otros EBDC han sido objeto de revisiones especiales por EPA, debido a preocupaciones particulares con respecto a temas de salud (EPA, 2005b), reconociendo que existen ciertas brechas de datos para esta sustancia y su principal metabolito ETU, especialmente con relación al desarrollo del sistema tiroideo y reproductivo. Por esto ha sido incluido por PAN como un PAP, por existir pruebas de sus potenciales riesgos crónicos para la salud; sin embargo, es necesario realizar mayores estudios y más profundos, con el fin de generar información más concluyente acerca de otros efectos crónicos.

Actualmente, el mancozeb se encuentra prohibido en 29 países a nivel mundial.

En noviembre del 2020, la Agencia Reguladora de Manejo de Plagas de Canadá, una organización administrada por el gobierno federal, recomendó que el uso de este producto para el tratamiento de semillas (incluido papa), uso en invernaderos (tomate), en cultivos como zanahoria, apio, lechuga, sandía, plantas ornamentales y usos silviculturales, entre otros cultivos, se cancele; así como las aplicaciones hechas de forma manual y todas las formulaciones en polvo o polvo humectable (Gobierno de Canadá, 2022).

En mayo de 2020, el gobierno de la India tomó medidas para prohibir 27 plaguicidas, incluidos productos clave como mancozeb, 2,4-D y clorpirifos, después de que su Ministerio de

Agricultura y Bienestar de los Agricultores, concluyera que estos productos "tienen más probabilidades de ser un riesgo tanto para los humanos como para los agricultores".

La UE no renovó la aprobación de esta sustancia activa. El vencimiento de sus licencias de fabricación y uso en la UE fue el 31/01/2021, la entrada de prohibición para el 04 de julio 2021 y el periodo de gracia se extendió hasta el 04 de enero de 2023 (Comisión Europea, 2020).

6.6 Paraquat N° CAS: 1910-42-5

El paraquat es un herbicida de amplio espectro (no selectivo), que mata tanto plantas de hoja ancha como de hoja angosta. Es un herbicida de contacto, que afecta todas las partes verdes expuestas de una planta y no tiene movimiento dentro de la planta (no es sistémico). Sus propiedades herbicidas fueron descubiertas en 1955, pero se introdujo en el mercado en 1962 bajo la marca comercial Gramoxone, en formulaciones de 20 al 40% de dicloruro de paraquat (Viales, 2014). La formulación con 20% de i.a. es la que se comercializa comúnmente desde hace más de 50 años y es uno de los agroquímicos más vendidos en el mundo; por ejemplo, China en el 2009 exportó 53 000 t del plaguicida a los países que no contaban con restricciones para su uso (Watts, 2011a).

Actualmente, el paraquat es el tercer plaguicida más usado en Costa Rica, el segundo herbicida por debajo del glifosato, con un promedio anual de uso entre 2012 y 2020 de 861.896 kg i.a. (Vargas, 2022), y una importación al país de 3.686 t i.a. entre los años 2010 y 2017.

El paraquat es usado en cultivos perennes como banano, café, cítricos, chayote y palma africana; en cultivos anuales como maíz, tomate y chile; en siembra directa o mínima labranza, en forestales, en preparación de suelo para la siembra de hortalizas y granos, como defoliante o desecante de cultivos como papa y piña, y en zonas urbanas y domésticas (Bravo et al., 2013; Ramírez et al., 2014).



A pesar de que se usa en zonas urbanas, no hay productos con paraquat registrados para la aplicación en áreas residenciales. Todas las formulaciones registradas para uso en EE.UU. son Plaguicidas de Uso Restringido, y solo pueden ser utilizadas por aplicadores certificados.

El paraquat está prohibido en 48 países a nivel mundial y en muchos otros está restringido. En Europa fue prohibido desde julio del 2007 mediante una sentencia de la Corte de la UE por ser altamente tóxico. A raíz de este fallo, la transnacional Dole decretó moratoria en todo el mundo con relación al uso del paraquat en sus operaciones de frutas, con una sola excepción: cultivo de piña en Costa Rica, donde se usa como

desecante, a dosis sumamente altas, para eliminar las plantas cosechadas.



Es un herbicida del grupo bipiridilo y es clasificado por la OMS, de acuerdo con su toxicidad aguda, como clase II o "Moderadamente Peligroso", basada en una DL_{50} oral para ratas de 150 mg/kg de peso vivo (pv) (OMS, 2019); aún así, es de los herbicidas más tóxicos de forma aguda en el mercado, pues la ingestión oral de un trago de 10 ml de la solución comercial al 20%, es suficiente para causar la muerte, dependiendo de la constitución de cada persona (Bismuth et al., 1982).

La exposición a plaguicidas es el principal peligro químico en los países en desarrollo, debido a la dificultad de aplicar medidas protectoras (Wesseling et al., 1997). A menudo, los trabajadores agrícolas usan parcialmente ropa o equipo de protección personal y hay una variación considerable del cumplimiento de las normas de seguridad en los lugares de trabajo.

Las intoxicaciones sistémicas pueden ocurrir cuando hay un contacto del paraquat con la piel, especialmente si la piel está dañada o hay heridas; el contacto por mucho tiempo puede dañar y necrosar la piel, llevando a un incremento en la absorción; así mismo, la inhalación

del rocío de aspersiones de paraquat raramente resulta en una absorción sistémica, a menos de que las gotas entren en los alvéolos (que son la primera unidad de intercambio gaseoso en los pulmones), mientras que es más común que ocurra el efecto de irritación local en las vías respiratorias superiores (Hall y Becker, 1995). La deriva puede ser absorbida directamente por la mucosa de la boca.

Muchos estudios han demostrado alteraciones en la función pulmonar, o cambios moderados en el tejido del pulmón, de trabajadores que han tenido exposición laboral al paraquat por largos periodos de tiempo (Schenker et al., 2004; Dalvie, London y Myers, 2005). Hay tres factores que hacen al paraquat ser uno de los plaguicidas más mortales cuando se miran las estadísticas de intoxicaciones agudas, éstas son:

1. La alta toxicidad aguda para los seres humanos: el paraquat tiene aproximadamente 28 veces más toxicidad aguda (basada en la DL_{50} por vía oral) que el plaguicida de mayor uso en el mundo, el glifosato, y es mucho más tóxico que todos los herbicidas comunes. Produce la mayor tasa de mortalidad, más del 40% de las personas que lo ingieren, mueren. En Japón, la tasa de mortalidad es incluso más del 70% (Nagami et al., 2005). En Costa Rica en 2019, fueron reportadas por paraquat, 74 intoxicaciones, representando el 6% del total de intoxicaciones agudas por plaguicidas (CNCI, 2020).

2. La ausencia de un antídoto contra las intoxicaciones agudas con paraquat.

3. Su potencial para ser absorbido a través de la piel después de exposiciones prolongadas, aún más si la piel posee heridas o raspones. La amplia disponibilidad comercial de paraquat es una razón importante para el enorme número de víctimas mortales, pero también los plaguicidas de uso más común causan muchas menos muertes.

La exposición de los trabajadores agrícolas al paraquat, tanto durante la mezcla como en la propia aplicación, tiene efectos tóxicos agudos o inmediatos y crónicos o a largo plazo en la salud del usuario. Los efectos agudos ocurren frecuentemente, e incluyen daños a los ojos, sangrado nasal, irritación y quemaduras en la piel; la deficiencia respiratoria puede aparecer dos a tres días después de la exposición y la muerte puede ocurrir hasta varias semanas después de la absorción. El paraquat se considera PAP bajo los criterios de PAN, ya que sus formulaciones tienen la capacidad de ser mortales al ser inhaladas, generalmente por el usuario que abre o manipula los envases del herbicida.

Aún así, las formulaciones de paraquat comercializadas en Costa Rica, poseen banda toxicológica aguda de color amarillo y no de una categoría de alta peligrosidad aguda (banda roja).

6.7 Glifosato N° CAS: 38641-94-0

El glifosato o N-(fosfometil) glicina, es un ácido orgánico, formado por una molécula de glicina y otra de fosfometilo (IARC, Monografía 112). Es un herbicida sistémico, de amplio espectro, usado en presembrado y de forma

postemergente, para el control no selectivo de hierbas (Chan y Mahler, 1992; Cox, 1998). Además de ser un inhibidor enzimático especializado, es un quelante metálico (Bonnet et al., 2007; Shehata et al., 2013; Jayasumana, Gunatilake y Senanayake, 2014).

La acción herbicida del glifosato se ha explicado por la inhibición de la enzima Enol Piruvil Shikimato Fosfato Sintetasa (EPSPS) en la vía del shikimato (Haney et al., 2000), que imposibilita la formación de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano en las plantas, la producción de proteínas (Jaworski, 1972; Williams et al., 2000), y la síntesis de metabolitos secundarios esenciales: CoQ10 (ubiquinona), tetrahidrofolato, vitamina K, polifenoles y otros (Alibhai y Stallings, 2001).

Dado que la ruta metabólica del shikimato está presente en plantas, hongos y variedad de bacterias, pero no en las células de los vertebrados, algunos científicos y la mayoría de los reguladores, han asumido que las formulaciones de glifosato plantean un riesgo mínimo para los mamíferos; sin embargo, crecientes estudios muestran que puede afectar de modo adverso su fisiología por múltiples mecanismos (Sáenz et al., 2009; Saunders et al., 2015), como el daño oxidativo de los tejidos por la interferencia con enzimas de la cadena respiratoria de la mitocondria (Mahendrake et al., 2014; Mesnage et al., 2017).

Otro modo de acción del glifosato como herbicida, consiste en que imposibilita que la planta elabore fitoalexinas derivadas del triptófano, que sirven como sustancias de defensa, lo que predispone a las

plantas a afecciones por hongos patógenos del suelo, que además se ven favorecidos en detrimento de poblaciones de bacterias benéficas presentes en la rizosfera (Yamada et al., 2009). Este agroquímico también limita la capacidad de la planta para eliminar toxinas (Cox, 1998), ya que la ruta del shikimato modula el sistema de citocromo P450 (Richard et al., 2005). Se ha demostrado, además, que el glifosato afecta otros mecanismos fisiológicos variados de la planta como fotosíntesis, fijación de carbono y nutrición mineral; menos estudiado, su metabolito, el ácido aminometilfosfónico (AMPA), también afecta la biosíntesis de clorofila y reduce el ritmo de crecimiento de la planta (Gomes et al., 2014).

El intestino de los seres humanos y de otros animales, posee un ensamblaje único de microorganismos (bacterias, archaea, hongos, virus), llamado antiguamente flora intestinal y en la actualidad microbiota, que modula funciones y desarrollos cruciales en el cuerpo y mantiene un rol significativo, durante toda la vida, en el proceso salud enfermedad del huésped (Sharon et al., 2016), y por ejemplo, en la síntesis de serotonina, melatonina, dopamina, esenciales para el Sistema Nervioso Central (Martinez et al., 2018).

