

Dirección Nacional de Sanidad Vegetal

Compendio de resultados

Los laboratorios y su aportación al desarrollo de la agricultura nacional

Determinación de contaminantes químicos en diversas matrices y evaluación de la calidad de los agroquímicos



Compendio de resultados Los laboratorios y su aportación al desarrollo de la agricultura nacional

Determinación de contaminantes químicos en diversas matrices y evaluación de la calidad de los agroquímicos



Jorge Luis Requena N.
Brenda I. Checa Orrego

Panamá, 2023

© Ministerio de Desarrollo Agropecuario, 2023

Primera edición: abril 2024

<https://mida.gob.pa>

Dirección Nacional de Sanidad Vegetal del Ministerio de Desarrollo Agropecuario,
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Autores: Jorge Luis Requena Nuñez y Brenda I. Checa Orrego

Compendio de resultados: *los laboratorios y su aportación al desarrollo de la agricultura nacional: determinación de contaminantes químicos en diversas matrices y evaluación de la calidad de los agroquímicos*. Panamá / MIDA, 2024. 92 páginas.

ISBN 978-9962-665-07-6 (versión impresa)

Esta publicación se realizó con la colaboración del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total ni parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma ni por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopiado, grabado u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares de los derechos de autor. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Impreso en Panamá



Jorge Luis Requena Nuñez realizó estudios de Ingeniería y cuenta con una maestría y un doctorado en Agroquímica y Toxicología por la Academia de Agricultura Timiriázev de Moscú, Rusia. Durante más de 25 años ha ocupado distintos cargos en la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) de Panamá. En el periodo 2017-2020 fue miembro del Comité de Examen de Productos Químicos del Convenio de Rotterdam, en representación de América Latina y el Caribe. Desde 2012 y hasta septiembre de 2022 coordinó el Proyecto Nacional de Aplicaciones Terrestres de Plaguicidas (resuelto N° 42). Actualmente lidera las iniciativas de prohibición de plaguicidas y de otros temas asociados al uso de agroquímicos en el seno de la Comisión Técnica de Plaguicidas.



Brenda I. Checa Orrego posee una licenciatura en Química y una maestría en Ciencias Químicas con especialidad en Química Analítica por la Universidad de Panamá. Durante 23 años, en la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal (DNSV), ha sido la responsable del diseño, el establecimiento y la puesta en marcha de los laboratorios de control de calidad de plaguicidas y fertilizantes y análisis de residuos de plaguicidas en plantas y productos vegetales. Se especializa en las técnicas analíticas de cromatografía de gas y líquido, espectrometría de masas y desarrollo de inmunosensores electroquímicos para plaguicidas, entre otras. Desde 2007 ha laborado en ocho proyectos de cooperación técnica internacional y regional en materia de seguridad alimentaria en el marco del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL), junto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Lista de colaboradores

Las siguientes personas, de manera desinteresada y con alto grado de altruismo, dedicaron parte de su tiempo a la recopilación y consolidación de los datos que se presentan en esta obra.

Lic. Hendrick Fuentes	Departamento de Coordinación de Servicios Técnicos de Análisis Químico (DCSTAQ)
Lic. Kathleen Quesada	DCSTAQ
Lic. Evaristo Hernández	DCSTAQ
Lic. Llarys Aparicio	DCSTAQ
Mgtr. Gabriel Hernández	Departamento de Trazabilidad
Dr. Emmeris Quintero	Coordinación de Sanidad Vegetal de la Provincia de Chiriquí
Ing. Gisela Páez	Dirección Nacional de Salud Animal (DINASA)



Agradecimiento

En el Desarrollo de esta Iniciativa se contó con el apoyo incondicional del Ing. Pablo Rodríguez, director nacional de Sanidad Vegetal, de los analistas del departamento de la Coordinación de Servicios Técnicos de Análisis Químico y de los departamentos de Agroquímicos y de Trazabilidad, cuyas observaciones y recomendaciones han mejorado significativamente el mensaje que se desea transmitir a los lectores.



Índice

ABREVIATURAS Y SIGLAS	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	3
2.1. Creación de los laboratorios y servicios que prestan	4
2.1.1. Laboratorio de Control de Calidad de Plaguicidas.....	4
2.1.2. Laboratorio de Control de Calidad de Fertilizantes	5
2.1.3. Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales	5
2.2. Vinculación del laboratorio con el organigrama institucional de la DNSV	8
2.3. Desarrollo del marco legal	10
2.4. Etapas sobresalientes de la evolución del laboratorio.....	11
2.4.1. Período 2007-2011	11
2.4.2. Período 2012-2015.....	11
2.4.3. Período 2016-2021	12
2.4.4. Desarrollo de métodos y estudios colaborativos.....	12
2.5. Apoyo de organismos internacionales al fortalecimiento de la capacidad analítica del laboratorio	14
2.5.1. Cooperación técnica, Misión Técnica de Taiwán (MITET).....	14
2.5.2. Proyectos de cooperación técnica nacional y regional ejecutados a través del OIEA	15
2.5.2.1. Detección rápida mediante Inmunosensores electroquímicos.....	18
2.5.2.2. Fortalecimiento de Capacidades Analíticas para el Monitoreo Basado en Riesgo de Productos Agropecuarios para Consumo Interno (Proyecto PAN 5027).....	19
2.6. Principales publicaciones	20
3. ANÁLISIS DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS Y DE OTROS CONTAMINANTES QUÍMICOS EN PRODUCTOS DE ORIGEN VEGETAL	22
3.1. Programa de Monitoreo por medio de técnicas químicas cuantitativas confirmatorias	24
3.1.1. Análisis e interpretación de los resultados durante el período 2009-2020.....	26
3.1.2. Análisis e interpretación de los resultados durante el período 2015-2020.....	31
3.2. Programa de monitoreo mediante bioensayo rápido.....	32
3.3. Aplicación del enfoque de evaluación de riesgos en el proceso de determinación de la presencia de residuos en frutas y vegetales	37

3.4. Establecimiento de LMR de plaguicidas, proyecto del USDA, el IICA, el IDIAP y el MIDA	37
3.5. Determinación de la presencia de metales pesados en el arroz	38
4. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LOS PLAGUICIDAS Y FERTILIZANTES.....	40
4.1. Calidad de los plaguicidas	40
4.1.1. Calidad química de los plaguicidas durante el período inicial (2004-2014)	40
4.1.2. Calidad química de los plaguicidas durante el período 2015-2021	41
4.2. Calidad de los fertilizantes.....	42
4.2.1. Determinación de los macronutrientes en los fertilizantes.....	43
4.2.2. Determinación de la presencia de micronutrientes en los fertilizantes	45
4.2.3. Determinación de la presencia de metales pesados en los fertilizantes.....	45
5. SERVICIOS DE ANÁLISIS EN OTRAS MATRICES ORIENTADOS HACIA EL APOYO INTERINSTITUCIONAL	47
5.1. Estudio de contaminantes químicos en ríos y cuencas importantes de nuestro país.....	47
5.1.1. Grado de contaminación de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, período 2015-2017	47
5.1.2. Presencia de plaguicidas en importantes ríos y cuencas derivada de las actividades agropecuarias, período 2015-2018.....	53
5.1.2.1. La Villa	54
5.1.2.2. Santa María	55
5.1.2.3. Río Chico	55
5.1.2.4. Chagres.....	55
5.1.2.5. Chiriquí Viejo	56
5.1.2.6. Río Pacora	56
5.1.2.7. Resumen de los contaminantes plaguicidas detectados en los ríos y las cuencas de Panamá.....	56
5.2. Determinación de la presencia de residuos de plaguicidas en abejas melíferas.....	58
6. CONCLUSIONES	61
ANEXOS	63
GLOSARIO	71
BIBLIOGRAFÍA.....	75



Abreviaturas y siglas

APA.	Agencia Panameña de Alimentos
ARCAL.	Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe
AUPSA.	Autoridad Panameña de seguridad de Alimentos.
CE.	Comunidad Europea
CIPAC.	Consejo de Colaboración Internacional para el Análisis de Plaguicidas (Collaborative International Pesticides Analytical Council)
DCSTAQ.	Departamento de Coordinación de Servicios Técnicos de Análisis Químico
DDD.	Diclorodifenildicloroetano
DDE.	Diclodifenildicloroetileno
DDT.	Diclorodifeniltricloroetano
DINASA.	Dirección Nacional de Salud Animal
DNSV.	Dirección Nacional de Sanidad Vegetal
EPA.	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
FAO.	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
HCH.	Hexaclorociclohexano
IDA.	Ingesta diaria admisible
IDIAP.	Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá
IICA.	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
ISO.	Organización Internacional de Normalización
IUPAC.	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
IARC.	Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer
LMR.	Límites máximos de residuo
MIDA.	Ministerio de Desarrollo Agropecuario
MINSA.	Ministerio de Salud
ng.	Nanogramo
OF.	Organofosforados
OIEA.	Organismo Internacional de Energía Atómica
PAP.	Plaguicida altamente peligroso



1. Introducción

Las demandas alimentarias de un país en crecimiento, combinadas con la alta migración de la población a las ciudades, que en 2015 fue de 67 % (45), ejercen una fuerte presión sobre el sector agrícola, que debe producir más en la misma superficie y, muchas veces, con una fuerza laboral inferior. En este escenario el sector productivo recurre a un uso creciente de plaguicidas para combatir las plagas y al de fertilizantes y enmiendas para sostener y aumentar los rendimientos sin afectar la calidad ni la inocuidad de los alimentos.

Sin embargo, en ciertas condiciones el uso de plaguicidas en las actividades agropecuarias genera la presencia de residuos indeseables en los productos tratados, que pone en peligro la salud de las personas, quienes, como consumidores, se tornan cada vez más exigentes en términos de la inocuidad química.

El uso de los fertilizantes minerales y orgánicos por parte del sector agropecuario nacional se considera también una práctica obligada; no obstante, la efectividad de dichos insumos se suele asociar a su calidad, los requerimientos nutricionales de los cultivos, la fertilidad de los suelos y las condiciones agroclimáticas imperantes. Sin los controles de calidad, los insumos

fitosanitarios pueden ocasionar problemas de fitotoxicidad, disminución de rendimientos, bajo valor culinario y contaminación ambiental.