El perfil de la microbiota intestinal puede ser afectado por los residuos de glifosato en piensos, situación que se ha descrito en estudios de bovinos y aves de corral donde se evidenció una mayor resistencia de las bacterias patógenas y una mayor sensibilidad y vulnerabilidad de las bacterias benéficas (Kruger et al., 2014).

Por ser un quelante, el herbicida no se une a la materia orgánica como tal, sino a los iones metálicos (Székács y Darbas, 2012), al quelatarse con cationes como Al, Fe, Mn, Zn, Ca, Mg, Na, Sr Cd, Ni, Co, Pb, por lo que podría inmovilizarse y acumularse en el suelo y en plantas por períodos largos de tiempo, a veces años (Jayasumana, Gunatilake y Senanayake, 2014).



A pesar de que el glifosato (Roundup®) fue introducido inicialmente como herbicida “biodegradable”, este concepto se corrigió en las etiquetas a partir de la condena del juicio # 0077476 del 26/01/2007 por publicidad engañosa en Francia; estudios de la misma compañía comercializadora reportan que después de 28 días se obtenía un nivel de degradación de solo el 2%, lo que implicaba que podía vertirse en aguas subterráneas en zonas vulnerables (Eau et Riviers de Bretagne, France, 2007). El glifosato no se considera biodegradable, parámetro que exige que por lo menos un 70% del herbicida se haya degradado en 28 días, y según estudios de lodos, el glifosato alcanzó solo el 22% de degradación en este tiempo (Barba-Ho y Becerra, 2011).

Según un estudio de campo sobre prácticas agrícolas en Argentina, la concentración de glifosato en el suelo de mínima labranza se incrementa 1mg/Kg de suelo por cada 5 eventos de aplicación a dosis convencionales, por lo que los autores consideran al glifosato y al AMPA contaminantes pseudo-persistentes (Primost et al., 2017). El metabolito AMPA se adsorbe más al suelo que el glifosato y se acumula en los primeros 6 cm del suelo (Zhang et al., 2016), que es la porción más expuesta a la erosión por viento y agua, lo que implica un posible transporte hacia otras zonas.

Dentro de la cadena alimentaria, la presencia más relevante del glifosato procede de alimentos transgénicos tolerantes a altos niveles de este herbicida (Gasnier et al., 2009; Stephenson y Harris, 2016) y de los que, no siendo transgénicos, han sido sometidos al uso de glifosato precosecha como desecante o madurante (Smith, 2016), como el caso de la caña en Costa Rica.

El glifosato es poco metabolizado por plantas y su principal vía de degradación se hace por diversos segmentos de población microbiana (Yamada et al., 2009); por lo tanto, una vez que ingresa en la planta, no es posible su metabolización, por lo que permanece como molécula de glifosato hasta que los restos de la planta sean degradados por los microorganismos del suelo.

Su degradación se lleva a cabo en suelo, sedimento acuático y agua no estéril, de forma aeróbica o anaeróbica (Cedeira et al., 2006; Okama y Costa, 2016), siendo el principal metabolito detectado el AMPA (Giesy, Dobson y Solomon, 2000; Barrett

y McBride, 2005; Saunders et al., 2015; Stephenson y Harris, 2016) (producto de la ruptura del enlace C(2)-N), que se adsorbe fuertemente al suelo, lo que contribuye a su acumulación en dicha matriz, resultando tóxico para algunas bacterias, hongos y plantas (Yamada et al., 2009).

La EPA encontró que el mayor potencial de exposición ocupacional de formulaciones de glifosato, lo tienen los trabajadores que preparan las mezclas y cargan el herbicida en las bombas de aplicación; si se asume que no utilizan ningún equipo protector personal, se estima que el rango de exposición es de 0,03 a 7 mg/kg peso corporal (pc)/día, partiendo de una aplicación máxima de 6 kg de i.a. por ha; para los aplicadores, la exposición se estimó en un rango de 0,02 a 0,03 mg/kg pc/ día (EPA, 2016).

En Costa Rica, en un estudio con 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 de fincas convencionales como en los de fincas orgánicas; los niveles de mancozeb, clorpirifos y piretroides fueron más altos entre los trabajadores de fincas convencionales, no así los niveles de glifosato, que fueron similares entre agricultores orgánicos y convencionales (Fuhrmann et al., 2019), lo que podría llevar a pensar que la exposición de trabajadores de fincas orgánicas se da vía dieta, por el consumo de granos que fueron tratados o desecados con glifosato (como maíz y trigo, principalmente). Basado en estudios limitados utilizando pequeñas cohortes, se estima que el glifosato es encontrado regularmente en

orina humana a niveles que corresponden a un consumo dietario diario entre 0.1 a 3.3 $\mu\text{g}/\text{Kg pc}$ (Niemann et al., 2015).

Varios proyectos del IRET desarrollados en diferentes zonas agrícolas del país en fincas de pequeños productores, encontraron que la mayoría de los aplicadores no usan ningún tipo de equipo de protección personal al atomizar plaguicidas y cuando aplican glifosato. El color verde de la etiqueta, sumado al mito de su biodegradabilidad y de su inactividad al contactar el suelo, hacen que las medidas de protección sean casi nulas. La absorción vía inhalatoria de este herbicida no volátil es posible cuando es pulverizado sin protección (Ye et al., 2013), siendo la toxicidad por esta vía 10 veces más alta que la reportada por vía oral (Cox, 1995).

Cuando se aplica glifosato a dosis comerciales, tanto éste como su metabolito AMPA, se puede encontrar en aire y lluvia. Chang, Simcick y Capel (2011), cuantificaron glifosato y AMPA en ambiente atmosférico en tres áreas agrícolas de EE. UU. (Mississippi, Iowa e Indiana), tomando como base una aplicación de aproximadamente 1 kg i.a./ha; glifosato fue detectado en más del 60% y AMPA en más del 50% de las muestras de aire y lluvia de los tres estados. En lluvia, rangos de glifosato y AMPA fueron similares, con medias superiores en períodos de más aplicación, de 0,1 a 0,2 $\mu\text{g}/\text{L}$. La presencia de glifosato en el aire se explica por dos mecanismos: deriva de la pulverización aplicada y erosión eólica de partículas del suelo; el AMPA solo tiene este segundo mecanismo. Se estima que en promedio el 97% del glifosato en el aire, es

removido por una lluvia semanal mayor a 30 mm.

Los coadyuvantes, que son parte de las formulaciones de glifosato, han evidenciado un efecto sinérgico con el herbicida (Cox, 1995; Annett, Habibi y Hontela, 2014) que amplifica al menos tres veces la toxicidad del principio activo en roedores de experimentación (Dallegrave et al., 2003; Rondón et al 2012; Mesnage et al., 2014). Experimentos de larga data ofreciendo agua que contenía la formulación comercial Roundup® a dosis de 0.1 ppb (0.0001mg/l), equivalente a 0,05 ppb de glifosato a ratas, mostraron efectos tóxicos en hígado y riñones (Mesnage et al., 2015). El estándar de glifosato para agua potable en EE. UU. es 0.7mg/l (700 ppb); concentraciones 14 mil veces más bajas que este estandar, causaron efectos tóxicos medibles en un experimento con roedores (Quarles, 2016).

En otros estudios de laboratorio con líneas celulares humanas, dosis de formulaciones de glifosato más bajas que las utilizadas en la agricultura y consideradas inocuas para el ser humano, resultan ser disruptores endócrinos a partir de 0.5 ppm, citotóxicas desde 10 ppm y producir daños en el DNA desde 5 ppm (Gasnier et al., 2009). El glifosato ha sido asociado como componente de la multicausal Enfermedad Renal ocupacional que afecta agricultores de las tierras bajas del Pacífico Seco de Costa Rica, dedicados al cultivo de caña, cuyo cultivo se trata con aspersiones terrestres y aéreas del herbicida (Wesseling y Weiss, 2017).

Actualmente se registran importaciones al país de glifosato de 1.933.897 kg i.a., 1.371.893, 1.408.689, 868.657 y 1.757.621 para 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, respectivamente (SFE, 2022b), y un uso aparente promedio entre 2012 y 2020 de 1.402.089 kg i.a. (Vargas, 2022). Es el segundo plaguicida de mayor uso y el principal herbicida utilizado en Costa Rica.

El Ministerio de Salud (MS), a través de una Alerta Sanitaria en 2019, con la finalidad de resguardar la salud de los costarricenses y en cumplimiento del artículo 50 de la Constitución Política de Costa Rica, que establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, y que el Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho, PROHIBE del uso de herbicidas de USO PROFESIONAL y USO AGRICOLA en ambientes donde vivan, circulen, permanecen, o concurren personas (viviendas, edificios, instalaciones públicas y privadas, comercios, vehículos públicos y privados, jardines interiores y exteriores, líneas férreas, etc.). A la fecha se han registrado ente el MS, dos formulaciones con herbicidas para uso estos ambientes: 2,4-D + fluoroxipir, e imazapyr.



Probablemente cancerígeno:

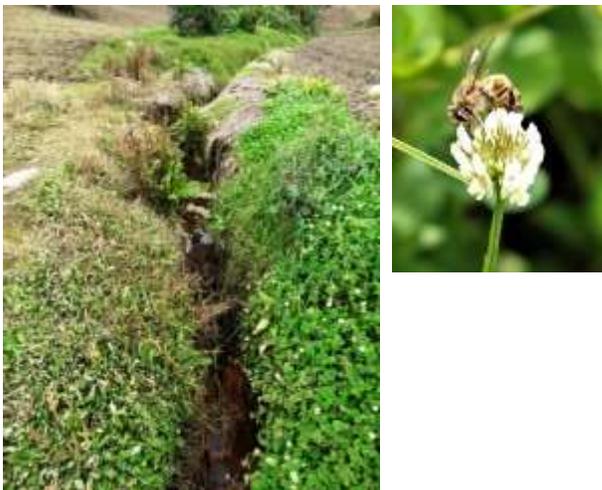
En el año 2015, la OMS clasificó el herbicida glifosato en el grupo 2A, lo que corresponde a una sustancia "probablemente carcinógeno para el ser humano". Esta comunicación se desprende del trabajo de la IARC, cuyos resultados se reunieron en la Monografía 112 y su resumen fue publicado en la revista científica *The Lancet Oncology* (2015 (16):490-491).

En la evaluación de la IARC sobre el glifosato y sus formulaciones se concluyó que: 1. Existe evidencia fuerte para dos mecanismos carcinogénicos (estudios de laboratorio): genotoxicidad y estrés oxidativo. 2. Existe evidencia limitada epidemiológica (estudios humanos) para linfoma no Hodgkin (LNH) y 3. Hay evidencia suficiente de carcinogenicidad en animales de laboratorio con estudios de largo plazo, como lo indica la Monografía 112 del IARC (Guyton et al., 2015) y Clausing (2017). Para valorar el peligro de cáncer en humanos, la IARC tomó en cuenta evidencia de estudios de 3 diferentes países donde un total de 2592 personas (trabajadores), desarrollaron LNH después de exposición a herbicidas de glifosato y de metaanálisis de todos los estudios de LNH disponibles. Es biológicamente plausible que agentes para los que existe suficiente evidencia de carcinogenicidad en animales experimentales también presenten un peligro carcinogénico para el ser humano; información científica adicional demuestran que, el agente causa cáncer a través de mecanismos específicos de especie, que operan tanto en animales de experimentación como en humanos (IARC, Mon 112).

Actualmente, el glifosato ha sido prohibido en 3 países a nivel mundial: Luxemburgo (01/07/2023), Vietnam y México, sin embargo, Bayer, el productor de plaguicidas Roundup, optó por demandar a Luxemburgo, argumentando que la prohibición infringía la legislación de la UE. Austria intentó varias veces una prohibición total del glifosato en 2019 y 2020, sin embargo el parlamento rechazó la propuesta y solamente prohíbe el uso de glifosato en las llamadas áreas "sensibles" y para uso privado; sigue estando permitido el uso profesional del glifosato, incluida la mayoría de las aplicaciones en la agricultura (<https://www.fas.usda.gov/data/austria-austrian-parliament-adopts-partial-ban-glyphosate>).

Vietnam prohibió las importaciones de glifosato desde el 10/06/2019, sin embargo, extendió el uso del herbicida hasta el 30/06/2021 (<https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Vietnam%20Extends%20the%20Use%20of%20Glyphosate%20until%20June%202021%20Hanoi%20Vietnam%2005-14-2020>).

La prohibición del glifosato en Tailandia estaba programada para entrar en vigencia en diciembre de 2019, sin embargo, luego de la presión de la industria, la prohibición se redujo a una restricción. Otros países como Arabia Saudita, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos, Qatar, Bahrain y Oman, han programado igualmente prohibiciones totales, pero por diversas razones, estas se han detenido o modificado.



Alemania planea prohibir totalmente el glifosato al 31/12/2023 para detener la abrupta reducción en la biodiversidad de insectos, mientras aplica restricciones de uso como en muchos otros países (<https://news.agropages.com/News/News-Detail--31907.htm>). Esta misma fecha rige para todos los países de la UE (<https://spudman.com/news/glyphosate-license-extended-to-end-of-2023/>).

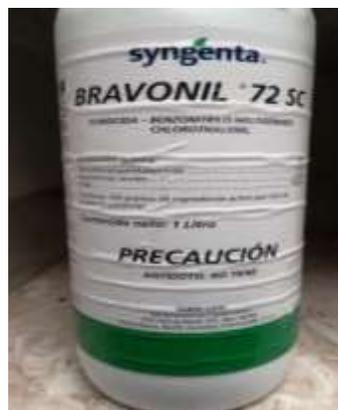
6.8 Clorotalonil N° CAS: 1897-45-6

El clorotalonil es un fungicida sintético, del grupo de los benzonitrilos y clorados, de acción foliar, de contacto o protector (no sistémico), usado para el control de muchas enfermedades fungosas en un amplio rango de cultivos. En Costa Rica existen formulaciones con clorotalonil registradas para usarse en cerca de 50 cultivos, como banano, café, cítricos, palma, arroz, hortalizas, ayote, flores, frijol, maní, papaya, entre otros. Es el plaguicida con el mayor número de productos comerciales registrados en Costa Rica, con 938 registros, de los cuales existen 586 productos comerciales

registrados para usarse en hortalizas (Vargas, 2022).

Clorotalonil es el cuarto plaguicida de mayor consumo en el país con un promedio de uso anual de 861.896 kg i.a./año entre 2012 y 2020 (Vargas, 2022); para el 2020 el SFE reporta un uso de 599.154 kg i.a. (SFE, 2022b).

Se usa de forma muy amplia y en grandes cantidades en cultivos como banano, cebolla, papa, tomate, chile y zanahoria; así como en menor medida en producción de lechuga, apio, culantro, remolacha, melón, frijol, plantas ornamentales y aguacate. Incluso es usado en cultivos sin que exista un registro legal para hacerlo, hecho que se corrobora al observar el reporte de análisis de residuos de plaguicidas realizados a vegetales frescos en 2020 y 2021, donde aparecen cultivos como albahaca, culantro castilla, culantro coyote, espinaca, fresa, orégano, perejil, romero y tomillo con residuos de clorotalonil por encima de los LMR permitidos (SFE, 2022a); aunque en Costa Rica se ha detectado en hortalizas desde inicio de los años 80, en 1992, 2001-2003, 2007, 2006-2009 y 2014-2016 (IRET, 2022; Ramírez et al., 2014; Ramírez et al., 2016).



En el caso de residuos en hortalizas, se advierte que hay niveles que superan hasta en más de 1000 veces los LMR existentes para este plaguicida, y sucede tanto en los cultivos para los que no hay registros, como en otros que sí los tienen. Se pueden considerar como los más críticos, por la contaminación con clorotalonil, la lechuga, el culantro castilla y el apio; estos tres productos generan una alta preocupación, no solo por tener grandes cantidades de este compuesto, sino porque se consumen sin procesar, es decir, sin pelar (Vargas, 2022).

También es común encontrar residuos de clorotalonil que viajan por el aire y llegan unido al polvo a casas y escuelas cerca de lugares de alto uso (Solano et al., 2005), como las plantaciones bananeras; Córdoba (2015), encontró clorotalonil en el 56% de las muestras de polvo de escuelas inmersas en zonas bananeras versus en el 17% en escuelas no inmersas (mediana de 12,8 ug/g); y para muestras de aire en el 62% y 33%, respectivamente. También clorotalonil fue encontrado en muestras de aire y suelo cerca de los Volcanes Barva y Poás en 2004 (IRET, 2022).

Una impureza presente en formulaciones de clorotalonil, y también un metabolito producido, es el hexaclorobenceno, plaguicida prohibido en Costa Rica. Otros metabolitos producidos a partir de la molécula del clorotalonil son el 4-hidroxi-2,5,6-tricloro-isoftalonitrilo, el cual es persistente, medianamente móvil en el suelo y puede lixiviarse, y el ácido 3-carbamil-2,4,5-triclorobenzoico que posee persistencia y es medianamente móvil; ambos son medianamente tóxicos de forma aguda para mamíferos, aves y

lombrices de tierra, y de forma crónica para lombrices de tierra (IRET, 2022).

Asimismo, el clorotalonil está clasificado como carcinógeno de categoría 2 de conformidad con el Reglamento 1272/2008 del Parlamento Europeo, mientras que, en la conclusión de la Autoridad, se indica que el clorotalonil debe clasificarse como carcinógeno de categoría 1B (Diario Oficial UE, 2019).

De acuerdo con este criterio técnico de la UE, bajo el cual se aplica el principio de precaución, no se renueva el permiso (registro) de clorotalonil en Europa, debido a:

- La capacidad de que metabolitos de clorotalonil contaminen aguas subterráneas, al superar el valor de 0,1 µg/L en todos los escenarios,
- No se puede excluir una preocupación por la genotoxicidad de los residuos a los que estarán expuestos los consumidores,
- El riesgo para anfibios y peces (muy tóxico para organismos acuáticos; posible daño al ADN).
- La clasificación propuesta del clorotalonil por la revisión por pares como carcinógeno de categoría 1B de acuerdo con las disposiciones del Reglamento (CE) 1272/2008.

Existe mucha evidencia pasada y presente de que el clorotalonil es un fuerte contaminante de aguas. En Costa Rica ha sido reportado por el IRET en muestras de agua superficial del Lago Arenal y sus tributarios (1987-1988); cuenca del Río Suerte y Área de Conservación Tortuguero (1993-1998) en

concentraciones que representan un riesgo para los organismos acuáticos; en sedimentos de canales de drenaje y ríos en plantaciones bananeras del Valle de la Estrella (1992). Detectado en agua del río Sarapiquí (1997); en nacientes y pozos bajo la influencia del cultivo de piña en Pocora y Siquirres (2002-2004, 2007), y en aguas superficiales utilizadas en el cultivo de helechos en Poás de Alajuela (2000) (IRET, 2022).

También se ha reportado en el Caribe en agua superficial, luego de eventos masivos de mortalidad de fauna acuática, y en pelo de una población de perezosos que habita cerca de cultivos de banano y piña (2005-2007); en quebradas y en suelo de regiones hortícolas de Cartago (2006 y 2008) y en muestras de agua y sedimento en áreas de cultivo de ornamentales y helechos de Fraijanes, Alajuela (2001), luego de una intoxicación de personas. De 1999-2000 se detectó en muestras de agua superficial de San José de la Montaña, Heredia, en zonas de cultivo de helechos en concentraciones de hasta 134 µg/L. Y más recientemente (2021), en la zona de Cipreses de Oreamuno y Pacayas de Cartago, se detectaron metabolitos de clorotalonil contaminando nacientes de agua usadas para acueductos domésticos, en concentraciones muy por encima de los LMR permitidos para agua de beber (Semanao Universidad, 2022).

Otros efectos del clorotalonil en organismos son:

Se considera un factor de declinante en poblaciones de abejas asiáticas y abejorros, y las hace más vulnerables al ataque del parásito intestinal *Nosema ceranae* (Pettis et al., 2013).

Desde abril 1998, en la Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas del Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey, se cita que el clorotalonil puede afectar a las personas al inhalarlo (irritación de nariz, garganta y pulmones) y que debe manipularse como un carcinogénico (con extrema precaución); sostiene que: “Pueda que no exista ningún nivel seguro de exposición a un carcinogénico y, por consiguiente, siempre debe reducirse al mínimo posible el nivel de contacto” (<https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0415sp.pdf>)

El clorotalonil se encuentra prohibido en 32 países globalmente: los 27 miembros de la UE, Suiza y Reino Unido, además de Palestina, Arabia Saudita y Colombia.

6.9 Sulfloramida CAS 4151-50-2

La sulfloramida es un plaguicida organofluorado de síntesis química, usado como hormiguicida, que al degradarse se transforma en sulfonato de perfluorooctano (PFOS). Los compuestos orgánicos fluorados son resistentes a la fotólisis y a la degradación microbiana, de ahí su alta persistencia en el medio. Así mismo, el PFOS es un contaminante tóxico, extremadamente persistente y bioacumulable, que está sujeto a medidas de restricción mundial por el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP).

La sulfluramida es un plaguicida que se formula generalmente como cebos granulados (GB) para el control de hormigas cortadoras de hojas, con un empleo muy extendido en plantaciones industriales de eucalipto, pino y palma aceitera en Latinoamérica, además de su uso contra termitas y hormigas rojas, en pastizales para la ganadería, frutales y otros cultivos agrícolas. En algunos países también se autoriza su uso contra insectos domésticos como hormigas y cucarachas de jardín. Históricamente se ha usado también para el control de la hormiga de fuego roja (*Solenopsis invicta*), en la protección de cableado y contra termitas. En Costa Rica se da un uso en cultivos como café, cítricos, palma aceitera, melón, sandía, ornamentales y en jardines de zonas urbanas.