Además, desde el punto de vista ambiental, los plaguicidas pueden deteriorar la calidad del agua cruda y de consumo humano, contaminar el suelo y el aire y afectar la existencia de ciertos organismos vivos. Por otra parte, en ciertas condiciones, los fertilizantes pueden contaminar el suelo con metales pesados.

De conformidad con la Ley 47 del 9 de julio de 1996, el Gobierno de Panamá, a través del MIDA, delegó en la DNSV la competencia para monitorear los productos agrícolas de consumo humano, a fin de evaluar la presencia de residuos de plaguicidas, tomando como base las tolerancias establecidas en la legislación vigente, así como de facilitar el acceso de productos agrícolas a los mercados nacionales e internacionales.

En este contexto le corresponde al DCSTAQ cumplir con la tarea de determinar en las muestras recibidas: la calidad de los insumos fitosanitarios y la presencia y concentración de diversos contaminantes químicos en los vegetales de consumo nacional, independientemente de su procedencia (producción local o mercado foráneo).

En esta obra se ha reunido la experiencia acumulada por los laboratorios del DCSTAQ en el análisis de diversas matrices y se ha adicionado a ello una interpretación científico-técnica realizada por uno de sus autores, con el fin de ofrecer

a los productores valiosísima información para emigrar a un enfoque de agricultura más limpia y resiliente y a otros profesionales, técnicos y científicos, la posibilidad de realizar ajustes en sus labores.



2. Antecedentes históricos

En la Ley 47 de 9 de julio de 1996, por medio de la cual se dictan medidas de protección fitosanitaria y se adoptan otras disposiciones, se estableció la necesidad de crear laboratorios para determinar la inocuidad de los alimentos y la calidad de los insumos fitosanitarios empleados por los agricultores panameños, de conformidad con lo cual el 23 de enero de 2002 se inauguró el Laboratorio de Control de Calidad de Plaguicidas y el 4 de mayo de 2006, el Laboratorio de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales.

En consecuencia, dentro de su estructura organizativa, la DNSV oficializó tres servicios de análisis químico: control de calidad de plaguicidas, control de calidad de fertilizantes y análisis de residuos de plaguicidas en plantas y productos vegetales, que actualmente se brindan a productores, instituciones públicas, investigadores, grandes cadenas de supermercados y proveedores de insumos fitosanitarios, entre otros.

Con la apertura escalonada de estos laboratorios se han alcanzado varias aspiraciones históricas de los usuarios de nuestros servicios, los productores pueden verificar la inocuidad química de sus cosechas, competir con otros países, evaluar la calidad de los insumos fitosanitarios

(fertilizantes, plaguicidas, aditivos y enmiendas químicas) utilizados en sus actividades productivas y medir el grado de contaminación derivado de su actividad en el entorno de su finca. Por otra parte, los consumidores e investigadores pueden determinar cuán limpias y resilientes son las actividades que desarrollan las explotaciones agropecuarias y los grandes proveedores de insumos fitosanitarios, entre otros actores.

En la actualidad, además de las tareas y actividades ya indicadas, los laboratorios brindan los servicios de determinación de residuos de plaguicidas en ríos, pozos, agua potable, suelo y sedimentos y de análisis de 20 metales en granos, frutas, piensos, suelo y sedimento. Asimismo, brindan apoyo a la gestión del programa apícola de la DINASA con respecto al análisis de abejas y mieles y a los programas de sanidad vegetal, entre ellos, los de Trazabilidad Agrícola y Producción Orgánica, así como al Proyecto de Aplicaciones Terrestres de Plaguicidas.

En conclusión, el objetivo de estos laboratorios es mejorar la competencia de los productores panameños en el mercado local e internacional para minimizar el riesgo de contaminación de los productos agrícolas y proteger el patrimonio vegetal y ambiental y la salud del ser humano.

2.1. Creación de los laboratorios y servicios que prestan

2.1.1. Laboratorio de Control de Calidad de Plaguicidas

Este laboratorio inició sus operaciones en mayo de 2004. Hoy tiene la capacidad de analizar 173 ingredientes activos de plaguicidas químicos de los más utilizados en el mercado nacional, lo que representa el 60.1 % de los plaguicidas o ingredientes activos registrados.

“Todo país debería poseer o tener acceso a servicios para verificar y controlar la calidad de los plaguicidas que se ofrecen para la venta o exportación, a fin de establecer la cantidad de ingrediente activo(s) y la idoneidad de su formulación con arreglo a las especificaciones de la FAO/OMS cuando estén disponibles” (18).

En efecto, desde 2004, según las especificaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)/ Organización Mundial de la Salud (OMS), este laboratorio evalúa la calidad física y química de los plaguicidas importados y formulados en el país. Además, posee un sistema de calidad con arreglo a la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2017 (24) y está certificado mediante la Norma ISO 9001:2015 (25).

Asimismo, el laboratorio realiza estudios colaborativos a pequeña y gran escalas para el establecimiento oficial de nuevos métodos de determinación de formulaciones de plaguicidas, organizados y publicados por el Consejo Colaborativo Internacional Analítico de Plaguicidas- CIPAC. Somos miembros activos del CIPAC oficialmente desde el año 2010.

Métodos de análisis utilizados

- Los oficializados y publicados en los Manuales de CIPAC
- Los de la AOAC INTERNATIONAL (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales)
- Los proporcionados por el registrante de productos comerciales de plaguicidas

Servicios de análisis que se brindan:

Análisis Químicos

- Identidad y concentración del ingrediente activo declarado en la etiqueta a través de cromatografía Líquida y gaseosa, espectrofotometría UV-Visible

Análisis fisicoquímicos

- Homogeneidad del producto
- Estabilidad de la emulsión, espuma persistente para concentrados emulsionables, líquidos solubles (formulaciones líquidas miscibles y solubles en agua)
- Suspensibilidad, tamizaje en húmedo, pH, humectabilidad para polvos mojables (WP) y suspensiones acuosas (SC)

Importancia de los análisis fisicoquímicos. Las propiedades físicas de las formulaciones diluidas en agua pueden verse afectadas por la dureza y la temperatura de esta, debido a lo cual, para evaluar la calidad del producto formulado se determina el tipo de agua según su concentración de dureza. En Panamá se usa la de 342 ppm (8), a fin de conocer si cumple con las especificaciones y si puede afectar o no al producto en el momento de su aplicación.

Capacitaciones y Colaboraciones. Se ofrecen capacitaciones en muestreo de formulaciones de plaguicidas y en análisis del control de calidad de los plaguicidas según las especificaciones FAO/la

OMS. Además, se mantiene un convenio de cooperación con la Universidad de Panamá para llevar a cabo capacitaciones, trabajos de pregrado y prácticas profesionales, dirigido a los estudiantes de las licenciaturas en Química y Tecnología Química Industrial. También se organizan visitas guiadas para estudiantes y profesionales del país, programadas con al menos 15 días de antelación.

2.1.2. Laboratorio de Control de Calidad de Fertilizantes

En 2016 se inició el control de calidad de los fertilizantes: se analizan los macronutrientes primarios y secundarios, los micronutrientes y los metales pesados (Hg, Cd, Pb, As y Cr).

2.1.3. Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales

Este laboratorio fue inaugurado el 4 mayo de 2006 e inició oficialmente sus servicios en abril de 2007. Forma parte de las estrategias de integración para el cumplimiento de los límites máximos de residuos (LMR) y es una herramienta para medir el impacto de la aplicación de las reglamentaciones, leyes y normas en materia de plaguicidas.

Desde 2006 disponemos de la capacidad analítica para vigilar, controlar y demostrar la inocuidad química de la producción nacional de alimentos, razón por la cual la DNSV implementa en el ámbito nacional el Plan de Monitoreo de Residuos de Plaguicidas en Frutas y Vegetales. También forman parte de esta estrategia el laboratorio antes mencionado y la red de estaciones de bioensayo rápido para la detección de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales.

Para la implementación de este plan, el MIDA actúa por medio del Resuelto 16 del 20 de abril

de 2010 (33), *para colecta y análisis de muestras de frutas y vegetales de consumo nacional y de exportación*, lo que le permite evaluar residuos de plaguicidas durante el período de producción.

Este Laboratorio cuenta con un sistema de calidad implementado según la norma internacional de calidad ISO/IEC 17025 (24) y está certificado con la norma ISO 9001:2015 (25). Además, participa en proyectos de cooperación técnica internacional junto con la FAO, el OIEA, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), entre otros.

Los siguientes proyectos han sido gestionados y ejecutados por el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales:

- Garantía de calidad en el análisis de residuos de plaguicidas para la producción agrícola (2005-2006)
- Control de los residuos de plaguicidas en la producción de fruta tropical (piña y melón) y de la calidad analítica con la ayuda de técnicas nucleares (2007-2008)
- Apoyo a la acreditación de un laboratorio de residuos de plaguicidas (2009-2011)
- Armonización y validación de métodos analíticos para monitorear el riesgo de residuos químicos y contaminantes en los alimentos para la salud humana, Proyecto Regional RLA5/060 (2012-2013)
- Apoyo a la gestión de la calidad para la evaluación y la mitigación de los efectos de los contaminantes en los productos agrícolas y en el medio ambiente, Proyecto Regional RLA5/61 (2012-2013)

- Determinación de plaguicidas y contaminantes inorgánicos en vegetales y estudio de la adsorción y migración a través de tecnologías nucleares en zonas de alta incidencia por contaminación para garantizar alimentos seguros para los consumidores (2014-2015)
- Desarrollo de indicadores para determinar el efecto de plaguicidas, metales pesados y contaminantes emergentes en los ecosistemas acuáticos continentales importantes para la agricultura y la agroindustria (ARCAL CXXXIX) 2014-2017
- Desarrollo de capacidades analíticas para la detección de contaminantes químicos en los alimentos y la calidad de los agroquímicos (2016-2017)
- Establecimiento de un Límite Máximo de Residuos de piriproxifen en piña (USDA-IICA-MIDA-IDIAP) (2014-2016)
- Fortalecimiento de las capacidades analíticas para el monitoreo basado en riesgos de productos agrícolas de consumo interno (2020-2021)
- Fortalecimiento de la colaboración regional de laboratorios oficiales para abordar los desafíos emergentes para la inocuidad de los alimentos (ARCAL RLA 5080) (2020-2021)
- Mejora de las capacidades regionales de análisis y programa de seguimiento de residuos/contaminantes en los alimentos mediante

técnicas nucleares/isotópicas y complementarias (ARCAL RLA 5081) (2020-2021)

Capacitaciones y Colaboraciones

Se ofrecen capacitaciones en muestreo de residuos de plaguicidas y en el análisis de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales. Se mantiene un convenio de cooperación con la Universidad de Panamá para llevar a cabo capacitaciones, trabajos de pregrado y posgrado y prácticas profesionales, dirigido a estudiantes de las licenciaturas en Química y Tecnología Química Industrial. Además, se organizan visitas guiadas para estudiantes y profesionales del país, programadas con al menos 15 días de anticipación.

Servicios de análisis que se brindan:

- Análisis de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales, agua, suelo y sedimento
- Análisis para la detección rápida de residuos de organofosforados (OF) y carbamatos a través de bioensayos en frutas y vegetales en estaciones ubicadas en las provincias de Panamá (DNSV-Río Tapia Tocumen), de Chiriquí (Volcán) y de Los Santos (Las Tablas)

Se ha creado, además, la unidad de Contaminantes Inorgánicos que brinda los servicios de análisis de metales pesados en agua, suelo, sedimento, vegetales y granos.

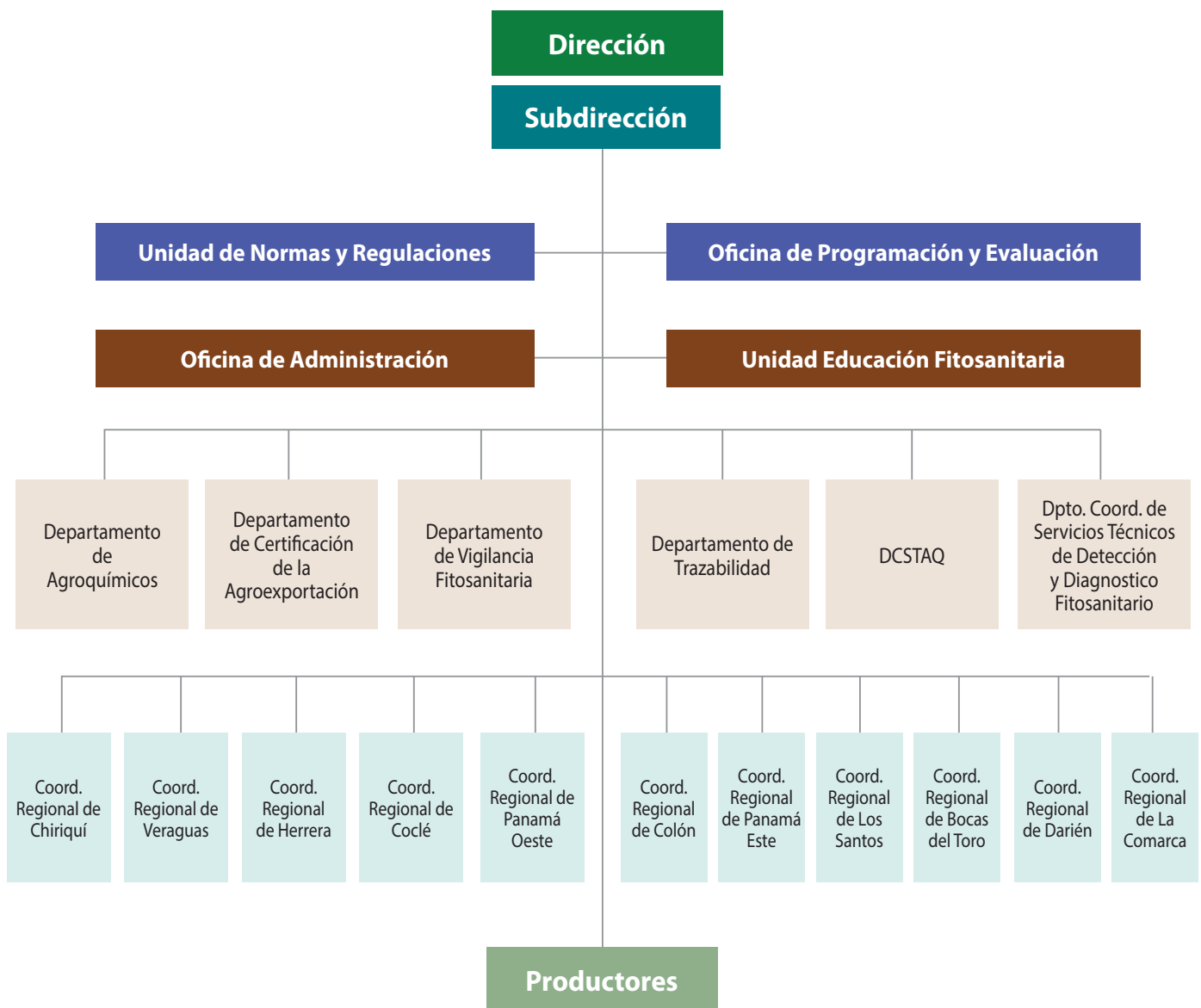
A continuación se presentan los costos de los servicios prestados por el DCSTAQ (a junio de 2023).

Laboratorio	Servicios	Costo en dólares por muestra
Control de Calidad de Plaguicidas	Determinación de la concentración de plaguicidas en productos formulados y pruebas fisicoquímicas	170
Análisis de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales	Examen de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales	250
	Análisis de residuos de plaguicidas en agua	250
	Determinación de residuos de plaguicidas en suelo o sedimento	250
Estación de Detección Rápida de Residuos de Plaguicidas en frutas y vegetales	Método rápido de plaguicidas organofosforados y carbamatos	10
Control de Calidad de Fertilizantes	Análisis de la concentración de macro y micronutrientes	170
Control de Calidad de Fertilizantes Unidad de Contaminantes Inorgánicos	Determinación de metales pesados en fertilizantes (As, Cd, Cr, Hg, Pb)	160
Unidad de Contaminantes Inorgánicos	Evaluación de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Pb) en granos, frutas y vegetales	160
	Análisis de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Pb) en agua potable y de río	160
	Determinación de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Pb) en suelo	160

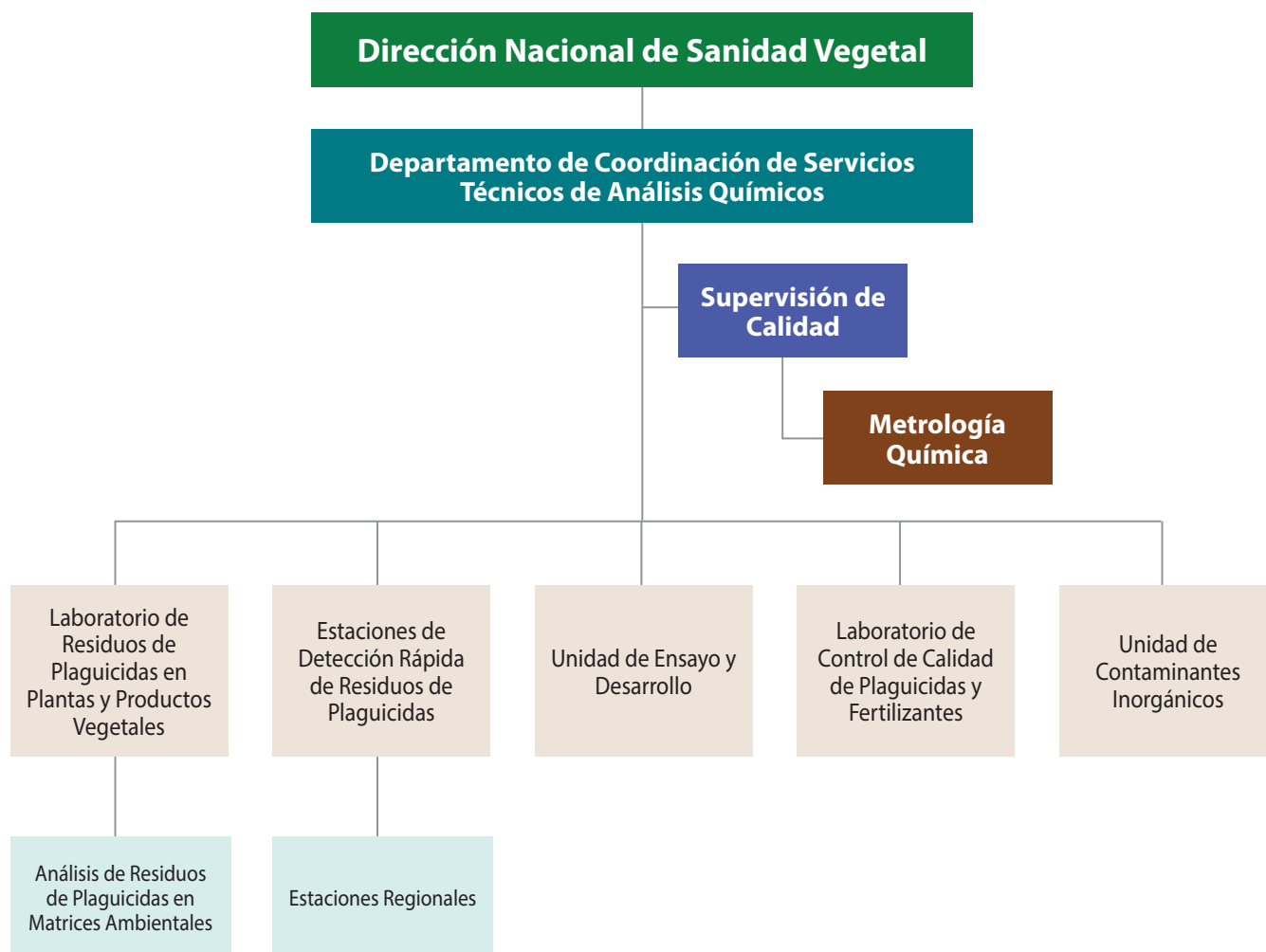
2.2. Vinculación del laboratorio con el organigrama institucional de la DNSV

La DNSV del MIDA está organizada en departamentos. A uno de ellos, el DCSTAQ (organigrama 1), se le ha asignado la responsabilidad de la recepción y el análisis de las muestras de vegetales producidos en Panamá y de exportación, el seguimiento interno de los resultados y la elaboración de informes (organigrama 2).