La sulfluramida está clasificada en Costa Rica y en numerosos países, en la categoría toxicológica IV (banda verde), considerando solo su toxicidad aguda. Pero el problema principal de la sulfluramida es ambiental, pues se degrada en PFOS, compuesto que cumple con los criterios del Convenio de Estocolmo de persistencia, bioacumulación, efectos adversos y transporte a grandes distancias. Por ello al PFOS se le considera un Contaminante Orgánico Persistente.

En la UE la sulfluramida y el PFOS ya no se emplean en la formulación de cebos o insecticidas para el control de escarabajos y hormigas. En EE.UU. la EPA canceló la producción de sulfluramida en mayo de 2008 y de todos los productos registrados en 2012. Esto incluye el sur de EE.UU., donde habitan las hormigas cortadoras de los géneros *Atta* y *Acromyrmex*, presentes en una

gran parte de América Latina y el Caribe. El Ministerio de Agricultura y Relaciones Exteriores de China, un importante consumidor de sulfluramida, revocó todas las licencias de producción y uso de sulfluramida a inicios de marzo de 2019. Además, está prohibido en 30 países a nivel mundial.

Sin embargo, la producción, exportación, importación y uso de la sulfluramida continúa en América Latina y el Caribe. En Costa Rica se importan cantidades pequeñas de sulfluramida, cerca de 100 kg i.a. por año, y entre 2010 y 2020 se importaron 1.115 kg i.a.

Entre las posibles alternativas al uso de sulfluramida está el control biológico aplicado. Hasta el momento lo más prometedor es la utilización de entomopatógenos para el control de hormigas y el antagonista *Trichoderma* sp. contra el hongo que estas cultivan (*L. gongylophorus*). Entre los entomopatógenos más utilizados están *Beauveria bassiana* y *Metarrhizium anisopliae*. En Costa Rica existen formulaciones comerciales con este tipo de hongos (*Metharrizium* sp, *Beauveria bassiana*, *Phacelomyces* sp y esencia de mostaza) que han dado resultados muy positivos en el control de zompopas.

Además, se utilizan otras alternativas químicas como el octaborato de sodio y la hidrometilnona, mucho por petición de certificadoras que buscan eliminar su uso y especialmente en cultivos como café, palma aceitera y melón.

7. ALTERNATIVAS GENERALES A LOS PAPS

La lista de PAPS elaborada por PAN, proporciona una base para las actividades de implementación de la prohibición progresiva de estos plaguicidas altamente peligrosos, y su reemplazo por alternativas agroecológicas u otras alternativas químicas más apropiadas. Con el fin de aplicar la prohibición progresiva de los PAPS, apoyada por el Consejo de la FAO, la COAG (Comité de agricultura de la FAO), la FAO y el Panel de Expertos en Manejo de Plaguicidas (JPM) y otras instancias, todas las partes interesadas que menciona el Código Internacional de Conducta para el Manejo de Plaguicidas, deben desarrollar planes de acción para la prohibición progresiva. Estas partes interesadas son los gobiernos, la industria de los plaguicidas, la industria alimentaria, los agricultores y las organizaciones de productores, consumidores y grupos de interés público (PAN, 2022).

Existe una fuerte justificación para una regulación más estricta de los PAPS, a partir de estudios científicos realizados en varios países europeos y las medidas de prohibición adoptadas por la UE en el uso de imidacloprid, tiametoxam y clotianidina en cultivos a campo abierto (Nature, 2018) y tiacloprid y acetamiprid por parte de Francia, que no sólo los prohíbe en cultivos al aire libre, sino también en invernaderos (Telegraph, 2018).

La restricción de los plaguicidas a los usos estrictamente necesarios permitirá limitar los riesgos de pérdida de los polinizadores y afianzará el control de especies plaga por medio de depredadores nativos (Connolly, 2013). El

uso limitado y oportuno de los plaguicidas debe garantizar la seguridad de las abejas, especialmente durante la floración de los cultivos y plantas silvestres aledañas, para permitir las sinergias de la polinización a través de la facilitación entre las especies de abejas y su determinante papel en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Isaacs et al., 2017; FAO, 2014).

Como lo manifestó el científico británico Goulson (Nature 2018): "Lo que se necesita es un cambio hacia métodos de agricultura verdaderamente sostenibles que minimicen el uso de plaguicidas, favorezcan la presencia de los enemigos naturales de las plagas de los cultivos y respalden la biodiversidad y los suelos saludables".

El MIP concuerda con la anterior recomendación, ya que busca manejar las plagas reduciendo los efectos negativos de los plaguicidas; es un enfoque que involucra el uso de una variedad de técnicas económicamente viables y ambientalmente consecuentes para manejar plagas (Smith y Capinera, 2017).



Los programas MIP dependen de una inspección periódica o seguimiento de los

cultivos para determinar si las poblaciones de plagas están llegando a niveles de daño.

El uso de alternativas biológicas es importante para garantizar la seguridad alimentaria, en un mundo donde los monocultivos predominan cada vez más y por tanto son más propensos a plagas (Connolly, 2013); y esto representa también mayores desafíos para la integración de abejas silvestres para la polinización, al ofrecerles menos recursos de alimento y de anidación (Isaacs et al., 2017).



El futuro a largo plazo es trabajar a favor de la naturaleza y no en contra, aumentando la biodiversidad en el tiempo y en el espacio.

Altiere y Nicholls (2018), argumentan que el MIP no ha abordado las causas reales del desequilibrio ecológico, manifestado con la aparición de organismos plaga, y que prevalece una visión estrecha de que la única forma de superar las plagas es con el uso de insumos externos.

La agroecología representa un cambio para los sistemas de producción. Los agricultores logran una mayor calidad y

cantidad de producción mediante la transición de una dependencia de insumos químicos a un enfoque holístico-integrado basado en la gestión del ecosistema (FAO, 2017). Implica dos pilares fundamentales para el manejo agroecológico de plagas: a) quebrar el monocultivo mediante esquemas de diversificación que optimicen el hábitat para la fauna benéfica; b) incrementar la habilidad de un cultivo para resistir o tolerar el ataque de insectos plagas y enfermedades, mejorando las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo (Altiere y Nicholls, 2018).

El aumento de la biodiversidad en los sistemas agrícolas por sí solo reduce la necesidad de aplicar plaguicidas, ya que los organismos que comúnmente los habitan, tienen menos posibilidad de convertirse en plaga. En este sentido, el uso generalizado de herbicidas es una mala práctica agrícola, pues evita el crecimiento de plantas arvenses que pueden ofrecer más beneficios que perjuicios. Andreasen, Stryhn y Streibig (1996), encontraron que de 200 especies de malezas que crecían en campos agrícolas, solamente el 20% tenía alguna capacidad de competir con los cultivos y afectar su rendimiento.



Una forma muy conveniente de aumentar diversidad de plantas en un sistema agrícola es mantener poblaciones de arvenses, arbustos, palmas y otras plantas en bordes de cultivos, cercas, caminos o canales de riego, o incluso como islas dentro de los cultivos; esto ayuda a recuperar el equilibrio en el control natural de plagas y a salirse del círculo vicioso ocasionado por el uso de plaguicidas como única forma de controlar plagas.

La diversificación permite reintroducir la complejidad biológica, particularmente al aumentar la diversidad de plantas, cobertura perenne y la presencia de árboles y palmas. Estas van a ofrecer un sinnúmero de beneficios ecosistémicos como alimento para polinizadores, refugio de insectos depredadores, protección del suelo contra la erosión, ayuda en la infiltración de agua al suelo, aporte de materia orgánica al suelo y a sus microorganismos, absorber nutrientes de perfiles del suelo diferentes a los que exploran las raíces de los cultivos y darle protección al cultivo contra condiciones climáticas como viento, entre muchas otras (Ramírez, F., 2021).

Pero también se debe de volver la mirada al suelo, a preservar su biodiversidad, a mantener un suelo vivo donde se mejoren sus características físicas, químicas y biológicas. Se requiere una buena construcción del suelo, con materia orgánica, microbiología para descomponer esa materia orgánica y liberar biológicamente los elementos químicos que requieren las plantas para nutrirse, estar sanas y así soportar mejor las plagas. La diversidad del agroecosistema debe de iniciar con un suelo multidiverso y sano.

La agricultura agroecológica mejora la eficiencia de la producción de alimentos y proporciona una serie de beneficios colaterales ambientales, incluida la reducción de desechos y aumento de la heterogeneidad del paisaje agrícola; así como una mayor eficiencia económica a nivel de la finca (FAO, 2017). La diversificación de plantas dentro del agroecosistema permite atraer e incrementar los enemigos naturales y mejorar el control biológico de plagas en áreas donde permanece la vegetación natural en los bordes de los campos; es necesario identificar aquellas plantas especialmente productoras de néctar y polen, recurso alimenticio necesario para la reproducción óptima, la fecundidad y la longevidad de muchos enemigos naturales de plagas, como los depredadores y parasitoides, pero también para el beneficio de los polinizadores (Altiere y Nicholls, 2018).



Dentro de las prácticas agronómicas para un manejo agroecológico de plagas y enfermedades, se incluyen métodos de control cultural que diversifican el agroecosistema (asociación y rotación de cultivos, manejo de densidades y fechas de siembra, provisión de refugio para depredadores y parasitoides de insectos-plaga con el manejo de arvenses); controles físicos y mecánicos (como el

uso de trampas, barreras físicas y naturales).



Control biológico aplicado (estrategias de conservación de enemigos naturales nativos o introducidos, uso de microorganismos benéficos que atacan a los insectos e incluyen hongos, bacterias, virus y nemátodos; mejoramiento fitogenético para el uso de variedades más resistentes al ataque de insectos y enfermedades; uso de aceites vegetales, preparados minerales (cal, azufre, sulfato de cobre, ceniza); biorepelentes que se preparan a partir de plantas aromáticas para confundir los insectos plaga y mantenerlos alejados del cultivo, y de extractos vegetales como el neem, ajo, apazote, higuerrilla, entre otras (Bejarano, 2014; IPES/FAO, 2010; Smith y Capinera, 2017).

Todo ello realizado junto con el muestreo de las poblaciones de insectos, de vital importancia para conocer su ciclo biológico, cuáles son sus enemigos naturales, en qué etapa de su desarrollo se produce el daño y cuándo es más susceptible, de manera que se puedan utilizar medidas preventivas y realizar controles eficaces para aplicar solo cuando sea justificado (Bejarano, 2017; IPES/FAO, 2010).

Hay que considerar que no se trata de aplicar un conjunto de recetas o de insumos alternativos, sino de entender las causas de la aparición de insectos que surgen como plaga, de plantas no deseadas o de enfermedades, que son el resultado de un desequilibrio de las poblaciones y de las interacciones e interdependencias de los componentes de un agroecosistema, en territorios y comunidades específicos (Bejarano, 2017).