Organigrama 1. Estructura organizacional técnico-administrativa de la DNSV.



Organigrama 2. Estructura organizacional del DCSTAQ.



La DNSV ejerce su autoridad sobre el Programa Nacional de Control de Residuos de Plaguicidas en Frutas y Vegetales, que se ejecuta por medio del Departamento de Trazabilidad y del DCSTAQ, y que establece los lineamientos generales para todo el país. Los resultados del laboratorio son compartidos con el Departamento de Trazabilidad, que recibe el apoyo de los coordinadores regionales de Sanidad Vegetal en materia de muestreo, diagnóstico, capacitación y seguimiento, principalmente en cuanto a

las muestras que no cumplan con la normativa vigente.

Le corresponde también al DCSTAQ recibir las muestras de agroquímicos (plaguicidas, fertilizantes y enmiendas), emitir los resultados y transmitirlos al Departamento de Agroquímicos, que interpreta la información y la envía a las coordinaciones regionales correspondientes. La relación con otras instituciones y el envío de los resultados se realiza mediante la DNSV cuando

se trabaja con muestras de agua, suelo, sedimentos y abejas.

Ni estas funciones ni la autoridad para ejecutarlas se conceden a ninguna otra institución u organismo gubernamental ni tampoco a empresa privada alguna.

2.3. Desarrollo del marco legal

Legislación vinculante en el MIDA:

- ✓ Ley n.º 47 del 9 de julio de 1996 del MIDA, a través de la cual se dictan medidas de protección fitosanitaria y se adoptan otras disposiciones, en cuyo artículo 46, acápites 4 y 5, otorga a la DNSV el derecho de determinar residuos de plaguicidas en plantas y productos vegetales y de supervisar y acreditar los laboratorios de servicios de análisis de residuos y control de calidad.
- ✓ Decreto Ejecutivo n.º 63 del 1 de septiembre de 1997, por medio del cual se reglamenta el registro, la aplicación, la actividad y el servicio de plaguicidas y fertilizantes para uso en la agricultura en Panamá.
- ✓ Decreto Ejecutivo n.º 54 del 04 de septiembre de 1998, mediante el cual se establecen tarifas por la prestación de servicios fitosanitarios y el uso seguro y eficaz de insumos fitosanitarios.
- ✓ Resuelto n.º 9 del 30 de abril de 2004, a través del cual se adopta el Manual de procedimiento n.º DNSV-DA-003-03, para la colecta, envasado, manejo y transporte de muestras a utilizarse en el control de la calidad de formulaciones químicas de plaguicidas, y límites para la aceptación de lotes.
- ✓ Resuelto n.º 022 del 4 de abril de 2006, por medio del cual se adopta el Manual de procedimiento para el cobro de las tarifas por los servicios de muestreo y análisis de control de calidad de plaguicidas.
- ✓ Resuelto n.º 41 del 8 de julio de 2008, por el cual se establece el Manual de procedimiento para el funcionamiento de estaciones de campo para la detección de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales en producción, mediante el empleo de bioensayos rápidos.
- ✓ Resuelto n.º 16 de 20 de abril de 2010, a través del cual se reglamenta el artículo 50 de la Ley n.º 47 del 9 de julio de 1996 y se adopta el Manual de procedimiento n.º DNSVDA-001-10 para la colecta y análisis de muestras de frutas y vegetales de consumo nacional y de exportación, con el fin de evaluar residuos de plaguicidas durante el período de producción.
- ✓ Decreto n.º 120 del 24 de mayo de 2011, por medio del cual se establece el cobro de B/.10.00 por muestra analizada en las estaciones de bioensayo rápido.
- ✓ Resolución n.º OAL-450, Panamá, del 16 de agosto de 2016, mediante la cual se adopta el Manual de procedimiento para el cobro de las tarifas por los servicios de muestreo y análisis de control de calidad y metales pesados en fertilizantes formulados y materia prima.
- ✓ Resolución n.º OAL-452, Panamá, del 16 de agosto de 2016, a través de la cual se adopta el Manual de procedimiento DNSV-DA-000-16, que establece el procedimiento de muestreo, la cadena de custodia, los métodos de análisis, las especificaciones y las directrices adoptadas por Panamá en materia de análisis para el control de calidad de fertilizantes, que establece parámetros

y límites mínimos de aceptación para cada lote y el seguimiento a las no conformidades.

- ✓ Ley n.º 11 del 15 de abril de 2016, por medio del cual se crea dentro de la DNSV del MIDA el Programa Nacional de Buenas Prácticas y Trazabilidad Agrícola y su relación con la inocuidad de los alimentos en la etapa de producción.
- ✓ Decreto Ejecutivo n.º 30 del 24 de junio de 2019, mediante el cual se reglamenta la Ley n.º 11 del 15 de abril de 2016, a través de la cual se crea el Programa Nacional de Buenas Prácticas y Trazabilidad Agrícola y su vinculación con la inocuidad de los alimentos en la etapa de producción de la DNSV del MIDA.

Legislación vinculante en el MINSA

- ✓ El Decreto Ejecutivo n.º 467 del MINSA del 7 de noviembre de 2007, "Por el cual se dicta el Reglamento Sanitario que establece los Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas y otros contaminantes en frutas y vegetales de consumo nacional y de exportación" y se adoptan los límites fijados por la Comisión del Codex Alimentarius o, en su defecto, los establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos y la Comunidad Europea.

2.4. Etapas sobresalientes de la evolución del laboratorio

2.4.1. Período 2007-2011

Durante este período el Laboratorio de Control de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales ofreció sus primeros servicios para determinar la presencia de residuos de

plaguicidas en frutas y vegetales con un cromatógrafo de gases con detector de nitrógeno/fósforo (NPD) y un detector de captura electrónica (ECD). También contaba con un cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) con detector de arreglo de diodos. Estos equipos ayudaron a separar diversos analitos presentes en las muestras para su identificación y cuantificación.

En estos primeros años el Laboratorio brindaba el servicio solo para el análisis de residuos de plaguicidas (OF, organoclorados y carbamatos) en matrices vegetales. Se analizaron aproximadamente 51 matrices vegetales diferentes y se detectaron 19 analitos, de los cuales se optimizaron 85.

Aún no se realizaban ensayos para las matrices ambientales. El personal se capacitaba en metodologías de ensayo en otros laboratorios fuera del país o en el mismo Laboratorio de Control de Residuos de Plaguicidas, que se equipaba con instrumentos y consumibles necesarios para las diferentes pruebas por llevar a cabo.

2.4.2. Período de 2012-2015

Durante este período el Laboratorio fue equipado con tecnología más avanzada para continuar brindando resultados confiables en un menor tiempo. Se adquirió un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de masas (GC-MS) y un cromatógrafo líquido acoplado a espectrometría de masas (LC-MS/MS) con tecnología de triple cuadrupolo.

Además, para garantizar la competencia y destreza del personal técnico, los analistas recibieron capacitación y completaron pasantías en diferentes laboratorios internacionales (Costa Rica, Colombia, Austria, Argentina, Brasil, España, Chile y Uruguay) para aprender diversas metodologías, el manejo de los equipos, etc.

Se recibieron muestras para procesar de 45 diferentes cultivos, es decir, una cantidad algo inferior a la del período 2007-2011; no obstante, durante ambos períodos se analizaron 64 distintas matrices vegetales. En estas muestras se detectaron 40 diferentes analitos o ingredientes activos; por lo tanto, el Laboratorio ya contaba con una lista de 156 analitos analizados y optimizados.

Finalmente, se iniciaron los análisis para determinar la presencia de residuos de plaguicidas en muestras ambientales, entre ellas, las de agua.

2.4.3. Período de 2016-2021

Durante este período el Laboratorio se vio fortalecido con la llegada del cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas triple cuadrupolo (GC-MS/MS) y la compra del segundo LC-MS/MS.

Se procesaron y analizaron muestras de 108 diferentes cultivos y se detectaron en ellas 121 ingredientes activos derivados de una lista de 173 analitos analizados y optimizados por el Laboratorio; por consiguiente, durante la campaña 2007-2021 se procesaron y analizaron en total 118 diferentes matrices vegetales de producción nacional y de importación.

Además, se participó en **ensayos de aptitud** para matrices entre frutas y vegetales, por medio

de lo cual se obtuvieron resultados bastante satisfactorios que demostraron la competencia técnica adquirida en cuanto a los equipos cromatográficos y la metodología, así como la capacidad y destreza de los analistas para realizar los ensayos.

2.4.4. Desarrollo de métodos y estudios colaborativos

Este tipo de iniciativas han sido promovidas principalmente mediante el CIPAC, una organización no gubernamental sin fines de lucro dedicada a promover los acuerdos internacionales sobre métodos de análisis de plaguicidas y métodos de ensayo físico-químicos para formulaciones, así como programas interlaboratorio para la evaluación de métodos de ensayo.

Los métodos son propuestos por empresas y probados por laboratorios de todo el mundo. Después de la evaluación de los resultados y la adopción, los métodos se publican en los Manuales del CIPAC (www.cipac.org). Debido a que el Laboratorio de Control de Calidad de Plaguicidas es un miembro activo del CIPAC, procuramos participar cada año en estos estudios colaborativos. A la fecha hemos realizado más de 10 ensayos colaborativos. En el cuadro 1 se muestra una parte de los estudios colaborativos efectuados en los últimos años.

Cuadro 1. Participación del Laboratorio en estudios colaborativos a gran escala organizados por el CIPAC.

Molécula	Empresa	Metodología	Año
Difenoconazol	Syngenta Crop Protection AG	El contenido de difenoconazol en el concentrado técnico y las formulaciones se determina mediante cromatografía de gases en una columna de sílice fundida DB-5 o equivalente, de 30 m de longitud, 0.25 mm de di y 0.25 µm de espesor de película, utilizando hidrógeno como gas portador y una detección de ionización de llama. La cuantificación se realiza por medio de una calibración estándar interna.	2022
Trifluralina	Shenyang SYRICI Testing Co. Ltd.	El contenido de trifluralina en las formulaciones se determina mediante HPLC de fase inversa con una columna Zorbax Eclipse XDB-C18 (longitud de 150mm x 4.6 mm de diámetro interno y 5 µm de poro o una equivalente que posea la misma selectividad), con una fase móvil compuesta por acetonitrilo/agua (77/23 v/v) y una detección UV a 280 nm. La cuantificación se realiza mediante estandarización externa.	2022
Atrazina	Syngenta	El contenido de atrazina en las formulaciones se determina por medio de una cromatografía de gases en una columna DB-225 o de sílice fundida equivalente (15 m de longitud, 0.25 mm de di, 0.25 µm de espesor de película), en la que se utiliza hidrógeno como portador y detección de ionización de llama. La cuantificación se realiza mediante una calibración estándar interna.	2019
Hexaconazol	Rallis India Ltd.	El contenido de hexaconazol en las formulaciones se determina a través de una cromatografía líquida de alto rendimiento de fase reversa con una columna C18 (longitud de 250 mm x 4.6 mm de di x 5 µm de poro), con una fase móvil compuesta por acetonitrilo/agua/metanol (70/40/10 v/v) y una detección UV a 230 nm. La cuantificación se realiza por medio de una estandarización.	2018
Protioconazol	Bayer AG, Crop Science Division	El contenido de protioconazol (g/kg) se determina mediante cromatografía líquida de alta resolución de fase reversa con una detección UV a 254 nm y una calibración estándar externa	2018
Propiconazol	Syngenta Crop Protection AG	La muestra de material técnico propiconazol se disuelve en Isobutilmetilcetona, que contiene un patrón interno. El contenido de propiconazol se determina (g/kg) a través de una cromatografía de gases capilares.	2018

2.5. Apoyo de organismos internacionales al fortalecimiento de la capacidad analítica del laboratorio

El apoyo técnico y financiero de diversos organismos internacionales ha sido fundamental para el crecimiento de nuestro laboratorio, ya que, por medio de él, se han fortalecido las capacidades analíticas del personal, así como el área de instrumentos y de dotación de equipos (más sofisticados y de última generación). Además, la participación de estos organismos en proyectos de cooperación técnica nacionales e internacionales hoy nos permite ofrecer un servicio más confiable y diversificado. A continuación se describen los proyectos más sobresalientes.

2.5.1. Cooperación técnica, Misión Técnica de Taiwán (MITET)

La tecnología taiwanesa de bioensayos rápidos basados en la inhibición enzimática de la colinesterasa y en el crecimiento de bacterias para identificar residuos de plaguicidas grupales fue ensayada en Panamá durante 2005 por el Instituto de Innovación Agropecuaria de

Panamá (IDIAP), en coordinación con la MITET, la DNSV y la Alcaldía de Panamá.

Esta tecnología resultó ser muy prometedora y aplicable en las condiciones de campo de nuestro país, debido a lo cual se estableció una red de estaciones de monitoreo rápido para el control y la vigilancia de las frutas y los vegetales frescos en las fincas de los productores. Se pretendía que en algunas estaciones se realizara el control y la vigilancia de los residuos en los mercados locales para atender la preocupación de los consumidores; sin embargo, el cumplimiento de este objetivo aún está pendiente.

La detección rápida de residuos de insecticidas del grupo químico de los carbamatos y OF en frutas y vegetales mediante la medición de la inhibición de la acetilcolinesterasa (AChE) se fundamenta en la cinética de la hidrólisis de la acetiltiocolina (ATC), mediada por la AChE. Los OF y carbamatos interfieren en la transmisión de los estímulos nerviosos de los organismos vivos y causan inhibición de los niveles de la AChE, que es la responsable de hidrolizar la acetilcolina (ACh) (neurotransmisor). Para efectos de este ensayo se utiliza la ATC extraída de la mosca doméstica, que desempeña el mismo rol de la ACh en los humanos. En consecuencia, los residuos de los insecticidas de estas dos familias presentes en muestras de vegetales inhiben la AChE. Las siguientes reacciones muestran este proceso.

Reacciones

1. Transmisión normal del estímulo nervioso (neurona - **sinapsis** - neurona)

Estímulo nervioso de la neurona X $\xrightarrow{\text{ACh} + \text{AChE}}$ Estímulo nervioso a la neurona Y (+ **A** + **Ch**)

2. Transmisión inhibida del estímulo nervioso (neurona - **sinapsis** - neurona) por OF o carbamatos

Estímulo nervioso de la neurona X $\xrightarrow[(+ \text{OF} \text{ o } + \text{carb})]{\text{ACh} + \text{AChE}}$ Estímulo nervioso en la neurona X (+ **ACh**)

Aunque los bioensayos sean cualitativos y semi-cuantitativos, se pueden ejecutar en una cantidad elevada de muestras y en muy corto tiempo. Estos permiten hacer una criba (screening) y contribuyen significativamente en la implementación de un programa de control de residuos de OF y carbamatos en vegetales. Cuando las muestras resultan positivas por residuos de plaguicidas, estas son reanalizadas con los métodos oficiales y las técnicas convencionales.

Este procedimiento permite a una persona analizar hasta 20 muestras en una jornada laboral de 8 horas. El ensayo no es aplicable en aquellos rubros que interfieren (falsos positivos), como el culantro y la papa con cáscara.

Esta cooperación técnica nos permitió:

- Desarrollar el proyecto “Detección de residuos de plaguicidas en vegetales mediante bioensayos rápidos”.
- Validar bioensayos rápidos para la detección de residuos de plaguicidas en productos de origen vegetal. Este proyecto fue liderado por el IDIAP.
- Desde 2007 establecer en el país un programa nacional de monitoreo de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales en el ámbito interinstitucional junto con el MINSA (Departamento de Protección de los Alimentos), la Alcaldía de Panamá (Mercados de Abastos Central de la Ciudad de Panamá) y el IDIAP. A partir de 2010 se incorporó en dicho programa la Autoridad Panameña de Seguridad de Alimentos (AUPSA), vigilante hasta 2021 de nuestras importaciones.
- Contribuir a la reducción de los impactos adversos de los plaguicidas OF y carbamatos en la salud de la población.

- Incorporar en el programa de monitoreo a las grandes cadenas de supermercados y los hospitales, que actualmente exigen a sus proveedores de frutas y vegetales el análisis de residuos de plaguicidas.
- Inaugurar tres estaciones de campo: la Estación de Detección Rápida de Residuos de Plaguicidas en Volcán Chiriquí, que está en funcionamiento desde 2007 y atiende a toda la provincia; la Estación de Detección Rápida de Residuos de Plaguicidas en Las Tablas, que brinda servicios desde 2008 y atiende a las provincias de Coclé, Herrera, Los Santos y Veraguas; y la Estación de Detección Rápida de Residuos de Plaguicidas de la DNSV en Tapia Tocumen, que está en operación desde 2009 y ofrece servicios a las provincias de Panamá Oeste y Panamá Este.

2.5.2. Proyectos de cooperación técnica nacional y regional ejecutados a través del OIEA

Por primera vez Panamá construyó un laboratorio para controlar los residuos de plaguicidas en frutas y vegetales, el cual empieza a prestar sus servicios oficialmente en abril de 2007. Antes de contar con estas facilidades, pocos estudios evaluaban los problemas de contaminación por plaguicidas en zonas agrícolas panameñas y en diferentes rubros de la producción nacional.

En ese entonces se contaba solamente con dos equipos para la determinación analítica de residuos de plaguicidas: un cromatógrafo de líquidos con detectores de arreglo de diodos y fluorescencia y un cromatógrafo de gas con NPD y ECD.

Por medio del Proyecto PAN 5/015 (2005-2006) y la mediación del Dr. Jaime Espinosa González (q. e. p. d.), quien fungía como investigador del

IDIAP y ejecutor de proyectos de cooperación técnica con el OIEA, se inició una fructífera cooperación entre ambas partes. Se instaló en las nuevas infraestructuras un contador de centelleo líquido (LSC), a fin de asegurar la calidad en el análisis de residuos de plaguicidas para la producción agrícola.

Posteriormente, con el MIDA como ejecutor, se avanza en el desarrollo del Proyecto PAN 5/017 (2007-2008). Se utiliza por primera vez el LSC para validar la metodología de análisis multirresidual QuEChERS con clorpirifós marcado con C-14 en piña y melón.

Mediante el Proyecto PAN 5/017 se fortalecen las bases de un análisis robusto multirresidual para la familia de plaguicidas OF, se capacita al personal técnico y se realizan misiones de expertos para el uso de plaguicidas marcados. Además, se realiza la compra compartida entre el Gobierno y el OIEA de un cromatógrafo de gas con detector selectivo de masas, lo cual nos daba la garantía de confirmar las moléculas que se estaban detectando con detectores específicos, como el NPD.

A través de los proyectos PAN 5019, PAN 5022 y RLA 5060 se fortalecieron las capacidades analíticas para el análisis de residuos de plaguicidas y de contaminantes inorgánicos (metales pesados) en vegetales, la implementación de la Norma ISO/IEC 17025, la validación de métodos analíticos y los cálculos de incertidumbre de las mediciones, entre otras exigencias de las normas de calidad sobre la competencia técnica del personal en laboratorios de ensayos. El Laboratorio

obtuvo dos nuevas tecnologías analíticas: un LC-MS/MS con la tecnología de triple cuadrupolo, adquirido por el Gobierno y el OIEA, y el GC-MS/MS con triple cuadrupolo, que fue una donación completa del OIEA.