Dentro de este conjunto de prácticas integrales se incluye el uso de biopreparados, que son sustancias y mezclas de origen vegetal, animal o mineral presentes en la naturaleza, con propiedades nutritivas para las plantas o efecto repelente y atrayente de insectos, usados para la prevención y control de plagas y/o enfermedades y dirigidos a mejorar los sistemas productivos en los cuales se aplican. Las principales ventajas que tienen los biopreparados es que desarrollan resistencia más lentamente que los insecticidas sintéticos y suponen un menor riesgo de contaminación al ambiente, incluso pueden ser utilizados poco tiempo antes de la cosecha.

Algunas ONG trabajan para alentar y ayudar a los productores a ir más allá del MIP y desarrollar métodos de cultivo efectivos que eviten en gran medida el uso de plaguicidas y fertilizantes sintéticos. El movimiento de agricultura orgánica promueve métodos agrícolas que dependen de la rotación de cultivos, coberturas, abono verde, compost, control biológico de plagas y cultivo mecánico (Weinberg, 2009). Cabe resaltar que el uso de vermicompost como enmienda del suelo ha demostrado ser útil para acelerar

la degradación de imidacloprid en comparación con los suelos no tratados (Giorio et al 2017). De esta manera, los productores pueden mantener la productividad del suelo y control de plagas a la vez que excluye o limita estrictamente el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos, reguladores del crecimiento de las plantas, aditivos para la alimentación del ganado y organismos genéticamente modificados (Weinberg, 2009).

La FAO, ofrece en su página web una serie de medidas de mitigación de riesgos para la salud humana y el ambiente. Estas medidas incluyen desde el uso de equipo de protección personal para reducir la exposición ocupacional, procedimientos de seguridad para evitar derrames, hasta no aplicar los plaguicidas durante la floración de los cultivos con el fin de proteger a los polinizadores, respetar una zona de protección sin fumigar, a fin de reducir la exposición del agua superficial, etc. La selección de las medidas de mitigación de riesgos es, por lo tanto, un aspecto importante del registro de los plaguicidas.

En algunos casos, el uso de un plaguicida sólo puede ser aceptable si se aplican una o más medidas de mitigación de riesgos. Para lograr el alcance de este objetivo, la FAO brinda el denominado “Kit de herramientas para el Registro de Plaguicidas” (FAO, 2018b), como un sistema de apoyo para las decisiones de los registrantes de plaguicidas en los países en desarrollo, que implica los siguientes aspectos:

-Medidas de mitigación de riesgos para la salud humana al limitar la exposición ocupacional y de los consumidores.

-Medidas de mitigación de riesgos ambientales al limitar la exposición a los plaguicidas y los efectos negativos sobre las abejas dentro y fuera del campo.

-Medidas de mitigación de riesgos ambientales al limitar la exposición de las aguas subterráneas y del agua superficial y los efectos negativos en los organismos acuáticos.

Por último, varios autores coinciden en la necesidad de educar al agricultor y al consumidor sobre el proceso polinizador en los sistemas de producción agrícola, esto como parte del proceso de conservación de los polinizadores (García, Ríos y Alvarez, 2016; Bejarano, 2017). Este trabajo se puede desarrollar a manera de extensión por parte de las diferentes instituciones académicas o gubernamentales involucradas en proyectos de este tipo, de tal manera que se incluya la capacitación de técnicos y de líderes pertenecientes a grupos organizados de agricultores. El producto final de dicha capacitación deberá crear conciencia, entre los agricultores, de la importancia de los polinizadores para la agricultura y en general del medio ambiente y ofrecerá algunas de las medidas básicas que pueden tomarse para proteger dichos polinizadores (FAO, 2014).

8. CONCLUSIONES

La nueva clasificación de algunos plaguicidas, que toma en cuenta algunas características de toxicidad crónica y no solamente la antigua clasificación por etiquetas de colores, que únicamente refería a la toxicidad aguda que poseía una sustancia, amplía el panorama de las

repercusiones que pueden tener ciertos plaguicidas sobre el futuro de la humanidad y su ambiente.

El enfoque tradicional de toxicidad de una sustancia se basaba en la toxicidad aguda, el cáncer y la teratogénesis, con la suposición de que existe un umbral por debajo del cual una exposición química es segura, es decir, "la dosis hace al veneno". Instituciones como la EPA de EE. UU. todavía se basan en este modelo de umbral de daño, que otorga el derecho a contaminar siempre que las exposiciones se mantengan por debajo de ese supuesto umbral. Este nuevo enfoque de PAPS viene a confirmar que:

“para muchas sustancias químicas no existe un umbral de seguridad, incluso, pueden haber mayores efectos tóxicos crónicos en niveles más bajos de exposición, lo que es especialmente cierto, por ejemplo, para los plaguicidas disruptores endocrinos”.

Esta nueva normativa internacional, en el contexto del SAICM y del Código de Conducta de la FAO y OMS, a pesar de que caracteriza de una mejor manera el efecto que pueden tener estas sustancias sobre el entorno en que se aplican, tiene limitaciones similares a otros convenios internacionales, como el ser de carácter voluntario y sin mecanismos de sanción en caso de no cumplimiento.

Los países se enfrentan a estos portillos legales, muy aprovechados por las

corporaciones transnacionales y hasta por los mercados nacionales de agroquímicos, que tratan de impedir los intentos de regulación internacional, regional o nacional, que buscan restringir o prohibir especialmente el uso de aquellos plaguicidas que les resultan comercialmente rentables.

Costa Rica es un alto consumidor de plaguicidas considerados PAPS: las sustancias usadas en la agricultura convencional más aplicadas en los campos costarricenses, como mancozeb, glifosato, 2,4-D, clorotalonil, diazinon, clorotalonil, paraquat, diuron, etoprofos, clorpirifos, oxamil, entre otras, se consideran PAPS. De los 10 plaguicidas más usados en el país, 8 son PAPS, y el 90% del total de plaguicidas que usa Costa Rica cumplen con las características para considerarlos PAPS.

Con base en la evidencia científica reconocida por organismos internacionales y nacionales especializados en el tema, sobre la peligrosidad que presentan ciertos plaguicidas, se hace necesario un cambio en la legislación existente para aplicar los criterios de precaución e incorporar criterios de exclusión que permitan cancelar y no autorizar más registros de plaguicidas considerados PAPS, buscando el bien común de protección y respeto de los derechos humanos a la salud y el medio ambiente.

Así mismo, es necesario un cambio de las bases que sostienen la producción agrícola, pecuaria y forestal. Se deben de ir sustituyendo modelos que han resultado en altísimos costos ambientales, costos en salud pública, en resistencia de plagas, contaminación de recursos como agua,

suelo y aire y en una gran dependencia país en el tema de insumos importados. En este sentido, queremos que, tanto los productores, como las autoridades competentes en el tema de la producción

agrícola, pecuaria y forestal, vuelvan los ojos a la agroecología, que se vuelva a producir a favor de la naturaleza y no en contra de la naturaleza.

9. LITERATURA CITADA

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2008). Toxicological Profile for Manganese. Atlanta, GA.

Alibhai, M. y Stallings, W. (2001). Clousing down on glyphosate inhibition-with a new structure for drug discovery. *Proc Natl Sci USA*. 98 (6): 2944-2946.

Altieri, A., Nicholls C. (2018). Agroecología: ciencia fundamental para el diseño de fincas resilientes a plagas. *Revista LEISA V 34(1)* Disponible en <http://leisa-al.org/web/index.php/volumen-34-numero-1/3219-agroecologia-ciencia-fundamental-para-el-diseno-de-fincas-resilientes-a-plagas> Consultado el 7 de noviembre del 2020.

Andreasen, C., Stryhn, H. y Streibig, J.C. (1996). Decline of the flora in Danish arable fields. *Journal of Applied Ecology* 33, 619-626.

Annett, R., Habibi, H. y Hontela, A. (2014). Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment. *Journal of Applied Toxicology* 34: 458-479.

Axelstad, M., Boberg, J., Nellemann, C., Kiersgaard, M., Jacobsen, P.R., Christiansen, S. (2011). Exposure to the widely used fungicide Mancozeb causes thyroid hormone disruption in rat dams but no behavioral effects in the offspring. *Toxicol. Sci.* 120, 439–446.

Bandoim, L. (2020). An Analysis of California's Decision to Ban the Chlorpyrifos Pesticide. *FORBES*. Octubre, 2020. In: <https://www.forbes.com/sites/lanabandoim/2019/10/11/an-analysis-of-californias-decision-to-ban-the-chlorpyrifos-pesticide/amp/>

Barba-Ho, L., Becerra, D. (2011). Biodegradabilidad y toxicidad de herbicidas utilizados en el cultivo de caña de azúcar. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 10: 11-19. <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231122666001.pdf>

Barrett, K. y McBride, M. (2005). Oxidative Degradation of Glyphosate and Aminomethyl phosphonate by Manganese Oxide. *Environmental Science and Technology*. 39 (23): 9223-9228.

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>.

Belpoggi, F., Sofritti, M., Lambertini, L., Cevolani, D., Maltoni, C. (2002). Results of long-term experimental studies on the carcinogenicity of ethylene-bis-dithiocarbamate (mancozeb) in rats. - *Annals of the New York Academy of Science*. 982:123-136.B

- Bismuth, C.; Garnier, R.; Dally, S. y Fournier, P.E. (1982). Prognosis and treatment of paraquat poisoning: a review of 28 cases [Herbicides]. Selskostopanska Akademiya, Sofia (Bulgaria). Consultado en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19840032110>
- Bonnet, J., Bonnemoy, F., Dusser, M. y Bohatier, J. (2007). Assessment of the Potential Toxicity of Herbicides and their Degradation Products to Nontarget Cells Using Two Microorganisms, the Bacteria *Vibrio fischeri* and the Ciliate *Tetrahymena pyriformis*. *Environmental Toxicology* 22: 78-91.
- Bravo, V., de la Cruz, E., Herrera, G. y Ramírez, F. (2013). "Uso de Plaguicidas en Cultivos Agrícolas como Herramienta para el Monitoreo de Peligros en Salud". *Uniciencia*, 27(1), 351-376
- Cedeira, A. y Duke, S. (2006). The Current Status and Environmental Impacts of Glyphosate-Resistant Crops: A review. *Journal of Environmental Quality* 35: 1633-1658.
- Calatayud, P., Calatayud, F., Simó, E., Picó, Y. (2018). Pesticide residues in honeybees, pollen and bee's wax: Assessing beehive exposure. *Environmental pollution* 241(2018) 106-114 Disponible en <https://reader.elsevier.com/reader/sd/79F66CDAE7BDD0822AAA08937E21396D04745E860A57F4E5A206F3AE4BDCA30D0E6BB1AC6A6D5970F8C136D3EC95BD3A>
- Cecconi, S., Paro, R., Rossi, G., Macchiarelli, G., (2007). The effects of the endocrine disruptors dithiocarbamates on the mammalian ovary with particular regard to mancozeb. *Curr. Pharm. Des.* 13 (29), 2989–3004.
- Chan, P. y Mahler, J. (1992). NTP technical report on the toxicity studies of Glyphosate (CAS No. 107-83-6) Administered in Dosed Feed to F344/N Rats and B6C3F1 Mice. National Toxicology Program, Toxicity Reports Series number 16.
- Chang, F., Simcick, M., Capel, P. (2011). occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 30 (3): 548-555.
- Clausing, P. (2017). The Carcinogenic Hazard of Glyphosate: BfR's "Weight of Evidence Approach". *Journal of Environmental and Occupational Health Sciences*. 22 (1): 27-34.
- Christen, V., Bachofer, S., Fent, K. (2017). Binary mixtures of neonicotinoids show diferente transcriptional changes than single neonicotinoids in honeybees (*Apis mellifera*). *Biology, Environmental Pollution* V 220, Part B, 1264-1270. En <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116315482?via%3Dihub> Consultado el 13 de mayo 2022.
- Comisión Europea (2020). COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2020/2087. Mancozeb. Consultado en enero 2023 en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R2087&rid=6>
- 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.
- Connolly, C.N. (2013). The risk of insecticides to pollinating insects. *Communicative & Integrative Biology* 6:5, e25074. Disponible en <https://doi.org/10.4161/cib.25074> Consultado el 29 de agosto del 2021
- Córdoba, Leonel. (2015). Evaluación de la contaminación ambiental en aire y polvo por plaguicidas, en 12 centros educativos del cantón de Matina, Limón. Tesis MSc. Salud Pública, UCR. 132 p

Coronado, G. D., Holte, S., Vigoren, E., Griffith, W., Barr, D.B., Faustman, E., Thompson, B. (2011). "Organophosphate Pesticide Exposure and Residential Proximity to Nearby Fields: Evidence for the Drift Pathway." *Journal of Occu. & Env. Med.* 53, N8: 884–91. doi:10.1097/ JOM.0b013e318222f03a

Cox, C. (1995). Herbicide Factsheet (Part 1) Glyphosate (Roundup). *Journal of Pesticide Reform* 15 (3).

Cox, C. (1998). Herbicide Factsheet (Part 1 and 2) Glyphosate (Roundup). *Journal of Pesticide Reform* 18(3).

Dallegrave, E., Di Giorgio, F., Soares, R., Drawans, J., Roberto, P., Langeloh, A. (2003). The teratogenic potential of the herbicide glyphosate-Roundup in Wistar rats. *Toxicology Letters* 142: 45-52.

Dalvie, MA., London, L., y Myers, JE. (2005). Respiratory health effects due to long-term low-level paraquat exposure. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 172(5), 646–647, Consultado en: <http://ajrccm.atsjournals.org/cgi/content/full/172/5/646>

Diario Oficial de la UE (2019). Reglamento de Ejecución (UE) 2019/677 de la Comisión relativo a la no renovación de la aprobación de la sustancia activa clorotalonil con arreglo a lo dispuesto en el Reglamento (CE) n.º 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo. Consultado en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0677&from=SV>

Digeca (2022). Secretaría Técnica de Coordinación para la Gestión de Sustancias Químicas. Consultado en: <http://www.digeca.go.cr/areas/secretaria-tecnica-de-coordinacion-para-la-gestion-de-sustancias-quimicas>.

Eau et Rivières de Bretagne, France. (2007). D 08-87.757 F-D; 0077476. Consultado en: https://justicepesticides.org/en/juridic_case/eau-et-rivieres-de-bretagne-clcv-v-monsanto-scotts-france/.

EFSA (European Food Safety Authority). (2018). Q&A: Conclusions on neonicotinoids 2018. Disponible en <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/news/180228-QA-Neonics.pdf>

Ellenhorn, M. y Barceloux, D. (1988). *Medical toxicology: diagnosis and treatment of human poisoning*. Elsevier Science Publishing Co., New York 1512 p.

EPA. (2016). Glyphosate Issue Paper: Evaluation of Carcinogenic Potential. https://www.epa.gov/sites/production/files/201609/documents/glyphosate_issue_paper_evaluation_of_carcinogenic_potential.pdf

EPA (2005a). Mancozeb Facts. Prevention, Pesticides and Toxic Substances (7508C). EPA 738-F-05.

EPA. (2005b). Reregistration Eligibility Decision (RED) Mancozeb. Consultado en mayo 2022 en: https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/red_PC-014504_20-Sep-05.pdf

Erro, ME., Muñoz, R., Zandio, B., Mayor, S. (2010). Reversible Parkinsonism after accidental oral intake of mancozeb. *Mov Disord.* 26 (3): 557-8.

Fairbrother, A., Purdy, J., Anderson, T., Fell, R. (2014). Risks of neonicotinoid insecticides to Honeybees. *Environmental Toxicology and Chemistry* 33(4):719-731. Disponible en <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.2527>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018a). Uso promedio de plaguicidas por área cultivada Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/EP/visualize>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018b). Kit de Herramientas para el Registro de Plaguicidas. Sistema de Apoyo para las Decisiones de los Registrantes del Plaguicidas en los Países en Desarrollo. Disponible en [http://www.fao.org/pesticide-registration-toolkit/tool/page/pret/rm03-risk-mitigation-measures#Environmental%20risks%20%E2%80%93%20Limiting%20pesticide%20exposure%20and%20adverse%20effects%20on%20bees%20\(in-%20and%20off-field\)](http://www.fao.org/pesticide-registration-toolkit/tool/page/pret/rm03-risk-mitigation-measures#Environmental%20risks%20%E2%80%93%20Limiting%20pesticide%20exposure%20and%20adverse%20effects%20on%20bees%20(in-%20and%20off-field))

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). The future of food and agricultura: trends and challenges. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2014). Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. https://www.researchgate.net/publication/260266694_Principios_y_avances_sobre_la_polinizacion_como_servicio_ambiental_para_la_agricultura_sostenible_en_paises_de_Latinoamerica_y_el_Caribe

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/>

García, M., Ríos, L.A., Álvarez, J. (2016). La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *Ideias* 34(3):53-68 Disponible en https://www.researchgate.net/publication/304811532_La_polinizacion_en_los_sistemas_de_produccion_agricola_revision_sistemica_de_la_literatura

Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M., Séralini, G. (2009). Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology* 262:184-191.

Geissen, V., Que Ramos, F., J. Bastidas-Bastidas, P., Díaz-González, G., Bello-Mendoza, R., Huerta-Lwanga, E., Ruiz-Suárez, L. (2010). Soil and Water Pollution in a Banana Production Region in Tropical Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2010 Oct; 85(4): 407–413.

Giesy, J., Dobson, S. y Solomon, K. (2000). Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup Herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* 167: 35-120. Ed. Ware G.W. Springer, New York, NY.

Giorio, Ch., Safer, A., Sánchez-Bayo, F., Tapparo, A.L., Girolami, V., Bijleveld, M., Bonmatin, J.M. (2017). An Update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on Systemic Insecticides. Part 1: new molecules, metabolism, fate, and transport. *Environmental Science and Pollution Research.* Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0394-3>

Gobierno de Canadá. (2022). Re-evaluation Decision RVD2020-12, Mancozeb and Its Associated End-use Products. Pest Management Regulatory Agency. Consultado en: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/reports-publications/pesticides-pest-management/decisions-updates/reevaluation-decision/2020/mancozeb.html>

Goldner, W.S., Sandler, D.P., Yu, F., Hoppin, J.A., Kamel, F., Levan, T.D. (2010). Pesticide use and thyroid disease among women in the agricultural, health study. *Am. J. Epidemiol.* 171, 455–464.

Gore, A., Crews, D., Doan, L., La Merrill, M., Patisaul, H. y Zota, A. (2014). Introduction to Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs). Endocrine Society e IPEN. 76p Consultado en: <https://www.noharm.org/sites/default/files/documents-files/2999/Introduction%20to%20Endocrine%20Disrupting%20Chemicals.pdf>

Gomes, M., Smebdol, E., Chalifour, A., Hénault-Ethier, L., Labrcque, M., Lepage, L., Lucotte, M., Juneae, P. (2014). Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. *J Exp. Bot.* 65(17):4 691-703

Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology.* 50:977–87 Disponible en <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1365-2664.12111>

Gunier, R., Bradman, A., Jerrett, M., Smith, D., Harley, K., Austin, C., Vedar, M., Arora, M., Eskenazi, B. (2013). Determinants of Manganese in Prenatal Dentin of Shed Teeth from CHAMACOS Children Living in an Agricultural Community. [dx.doi.org/10.1021/es4018688](https://doi.org/10.1021/es4018688) | *Environ. Sci. Technol.* 47, 11249–11257

Guyton, K., Loomis, D., Grosse, Y., Ghissassi, F., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Scoccianti, C., Mattock, H., Straif, K. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology* 16 (5): 490-491. En: [https://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045\(15\)70134-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045(15)70134-8/fulltext)

Hall, AH. y Becker, CE. (1995). Occupational health and safety considerations in paraquat handling, In: Bismuth C, and Hall AH (eds), Paraquat poisoning: mechanisms, prevention, treatment. 249–266, New York.

Haney, R., Senseman, S., Hons, F., Zuberer, D. (2000). Effect of Glyphosate on Soil Microbial Activity and Biomass. *Weed Science* 48 (1):89-93.

Hladik, M.L., Main A.R. y Goulson D. (2018). Environmental risks and challenges associated with neonicotinoid insecticides. *Environmental Science & Technology* 52(6), 3329-3335. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b06388>.

Holde, P., Jones, A., Tyler, C., Cresswell, J. (2018). Fipronil pesticide as a suspect in historical mass mortalities of honeybees. *Biol Sciences* 115 (51) 13033-13038 Consultado en: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1804934115>

Hopwood, J., Code, A., Vaughan, M., Biddinger, D., Shepherd, M., Hoffman, Black, S., Lee-Mäder, E., Mazzacano, C. (2016). How neonicotinoids can kill bees: the science behind the role these insecticides play in harming bees. 2nd Ed. 76 pp. Portland, OR: The Xerces Society for Invertebrate Conservation. Disponible en https://www.xerces.org/wp-content/uploads/2016/10/HowNeonicsCanKillBees_XercesSociety_Nov2016.pdf

Hua, X., You, H., Luo, P., Tao, Z., Chen, H., Liu, F., Wang, M. (2017). Upconversion fluorescence immunoassay for imidaclothiz by magnetic nanoparticle separation. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 409: 6885-6892. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0653-7>

Humbert, S., Margini, M., Charles, R., Torres Salazar, O. M., Quiro's, A.L, Jolliet, O. (2007). Toxicity assesment of the main pesticides used in Costa Rica. *Agriculture Ecosystems and Enviroment.* 118:183-190.