Con apoyo de los proyectos PAN 5024 y PAN 5027 se amplió la capacidad analítica del país y se logró determinar más de 150 ingredientes activos con propiedades plaguicidas de los más utilizados en nuestra agricultura nacional. Asimismo, con datos derivados del monitoreo de residuos de plaguicidas efectuado durante 10 años, se implementó el enfoque de evaluación de riesgo como una experiencia piloto en la que se basó el Programa de Residuos de Plaguicidas en materia de **riesgo** de los productos agrícolas para el consumo humano, y se fortaleció el control de calidad de los agroquímicos (plaguicidas químicos y fertilizantes).

En el marco del ARCAL, Panamá participó en la ejecución de los proyectos RLA 5060, RLA 5061 y RLA 7019, lo que permitió, entre otras cosas, disponer de la capacidad para trabajar con alimentos y las matrices ambientales suelo, agua y sedimento. Particularmente, con el proyecto RLA 7019 se inició el estudio de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo (2014-2017), cuyos resultados fueron compartidos con productores de tierras altas. Al respecto se publicaron dos artículos científicos.

En el cuadro 2 se presenta un desglose de los proyectos de cooperación con el OIEA en los cuales Panamá ha participado:

Cuadro 2. Proyectos de cooperación técnica del OIEA con la participación del laboratorio.

Proyecto	Título del proyecto	Período de ejecución
De cooperación técnica nacional		
PAN 5/015	"Aseguramiento de calidad en el análisis de residuos de plaguicidas para la producción agrícola"	2005-2006
PAN 5/017	"Monitoreo de residuos de plaguicidas en la producción de frutas tropicales (piña y melón) y el control de calidad analítica con ayuda de las técnicas nucleares"	2007-2008
PAN 5/019	"Soporte a la acreditación de un laboratorio de residuos de plaguicidas"	2009-2011
PAN 5/022	"Determinación de plaguicidas y contaminantes inorgánicos en vegetales y el estudio de la adsorción y migración a través de técnicas nucleares en zonas de alta incidencia por contaminación para garantizar alimentos seguros a los consumidores"	2014-2015
PAN 5/024	"Desarrollo de capacidades analíticas para la detección de contaminantes químicos en alimentos y la calidad de los agroquímicos"	2016-2017
PAN 5/027	"Fortalecimiento de las capacidades analíticas para el monitoreo basado en riesgo de productos agrícolas para el consumo interno"	2020-2021
De cooperación técnica regional		
RLA 5/060	"Armonización y validación de métodos analíticos para monitorear los riesgos de los residuos químicos y contaminantes en alimentos en la salud humana"	2012-2013
RLA5/061	"Apoyo a la gestión de calidad y mitigación del impacto de contaminantes en los productos y el medioambiente"	2012-2013
RLA 7019	"Desarrollo de indicadores para determinar el efecto de plaguicidas, metales pesados y contaminantes emergentes en ecosistemas acuático continental importante para la agricultura y agroindustria"	2014-2017
RLA 5080	"Fortalecimiento de la colaboración regional entre laboratorios oficiales para hacer frente a nuevos desafíos relacionados con la inocuidad de los alimentos"	2020-2021
RLA 5081	"Mejora de las capacidades regionales de análisis y los programas de vigilancia de residuos/contaminantes en los alimentos mediante técnicas nucleares/isotópicas y complementarias"	2020-2021

2.5.2.1. Detección rápida mediante inmunosensores electroquímicos

Se desarrollaron dos inmunosensores que utilizan electrodos serigrafiados para la determinación de imidacloprid en el agua y los vegetales y se compararon los resultados obtenidos con los de la técnica de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (42,43). Este trabajo del laboratorio se logró con el respaldo del Proyecto PAN 5/024 del OIEA y del Grupo de Nanobioanálisis del Departamento de Química Física y Analítica de la Facultad de Química de la Universidad de Oviedo.

El desarrollo de biosensores para la detección de plaguicidas ha sido un área de investigación esencial en los últimos años, debido a la demanda de técnicas simples, rápidas, selectivas y de bajo costo. El avance de la nanotecnología ha permitido desarrollar electrodos serigrafiados para la construcción de biosensores muy sensibles y específicos para el monitoreo de contaminantes emergentes en alimentos y en muestras ambientales (49).

Los biosensores no compiten con las técnicas convencionales, las complementan. Esta técnica se puede implementar también en estaciones de laboratorio cercanas al campo para determinar

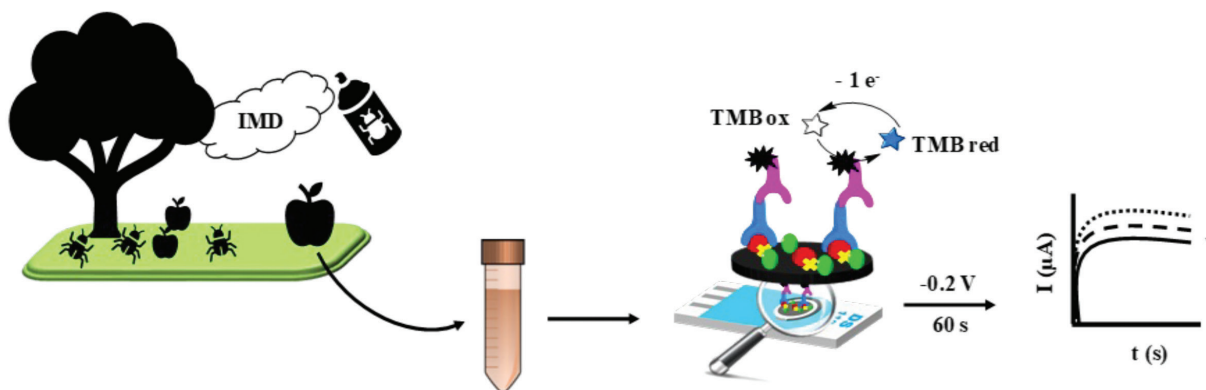
la presencia de residuos de plaguicidas en niveles bajos de concentración ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, un sensor químico es un dispositivo que transforma información química (cualitativa, cuantitativa o semicuantitativa) en una señal analíticamente útil (50). Un sensor químico, que responde de manera inequívoca a un analito concreto en una muestra compleja, consta esencialmente de dos partes: el elemento de reconocimiento, que interactúa con el analito seleccionado y concede selectividad al sensor y al transductor, lo que permite convertir esa interacción en una señal analítica. Cuando el transductor es un electrodo, el sensor es electroquímico, y cuando en el elemento de reconocimiento intervienen especies biológicas, se trata de un biosensor (19).

Un inmunosensor es un sensor cuyo elemento de reconocimiento está constituido por anticuerpos o fracciones de anticuerpos, antígenos o haptenos y cuyo fundamento es las reacciones inmunológicas controladas por constantes de afinidad o avidéz. La gran selectividad de los anticuerpos resulta de la estereoespecificidad de los puntos de unión con el antígeno (5).

En la siguiente imagen se aprecia una representación de la aplicación del método de determinación del imidacloprid.

Imagen 1. Resumen gráfico de la determinación de Imidacloprid en vegetales



Fuente: Pérez-Fernández, B., Mercader, J., Checa-Orrego, B., et al. 2019. A monoclonal antibody-based immunosensor for the electrochemical detection of imidacloprid pesticide. *Analyst* 144 (9), 2936-2941.

En conclusión, el uso de inmunosensores hace eficiente el manejo de reactivos analíticos, minimiza la generación de desechos y posibilita el desarrollo de kits inmunológicos portátiles para la determinación de imidacloprid en el campo. Además, abre la posibilidad de determinar otros plaguicidas simultáneamente con una sola lectura.

2.5.2.2. Fortalecimiento de Capacidades Analíticas para el Monitoreo Basado en Riesgo de Productos Agropecuarios para Consumo Interno (Proyecto PAN 5027)

Con miras a ayudar a las autoridades a diseñar el programa anual de monitoreo de plaguicidas basado en el riesgo potencial para la salud pública, las autoridades del MIDA y del MINSA sentaron las bases del desarrollo de un programa integrado de vigilancia basado en el riesgo de plaguicidas en productos frescos, con vigencia para 2023. Al respecto, se realizaron las siguientes actividades:

- i. Se integraron en una base de datos los resultados del monitoreo de plaguicidas (2009-2020) clasificados por: año, producto, plaguicida, número de muestras positivas por plaguicida presente, número de muestras por encima del LMR y productos importados frente a producción nacional.
- ii. Se utilizó la base de datos más reciente sobre el consumo anual per cápita (kg/año) de productos básicos en Panamá (2017) para establecer la ingesta diaria de frutas, verduras y granos.
- iii. Se elaboró una escala de riesgo para clasificar los plaguicidas en función de diferentes factores de riesgo como: clasificación de toxicidad según la OMS (clase Ia, Ib, II, III y IV); solubilidad en agua (baja, moderada, alta);

sistémico (sí o no); y valor IDA (mg/kg de peso corporal/día).

- iv. Se desarrolló un sistema para asignar una puntuación de riesgo a cada plaguicida según los factores de riesgo: toxicidad: Ia = 10 pts., Ib = 7.5 pts., II = 5 pts., III = 2.5 pts. y IV = 0 pts.; solubilidad: baja = 10 pts., moderada = 1 pts., alta = 0 pts.; sistémico: sí = 10 pts., no = 0 pts.; IDA (mg/kg pc/día): <0.001 = 10 pts., >0.001 y <0.01 = 7.5 pts., >0.01 y <0.1 = 5 pts., >0.1 y <1 = 2.5 pts. y >1 = 0 pts.

Como resultado de lo anterior se sumaron las puntuaciones de cada factor de riesgo para obtener una puntuación final, donde el puntaje de riesgo total es igual al puntaje de toxicidad más el puntaje de solubilidad más el puntaje sistémico más el puntaje ADI.

- v. Se creó una escala de riesgo para clasificar los productos alimenticios en función de los siguientes factores de riesgo: porcentaje de muestras positivas, porcentaje de muestras con plaguicidas por encima del LMR, consumo anual y puntuación media de plaguicidas.
- vi. Se elaboró una lista de los plaguicidas más tóxicos encontrados en Panamá; los cultivos con mayor riesgo, considerando todos los factores de riesgo en Panamá por presencia de plaguicidas; y los cultivos importados con mayor riesgo por presencia de plaguicidas por encima de los LMR y con mayor consumo.
- vii. Como resultado final, se propuso el diseño de un programa nacional de vigilancia basado en el riesgo de los plaguicidas, de acuerdo con el riesgo toxicológico que representan estas sustancias encontradas en cada producto durante los últimos diez

años (2009-2020). Además, se desarrolló un sistema para calcular una única puntuación de riesgo en cada producto alimenticio y su contribución (porcentaje) en la puntuación de riesgo total.