IPCS (2002). International Programme on Chemical Safety. Global assessment on the state of the science of endocrine disruptors. World Health Organization. Consultado en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67357>

IPES/FAO (Promoción del Desarrollo Sostenible / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2010). Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. Consultado en: <https://www.fao.org/3/as435s/as435s.pdf>

IRET (Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas). (2022). Manual de Plaguicidas de Centroamérica. Disponible en <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/153-clorpirifos>

Isaacs, R., Williams, N., Ellis, J., Pitts-Singer, T. L., Bommarco, R., Vaughan, M. (2017). Integrated Crop Pollination: Combining strategies to ensure stable and sustainable yields of pollination-dependent crops Basic and Applied Ecology, ISSN: 1439-1791, Vol: 22, Page: 44-60 Elsevier BV Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179116301761>

Jacob, L.C., Soares, H.M., Carvalho, S., Nocelli, R.C., Malaspina, O., (2013). Acute Toxicity of Fipronil to the Stingless Bee *Scaptotrigona postica* Latreille. Bull Environ Contam Toxicol (2013) 90:69–72

Jaworski, E. (1972). Mode of action of N-phosphonomethylglycine. Inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. J of Agric and Food Chem 20 (6): 1195-1198.

Jayasumana, C., Gunatilake, S.& Senanayake, P. (2014). Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka. Int J of Env Research and Public Health 11(2): 2125-2147.

Johannesen, H., Nielsen, A.B., Helweg, A., Fomsgaard, I.S. (1996). Degradation of ethylenethiourea in surface and subsurface soil. The Science of the Total Environment. 191:271-276.

Jokisch, B.D., Alkon, A., Reynolds, K., Mutersbaugh, T., Jansen, K., Galt, R. (2015). Food Systems in an Unequal World: Pesticides, Vegetables, and Agrarian Capitalism in Costa Rica. The AAG Review of Books, 3:3, 146-156 DOI [10.1080/2325548X.2015.1050771](https://doi.org/10.1080/2325548X.2015.1050771)

Kasiotis, K.M.& Machera, K. (2015). Neonicotinoids and their metabolites in human biomonitoring: a review. Hellenic Plant Protection Journal 8:33-45. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/281704650_Neonicotinoids_and_their_Metabolites_in_Human_Biomonitoring_A_Review

Kruger, M., Schiedorn, P., Schrod, W., Hoppe, H., Lutz, W., Shehata, A. (2014). Detection of Glyphosate Residues in Animals and Humans. Environmental and Analytical Toxicology 4(2):5.

Mahendrakar, K., Venkatesgowda, P., Rao, M., Mutkule, D. (2014). Glyphosate surfactant herbicide poisoning and management. Indian J Crit Care Med 18 (5): 328-330.

Martínez, M.A.; Ares, I.; Rodríguez, J.L.; Martínez, M.; Martínez-Larrañaga, M.R.; Anadón, A. (2018). Neurotransmitter changes in rat brain regions following glyphosate exposure. *Environ. Res.* 161, 212–219.

Mesnage, R., Defarge, N., Spirooux de Vendomois, J., Séralini, G. (2014). Major Pesticides Are More Toxic to Human Cells than their Declared Active Principles. *BioMed Research International*,10,1155-17969.

Mesnage, R., Arno, M., Costanzo, M., Malatesta, M., Seralini, G., Antoniou, M. (2015). Transcriptome profile analysis reflects rat liver and kidney damage following chronic ultra-low dose Roundup exposure. *Environmental Health* 14 (1):70.

- Mesnage, R., Renney, G., S eralini, G., Ward, M., Antoniou, M. (2017). Multiomics reveal non-alcoholic fatty liver disease in rats following chronic exposure to an ultra-low dose of Roundup herbicide. *Scientific Reports* 7. <https://www.nature.com/articles/srep39328>
- Mora, A., van Wendel de Joode, B., Mergler, D., C ordoba, L., Cano, C., Quesada, R., Smith, D., Menezes-Filho, J., Lundh, T., Lindh, C., Bradman, A., Eskenazi, B. (2014). Blood and Hair Manganese Concentrations in Pregnant Women from the Infants Environmental Health Study (ISA) in Costa Rica. *Environ. Sci. Technol.*, 2014, 48 (6), pp 3467–3476.
- Nagami, H., Nishigaki, Y., Matsushima, S., Matsushita, T., Asanuma, S., Yajima, N., Usuda, M. y Hirose, M. (2005). Hospital- based survey of pesticide poisoning in Japan, 1998–2002, *International Journal of Occupational and Environmental Health* 11(2), 180–184
- Nates-Parra, G. (2005). Abejas corbiculadas de Colombia (Hymenoptera: Apidae). Universidad Nacional de Colombia. 156p
- Nature. (2018). Scientists hail European ban on bee-harming pesticides. *International Journal of Science*. 27 abril 2018. Disponible en <https://www.nature.com/articles/d41586-018-04987-4>
- Niemann, L., Sieke, C., Pfeil, R., Solecki, R. (2015). A critical review of glyphosate findings in human urine samples and comparison with exposure of operators and consumers. *Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 10 (1): 3-12.
- Nordby, K.C., Andersen, A., Irgens, L.M., Kristensen, P. (2005). Indicators of Mancozeb exposure in relation to thyroid cancer and neural tube defects in farmers' families. *Scand. J. Work Environ. Health* 31, 89–96.
- Okama, E. & Costa, L. (2016). Degradación del herbicida glifosato en distintos suelos de Argentina. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 2016. <https://www.google.com/search?q=degradaci n+glifosato+formaldehido&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2021). Residuos de plaguicidas en los alimentos. Disponible en <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2019). Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación. Consultado en: <https://apps.who.int/bitstreams/retrieve>
- PAN E (Pesticide Action Network Europe). (2018). EU should ban brain-harming chlorpyrifos to protect health. Consultado el 6 de julio 2022 en: https://www.pan-europe.info/sites/pan-europe.info/files/Chlorpyrifos%20Factsheet_August2018.pdf
- PAN (Pesticide Action Network International). (2022). PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. 35p. Disponible en http://pan-international.org/wp-content/uploads/PAN_HHP_List.pdf
- PAN (Pesticide Action Network International). (2014). Field Guide to Non-chemical pest management. In Cowpea production. PAN Germany. Disponible en http://www.oisat.org/downloads/Field_Guide_Cowpea.pdf
- Paro, R., Tiboni, G.M., Buccione, R., Rossi, G., Cellini, V., Canipari, R. (2012). The Fungicide Mancozeb Induces Toxic Effects on Mammalian Granulosa Cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 260, 155–161.

Pettis, J.S., Lichtenberg, E.M., Andree, M., Stitzinger, J., Rose, R., van Engelsdorp, D. (2013) Crop Pollination Exposes Honey Bees to Pesticides Which Alters Their Susceptibility to the Gut Pathogen *Nosema ceranae*. PLoS ONE 8(7): e70182.

PNUMA. (2012). Global Chemicals Outlook, Hacia una gestión racional de sustancias químicas. Consultado en enero 2023 en: <https://cristinacortinas.org/sustentabilidad/download/sustancias-quimicas/referencias/Hacia%20una%20gestion%20racional%20de%20sustancias%20quimicas.pdf>

PNUMA. (2007). Texto acerca del SAICM y resoluciones de la Conferencia Internacional sobre Gestión de los Productos Químicos. SAICM-UNEP-OMS-PNUMA. Ginebra, Suiza. 143p

Primost, J., Marino, D., Aparicio, V., Costa, J., Carriquiriborde, P. (2017). Glyphosate and AMPA, “pseudo-persistent” pollutants under real-world agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina. Environmental Pollution 229:771-779.

Quarles, W. (2016). Glyphosate Toxicity- Smoke or Fire? The IPM Practitioner, Monitoring the Field of Pest Managements 35 (5-6):1-8.

Ramírez, Fernando. (2021). El herbicida glifosato y sus alternativas. Serie Informes Técnicos IRET N44. IRET-Universidad Nacional, IPEN, RAPAL, GGF. Heredia, Costa Rica. 53p

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.; Ruepert, 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., Ruepert, C. e Hidalgo, C. (2014). “Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica”. Agronomía Mesoamericana, 25(2), 339-345.

Ramírez, F., Fournier, M.L., Ruepert, C. (2010). Uso de plaguicidas en cultivos hortícolas en la zona de Pacayas, Cartago, Costa Rica. En Resúmenes VIII Congreso Ibérico, V Iberoamericano de Contaminación y Toxicología Ambiental (CICTA). UNA, Heredia, Costa Rica 1 al 3 diciembre.

Ramírez, F., Chaverri, F., de la Cruz, E., Wesseling, C., Castillo, L. Bravo, V. (2009). Importación de plaguicidas en Costa Rica: Periodo 1977-2006. Serie Informes Técnicos IRET, N°6. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET). Heredia, Costa Rica.

Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). (2017). Neonicotinoides y Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAPs) que matan las abejas y otros polinizadores. Disponible en <https://rap-al.org/polidiptico-sobre-neonicotinoides-y-plaguicidas-altamente-peligrosos-que-matan-las-abejas-y-otros-polinizadores/>

Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N., Seralini, G. (2005). Differential effects of glyphosate and rounup on human placental cells and aromatase. Environ Health Perspect 113 (6): 716-20.

Rondón, I., Marín, G., Chacón, R., Naranjo, L., Pardo, D., Eslava, P. (2012). El glifosato (Roundup) y Cosmoflux 411F inducen estrés oxidativo en cachama blanca (*Piaractus brachyomus*). Orinoquia vol. 16 supl. 1 Meta pp.162-176

Sáenz, M., Di Marzio, W., (2009). Ecotoxicidad del herbicida glifosato sobre cuatro algas clorófitas dulceacuicolas. Limnética 28 (1): 149-158

- Sagiv, S.K., Harris, M.H., Gunier, R.B., Kogut, K.R., Harley, K.G., Deardorff, J ..., Eskenazi, B. (2018). Prenatal Organophosphate Pesticide Exposure and Traits Related to Autism spectrum Disorders in a Population Living in Proximity to Agriculture. *Environmental Health Perspectives*, 126 (4)
- Sánchez-Bayo, F. (2014). The trouble with neonicotinoids. *Science* 345(6211):806-807. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/268219528_The_trouble_with_neonicotinoids
- Saunders, L., Pezeshki, R. (2015). Glyphosate in Runoff Waters and in the Root Zone: A Review. *Toxics* 2 (4): 462-480.
- Schenker, MB., Stoecklin, M., Lee, K., Lupercio, R., Zeballos, RJ., Enright, P., Hennessy, T., y Beckett, LA. (2004). Pulmonary function and exercise-associated changes with chronic low-level paraquat exposure, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 170(7), 773–779. Consultado en: <http://ajrccm.atsjournals.org/cgi/content/abstract/170/7/773>
- Semanario Universidad. (2022). Expertos confirman contaminación de agua en naciente de Cipreses de Oreamuno con derivados de fungicida. En: <https://semanariouniversidad.com/pais/iret-confirma-contaminacion-de-agua-en-naciente-de-cipreses-de-oreamuno-con-derivados-de-fungicida/#:~:text=El%20Instituto%20Regional%20de%20Estudios,clorotalonil%2C%20da%C3%B1o%20para%20la%20salud.>
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). (2022a). 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 \(sfe.go.cr\)](http://sfe.go.cr/Informe_de_residuos_de_plaguicidas_2021.pdf)
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). (2022b). Base de datos registros de plaguicidas de uso agrícola. En: <http://app.sfe.go.cr/SFEInsumos/asp/Insumos/ConsultaRegistroPlaguicida.aspx>
- 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.
- Sharon, G., Sampson, T., Geschwind, D., Mazmanian, S. (2016). The Central Nervous System and the Gut Microbiome. *Cell* ,167:915-932.
- Shehata A., Schrodli, W., Aldin, A., Hafez, H., Kruger, M. (2013). The Effect of Glyphosate on Potential Pathogens and Beneficial Members of Poultry Microbiota In Vitro. *Current Microbiology* 66:350-358.
- Shukla, Y., Arora, A. (2001). Transplacental carcinogenic potential of the carbamate fungicide Mancozeb. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 20, 127–131.
- Skytt, A. (2011). Drinking water and pesticides in banana growing areas. Tesis en Environmental Science. Degree project, Bachelor of Science Lund University. 71 p.
- 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, T.A. & Seidler, F.J. (2007). Developmental exposure to terbutaline and chlorpyrifos, separately or sequentially, elicits presynaptic serotonergic hyperactivity in juvenile and adolescent rats. *Brain Res Bull.* 73:301–309.

Smith, H.A. & Capinera, J.L. (2017). *Enemigos naturales y control biológico*. Department of Entomology and Nematology. University of Florida. IFAS Extension. ENY-822. Disponible en <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN97700.pdf>

Smith, G. (2016). *Glyphosate Monitoring Study. Evaluation of the exposure risks from Glyphosate and associated degradation products from side-road spraying for weed control*. Departamento de Ambiente y Recursos Naturales, Sección de Control de Polución, Ministerio de Ambiente, Gobierno de Bermuda. Consultado en: <https://www.gov.bm/sites/default/files/Glyphosate%20Monitoring%20Study%20Draft%20Report%20Nov%202016.pdf>

Soares, W. & de Souza, M. (2012). *Uso de agrotóxicos e impactos en la salud*. Revista de Saúde Pública. Consultado en: <https://www.scielosp.org/article/rsp/2012.v46n2/209-217/en/>

Solano, K., Wesseling, C., Monge, P., Ruepert, 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.

Srivastava, A.K., Ali, W., Singh, R., Bhui, K., Tyagi, S., Al-Khedhairi, A. (2012). *Mancozeb induced genotoxicity and apoptosis in cultured human lymphocytes*. Life Sci. 90, 815–824.

Sur, R. & Stork, A. (2003). *Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants*. Bulletin of Insectology. 56(1):35–40. doi: 1721–8861 Disponible en <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol56-2003-035-040sur.pdf>

Stephenson, C. & Harris, A. (2016). *An Assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods*. Food and Chemical Toxicology 95: 28-41.

Székács, A. & Darvas, B. (2012). *Agricultural and Biological Sciences, Herbicides-Properties, Synthesis and Control of Weeds*. Chapter 14 Forty Years with Glyphosate. INTECH.

Telegraph-News. (2018). *France becomes first country in Europe to ban all five pesticides killing bees*. Disponible en <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/08/31/france-first-ban-five-pesticides-killing-bees/>

Tuncak, B. (2014). *Statement of UN Special Rapporteur on human rights and toxics to 2019 Basel, Rotterdam and Stockholm Convention COPs*. Consultado en: <https://www.srttoxics.org/resources/statements/>

University of Hertfordshire. (2018). *Pesticide Properties Data Base (PPDB)*. Disponible en <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/3027.htm>.

Van der Valk, H. & Koomen, I. (2013). *Aspects determining the risks of pesticides to wild bees: risk profiles for focal crops on three continents*. FAO, UNEP, GEF. 82p. Consultado en: <https://www.fao.org/3/i3116e/i3116e.pdf>

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 chlorpyrifostreated bags have elevated 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCPy) urinary concentrations*. Environmental research.

Van Dijk, T., van Staalduinen, M.A., van der Sluijs, J.P. (2013). *Macro-Invertebrate decline in surface water polluted with imidacloprid*. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0062374>

- Vargas, Elidier. (2022). Uso aparente de plaguicidas en la agricultura de Costa Rica. PNUD. 84 p
- Viales, G. (2014). "Intoxicación por Paraquat". Medicina Legal de Costa Rica, 31(2), 88-94
- Watts, Merriel. (2011). Paraquat. Pesticide Action Network Asia Pacific. Consultado en: www.panna.org/sites/default/files/Paraquat_monograph_final_2011-1.pdf
- Watts, Merriel (2011). Neonicotinoids. Factsheet Series in Higly Hazardous Pesticides. PAN Asia Pacific. Malasia. Consultado en: <https://www.panna.org/sites/default/files/PAN%20AP%20pesticides-factsheet-hhps-neonicotinoids.pdf>
- Weinberg, J. (2009). Guía para las ONG sobre los plaguicidas peligrosos y el SAICM. Disponible en https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo_guide_hazpest_saicm-es.pdf
- Wesseling, C.; & Weiss, I. (2017). Enfermedad renal crónica de etiología desconocida o de origen no tradicional: ¿una epidemia global? Arch Prev Riesgo Labor v 20 N4 Barcelona oct./dic. Consultado en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1578-
- Wesseling, C., Hogstedt, C., Picado, A., & Johansson, L. (1997). Unintentional fatal paraquat poisonings among agricultural workers in Costa Rica: a report of fifteen cases. American Journal of Industrial Medicine 32(5):433-441
- Williams, G., Kroes, R., Munro, I. (2000). Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup and its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans. Regulatory Toxicology and Pharmacology 31, 117-165.
- Xu, S. (2000). Environmental fate of Mancozeb. Environmental Monitoring & Pest Management. Department of Pesticides Regulation. Sacramento, California.
- Yamada, T., Kremer, R., Camargo, P., Wood, B. (2009). Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and disease of plants: Threat to agricultural sustainability? European Journal of Agronomy 31: 111-113.
- Ye, M., Beach, J., Martin, J., Senthilselvan, A. (2013). Occupational Pesticide Exposures and Respiratory Health. International Journal Environmental Research and Public Health 10 (12): 6442-71.
- Yildirim, I. & Özcan, H. (2007). Determination of pesticide residues in water and soil resources of Troia (Troy). Fresenius Environmental Bulletin. V16 N1 Consultado en: https://www.researchgate.net/publication/286964455_Determination_of_pesticide_residues_in_water_and_soil_resources_of_Troia_Troy
- Zhang, T., Johnson, E., Willenborg, C. (2016). Evaluation of Harvest-Aid Herbicides as Desiccants in Lentil Production. Weed Technology 30 (3): 629-638.

10. ANEXOS

Cuadro 1A. Costa Rica. Plaguicidas considerados PAPs con propiedades de toxicidad aguda.

Extremadamente peligrosos (Ia)	Altamente peligrosos (Ib)	Fatal si se inhalan
Brodifacouma Bromadiolona Difacinona Disulfoton Etoprofos Flocoumafen Forato Metil paration Terbufos	Cadusafos Ciclutrina Beta Cipermetrina Zeta Diclorvos Metamidofos Metiocarb Metomil Oxamil Triazofos	Abamectina Carbosulfan Ciflutrina Beta Cihalotrina Lambda Cloropicrina Clorotalonil Diclorvos Diquat Etoprofos Fenamifos Fosfuro de aluminio Fosfuro de magnesio Metamidofos Metil paratión Oxamil Paraquat TCMTB Tebuconazol Zlram

Cuadro 2A. Costa Rica. Plaguicidas considerados PAPs con propiedades de toxicidad crónica.

Probablemente cancerígenos (EPA)	Probablemente cancerígenos (IARC)	Disruptores endocrinos	Mutagénicos	Tóxicos reproductivos
1,3-D Butaclor Captan Carbaril Clorotalonil Daminozide Diuron Epoconazol Etoprofos Etridiazol Flutiacet metil Folpet Haloxifop-metil Hexythiazox Imazalil Iprodiona Iprovalicarb	Diazinon Glifosato Malation MSMA	2,4-D Acetocloro Acido bórico Bifentrina Captan Carbaril Cihalotrina lambda Deltametrina Epoconazole Fenbuconazole Fenitroton Fentin acetato Linuron Mancozeb Maneb Metam sodio	Benomil Carbendazina Halosulfuron metil	Ácido bórico Benomil Carbendazina Ciproconazol Epoconazol Fluazifop-p-butyl Glufosinato de amonio Linuron Porpiconazol 8-hidroxi quinolina Quizalofop-p-tefuril Tianbendazol Triadimenol Tridemorf

Isopyrazam Isoxaflutol Kresoxim metil Mancozeb Maneb Metam sodio Matiram Oxadiazon Oxifluorfen Permetrina Pimetrozina Propargita Propineb Sedaxane Spirodiclofen Tiabendazol Tiacloprid Tiodiocarb		Metiram Metribuzina Simazine Tebuconazol Terbutrina Zineb		
---	--	--	--	--

Cuadro 3A. Costa Rica. Plaguicidas considerados PAPs con propiedades de toxicidad ambiental.

Muy bioacumulables	Muy persistentes	Muy tóxicos /organismos acuáticos	Altamente tóxicos /abejas	
Flufenoxuron Lufenuron Pendimetalina Protiofos Quinoxifen	Benzoato de emamectina Cadusafos Clorantraniliprole Etofenprox Flubendiamida Hidróxido de cobre Isopyrazam Lufenuron Pendimetalina	Benzoato de emamectina Cadusafos Ciflutrina-Beta Clorantraniliprole Etofenprox Flubendiamida Flufenoxuron Hidróxido de cobre Isopyrazam Lufenuron Propargita Protiofos Quinoxifen	Abamectina Acefato Benfuracarb Benzoato de emamectina Bifentrina Cadusafos Carbaril Carbosulfan Ciflutrina Beta Cihalotrina Gamma Cilahrtrina-Lambda Cipermetrina Cipermetrina-Alfa Cipermetrina-Beta Cipermerina-Zeta Clorfenapir Clorpirifos Deltametrina Diafentiuron Diazinon Diclorvos Dimetoato	Dinotefuran Etofenprox Fenitrotrion Fipronil Forato Fosfuro de aluminio Fostiazato Imidacloprid Indoxacarb Malatión Metaflumizon Metamidofos Metiocarb Metomil Milbemectina Naled Oxamil Permetrina Piretrinas Pirimifos metil Profenofos Spinoteram Spinosad Sulfoxaflor Tiametoxan Tiodicarb Validamicina