Esta herramienta permitirá a las autoridades panameñas utilizar los porcentajes para asignar el número de muestras y analizar los plaguicidas en cada producto alimenticio en función de su riesgo inherente.

A partir de la exposición diaria a plaguicidas por medio del consumo diario de frutas, verduras y granos y de su concentración en las muestras analizadas, en el estudio realizado a través de este proyecto se determinó que ninguno de los plaguicidas cuantificados excedía el valor de la ingesta diaria admisible (IDA), excepto el mirex, debido a que cualquier grado de exposición a esta sustancia representaba un riesgo para la salud; sin embargo, vale la pena aclarar que el uso de dicho compuesto en actividades agropecuarias está prohibido en Panamá desde 1997 (30).

2.6. Principales publicaciones

Durante los últimos 10 años los aportes del laboratorio al quehacer científico nacional e internacional se ven reflejados en las publicaciones que enumeraremos a continuación, algunas de las cuales aparecen en la imagen N° 2.

1. Direct competitive immunosensor for imidacloprid pesticide detection on gold nanoparticle-modified electrodes. Pérez-Fernández, B., Mercader, J., Abad-Fuentes, A., Checa-Orrego, B., De la Escosura-Muñiz, A., Costa-García, A. *Talanta*. 2020 209, 120465.
2. A monoclonal antibody-based immunosensor for the electrochemical detection of imidacloprid pesticide. Pérez-Fernández, B., Mercader, J., Checa-Orrego, B., de la Escosura-Muñiz, A., Costa-García, A. *Analyst*. 2019; 144 (9), 2936-2941.
3. Optimization of a method for the determination of imidacloprid in fruits and vegetables by electrochemical immunoassay. Hernández, S., Checa, B., Vásquez, R., Pérez-Fernández, B., Costa-García, A. 7th Latin American Pesticides Residue Workshop. Del 5 al 8 de mayo, 2019, Brasil.
4. Panamanian monitoring programs for pesticide residues in sweet pepper: results from 2018. Coronado, E., Hernández, G., Checa, B. 7th Latin American Pesticides Residue Workshop. Del 5 al 8 de mayo, 2019, Brasil.
5. Pesticides residues monitoring in food of plant origin Panama 2015-2017. Hernández, G., Checa, B., Gordón, D. 12th European Pesticide Residue Workshop. 2018.
6. Fast, low cost, reliable, and highly sensitive electrochemical immunoassay method for quantitative determination of imidacloprid. Checa, B., Hernández, S., Vásquez, R., Pérez-Fernández, B., Costa-García, A. Trigésimo Tercer Congreso Latinoamericano de Química CLAQ. 2018.
7. Pesticides monitoring in Chiriquí Viejo river in the Republic of Panama. Checa, B., Fuentes H., González, S., Quintero, E., Hernández, G. PM-09, Pag. 158. 6th Latin American Pesticides Residue Workshop. Del 14 al 17 de mayo, 2017, San José, Costa Rica.
8. Strengthening capabilities for the detection of pesticides in a national monitoring program of fruits and vegetables. Aparicio, L., Hernández, S., Checa, B. PM-13, pag. 162. 6th Latin American Pesticides Residue Workshop. Del 14 al 17 de mayo, 2017, San José, Costa Rica.

9. Optimization and validation of a method for glyphosate and AMPA by precolumn derivatization and quantification by LC-MSMS with SPE-ONLINE. Iglesias, G., Coronado, E., Checa, B. 6th Latin American Pesticides Residue Workshop. Del 14 al 17 de mayo, 2017, San José, Costa Rica.
10. Enfoque integral de contaminantes químicos y biomonitorio en la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, MIDA 2016.
11. Pesticides Residue Monitoring Program in Panama. Checa, B., Hernandez, G., Coronado, E., Fuentes, J., Aparicio, L. 11th European Pesticide Residue Workshop. 2016.
12. Comparación de dos aproximaciones para la estimación de la incertidumbre en análisis de residuos de plaguicidas mediante cromatografía de gases. Ahumada, DA., Aparicio, LW., Fuentes, JC., Guerrero, JA., Checa, BI. Revista Colombiana de Química 41 (3), 377-394 (2012).

3. Análisis de residuos de plaguicidas y de otros contaminantes químicos en productos de origen vegetal

Como se señaló anteriormente, la Ley 47 del 9 de julio de 1996 del MIDA le otorga al Laboratorio de Control de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales, el derecho a determinar la presencia de residuos de plaguicidas en diferentes cultivos en cualquier fase fenológica de su desarrollo. Asimismo, le corresponde a este laboratorio suministrar información, a fin de brindar a otros departamentos de la DNSV apoyo y sustento para retener, decomisar y/o destruir las plantas y/o productos vegetales que contengan residuos de plaguicidas en cantidades superiores a los LMR establecidos para cada producto.

Los primeros pasos dados por el laboratorio en cuanto a la determinación de la presencia de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales se remontan a 2006. En su etapa inicial, este servicio tenía el propósito de determinar la inocuidad de los alimentos de origen vegetal que nuestros agricultores producían. Posteriormente se analizaron muestras de alimentos importados y se conformó lo que hoy llamamos el Programa Nacional de Control de Residuos de Plaguicidas

en Frutas y Vegetales, que ha contado con el apoyo del MINSA y de la Autoridad Panameña de Seguridad de Alimentos (hoy la Agencia Panameña de Alimentos, APA).

Forman parte de este sistema de control oficial: 1) el Laboratorio de Control de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales, localizado en las instalaciones de la DNSV, y 2) la red de estaciones de bioensayo rápido para la detección de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales, con operaciones en las provincias de Chiriquí, Los Santos, Herrera, Coclé, Veraguas y Panamá (véase el punto 2.5.1). Recientemente entró en funcionamiento una nueva estación en Penonomé, provincia de Coclé.

De acuerdo con la norma de calidad ISO/IEC 17025, los laboratorios que realizan ensayos deben ofrecer a sus usuarios resultados confiables, reproducibles y trazables, con instrumentos calibrados, lo que disminuye posibles errores en el proceso. En el caso de la DNSV, les corresponde a los departamentos de Trazabilidad y de Agroquímicos realizar la

Imagen 2. Principales publicaciones durante el período 2015-2021.

Optimization of a method for the determination of imidacloprid in fruits and vegetables by electrochemical immunoassay



Hernández, S.¹, Checa, B.¹, Vásquez, R.², Pérez-Fernández, B.³, Costa-García, A.³

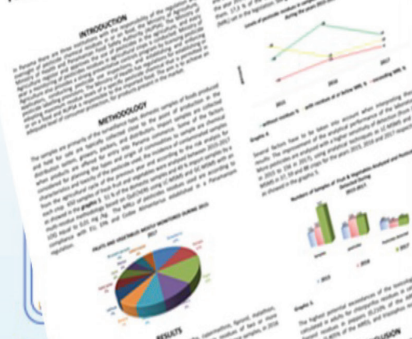
¹ Pesticides Residues Fruit and Vegetable, Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá, República de Panamá

² Florida State University, Panama, Republic of Panama

³ Physical and Analytical Chemistry, University of Oviedo, Asturias, Spain

Email: samhernandez@mida.gov.pa; bcheca@mida.gov.pa

PESTICIDES RESIDUES MONITORING IN FOOD OF PLANT ORIGIN PANAMA 2015-2017



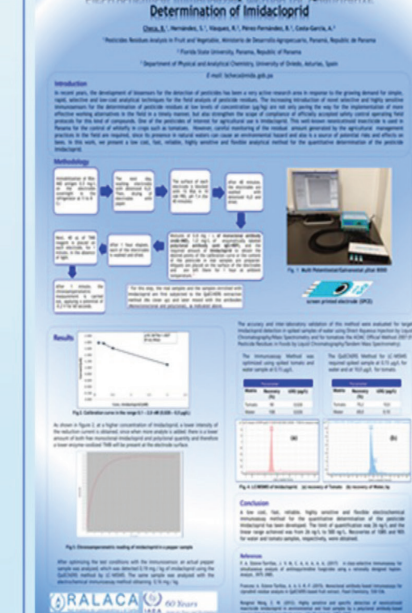
PANAMANIAN MONITORING PROGRAMS FOR PESTICIDE RESIDUES IN SWEET PEPPER- RESULTS FROM 2018



Optimization and Validation of a method for Glyphosate and AMPA by precolumn derivatization and quantification by LC-MS/MS with SPE-ONLINE



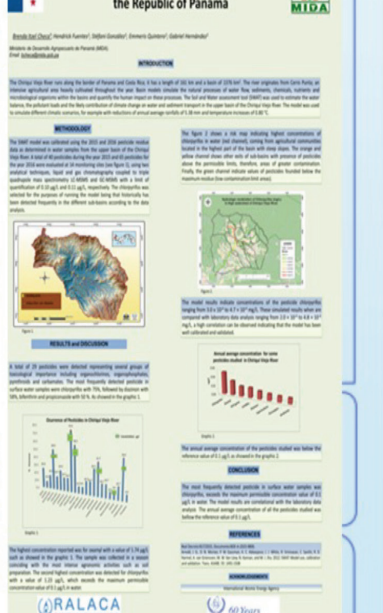
Fast, Low cost, Reliable, and Highly Sensitive Electrochemical Immunoassay Method for Quantitative Determination of Imidacloprid



Strengthening Capabilities for the Detection of Pesticides in National Monitoring Program of Fruit and Vegetable



Pesticides Monitoring in Chiriqui Viejo River in the Republic of Panama



interpretación requerida por los usuarios y generar recomendaciones.

Con el propósito de beneficiar a nuestros lectores, en esta obra la interpretación de los resultados ha sido desarrollada por su primer autor, con independencia del laboratorio.

3.1. Programa de Monitoreo por medio de técnicas químicas cuantitativas confirmatorias

Para determinar la presencia de residuos de plaguicidas se utilizan técnicas normalizadas cualitativas y cuantitativas ampliamente recomendadas por el mundo científico, lentas y costosas en términos de su progreso analítico y cuya aplicación debe ser realizada por personal técnico altamente calificado.

Se emplea la metodología de análisis multirresidual QuEChERS (*quick, easy, cheap, effective, rugged, safe*, es decir, rápido, fácil, económico, eficaz, robusto, seguro), aplicable a una gran cantidad de plaguicidas y a una variedad de cultivos o matrices vegetales no grasas. Para su implementación utiliza técnicas analíticas de cromatografía gaseosa con detectores específicos (NPD y ECD), GC-MS y LC-MS/MS.

El laboratorio recibe las muestras recolectadas por el MIDA y las demás instituciones que forman parte del Programa. Con respecto al período 2009-2020, las muestras para determinar la presencia de residuos de plaguicidas provenían de cultivos de granos básicos, frutas, legumbres, hortalizas y otros vegetales (74 cultivos nacionales y 78 de importación). Las muestras de cultivos nacionales se recolectan fundamentalmente de plantas o vegetales de amplio consumo en el país. En los cuadros 3 y 4 se presentan los cultivos nacionales y de importación analizados.

Cuadro 3. Cultivos nacionales analizados durante el período 2009-2020.

1	Aguacate	26	Granadilla	51	Papri
2	Ají criollo	27	Guayaba	52	Pepino
3	Ají picante	28	Guinda (cereza)	53	Perejil
4	Albahaca	29	Habichuela	54	Pimentón
5	Apio	30	Hongo	55	Piña
6	Arroz	31	Huma	56	Pitahaya
7	Arúgula	32	Jengibre	57	Plátano
8	Banano	33	Kale (col rizada)	58	Poroto
9	Berenjena	34	Lechuga	59	Puerro
10	Brócoli	35	Limón	60	Rábano
11	Café	36	Limón persa	61	Rábano rojo
12	Calabaza	37	Maíz	62	Remolacha
13	Caña de azúcar (jugo)	38	Mandarina	63	Repollo
14	Carambola	39	Mango	64	Repollo chino
15	Cebolla	40	Maracuyá	65	Sandía
16	Cebollina	41	Melón	66	Sinka

17	Chayote	42	Mostaza	67	Tomate
18	Cilantro chino	43	Nabo	68	Tomate perita
19	Coliflor	44	Naranja	69	Uma
20	Culantro	45	Naranja criolla	70	Yuca
21	Culantro chino	46	Ñame	71	Yuma
22	Cúrcuma	47	Ocra o ñajú	72	Zanahoria
23	Espinaca	48	Otoe	73	Zapallo
24	Fresa	49	Papa	74	Zucchini (calabacín)
25	Fuka	50	Papaya		

Cuadro 4. Cultivos importados analizados durante el período 2009-2020.

1	Aguacate	27	Endibia	53	Milo blanco
2	Ají	28	English pea (guisante inglés)	54	Mora
3	Ajo	29	Espárrago	55	Nabo
4	Albaricoque	30	Espinaca	56	Papa
5	Alfalfa	31	Frambuesa (raspberry)	57	Papaya
6	Angel hair slaw	32	Fresa	58	Pera
7	Apio	33	Granadilla	59	Pera manzana
8	Arándano	34	Gulupa o maracuyá	60	Pitahaya
9	Arroz	35	Habichuela	61	Plátano
10	Arveja china	36	Higo	62	Poroto
11	Banano	37	Hongo	63	Radicchio (achicoria roja)
12	Berenjena	38	Hongo blanco	64	Rúgula inglesa
13	Berro	39	Kale (col rizada)	65	Salvia
14	Brócoli	40	Kiwi	66	Sandía
15	Café	41	Lechuga	67	Snow pea (tirabeque)
16	Canadian red millet (mijo rojo canadiense)	42	Lechuga crespa morada	68	Sugar snap pea (guisante dulce)
17	Cebolla	43	Lechuga romana	69	Tomate
18	Cereza	44	Lima	70	Tomate de árbol
19	Chalote	45	Limón	71	Tomillo
20	Chayote	46	Lulo	72	Toronja
21	Ciruela	47	Maíz	73	Uchuva
22	Col de Bruselas	48	Mandarina	74	Uva
23	Coliflor	49	Mango	75	Zanahoria
24	Cúrcuma	50	Maní	76	Zapallo
25	Dátil	51	Manzana	77	Zarzamora
26	Durian	52	Menta	78	Zucchini (calabacín)

Actualmente se analizan en el laboratorio 173 analitos o ingredientes activos con propiedades plaguicidas, haciendo hincapié en aquellos que gozan de gran demanda por parte del sector productivo agropecuario y que pertenecen a las siguientes familias químicas: OF, carbamatos, piretroides, neonicotinoides, triazoles, derivados de los ariloxifenoxiacéticos, derivados del ácido picolínico, estrobilurinas, morfolinas, triazinas y ditiocarbamatos, entre otras. De los 173 ingredientes activos 101 son detectados mediante una cromatografía de gas acoplada a un espectrómetro de masas y 96, a través de una cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas (véanse los anexos 1 y 2).

Además, se analizan ciertos miembros de la familia química de los organoclorados, principalmente por su persistencia ambiental, como el diclorodifeniltricloroetano (DDT), y sus metabolitos de degradación (el diclorodifenildicloroetano [DDD] y el diclorodifenildicloroetileno [DDE]), el mirex y el hexaclorobenceno, entre

otros. Desde 1997, a excepción del insecticida endosulfán y del fumigante 1,3-dicloropropeno, los plaguicidas organoclorados están prohibidos para su uso en la agricultura nacional (30).

A efectos de este trabajo, hemos dividido los datos históricos de la actividad del laboratorio según los resultados obtenidos durante el período 2009-2020 y los obtenidos durante el período 2015-2020.

3.1.1. Análisis e interpretación de los resultados durante el período 2009-2020

Un total de 1532 muestras de diferentes vegetales fueron analizadas por el laboratorio durante este período: 1091 de ellas eran de productos nacionales y 441, de productos importados. En 289 se determinaron violaciones de los LMR, 77 correspondían a vegetales importados y 212 a nacionales, es decir, 17.5 % y 19.4 %, respectivamente (cuadro 5).

Cuadro 5. Violaciones de los LMR en muestras de productos nacionales e importados.

DETALLE MUESTRAS	VIOLACIONES DE LOS LMR EN MUESTRAS, PERÍODO 2009-2020		
	MUESTRAS, n	VIOLATORIAS, n	VIOLATORIAS, %
NACIONALES	1091	212	19.4
IMPORTADAS	441	77	17.5
TOTAL	1532	289	18.9

En ambos casos los porcentajes de transgresión de los LMR son altos, lo que nos invita a la reflexión. A la luz de este hallazgo trataremos de brindar información, que, sin duda alguna, responderá a ciertas inquietudes de nuestros lectores. Empezaremos por suministrar una lista de

los cultivos que han sido muestreados durante los años del análisis.

Los gráficos 1 y 2 nos ofrecen información sobre los cultivos nacionales e importados muestreados por el programa, así como una lista de los

cultivos en los que se reportó el mayor número de violaciones de los LMR de plaguicidas. A primera vista queda claro que no siempre hay una correspondencia entre los cultivos nacionales muestreados y los seleccionados por otros países en términos de variedad y cantidad. La caña de azúcar (jugo), el ají, el apio, el tomate, la cebolla y el pimentón fueron los rubros nacionales más frecuentemente muestreados, lo que representa un total de 463 o el 42.4 %, mientras que la fresa, el maíz, la lechuga, el aguacate, la espinaca y la manzana se convirtieron en los cultivos de

importación mayormente analizados, con un total de 215 muestras o 48.7 %.

Entre los cultivos nacionales se destacan por una mayor incidencia de transgresiones a los LMR en orden descendente: el apio (60), el ají (44), el pimentón (23), el tomate (10) y la lechuga (10). Con respecto a los cultivos importados sobresalen: la fresa (26), las lechugas (8), el aguacate (6) y la espinaca (6). Como se puede apreciar, el apio nacional es el cultivo donde se determinan más violaciones de los LMR y, la fresa, entre los rubros importados.

Gráfico 1. Cultivos nacionales mayormente muestreados y violaciones de los LMR de plaguicidas detectadas en ellos.

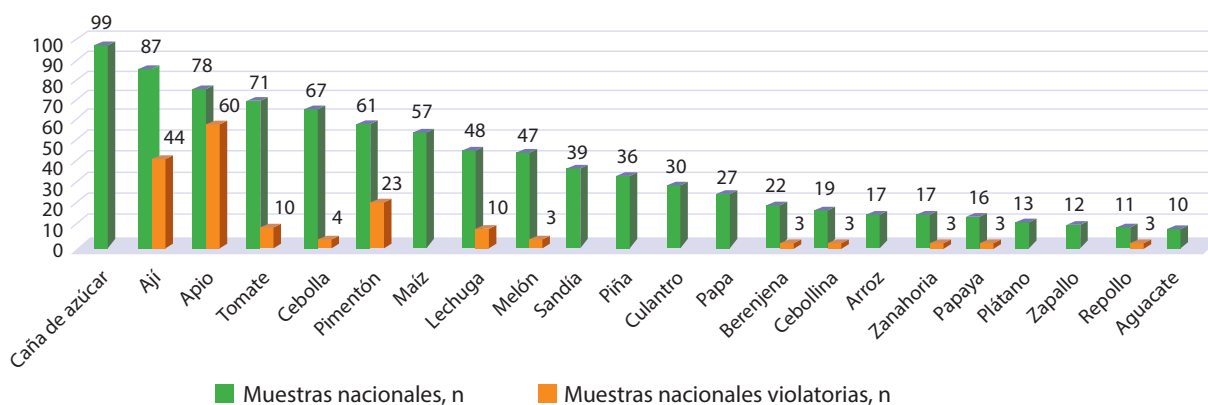
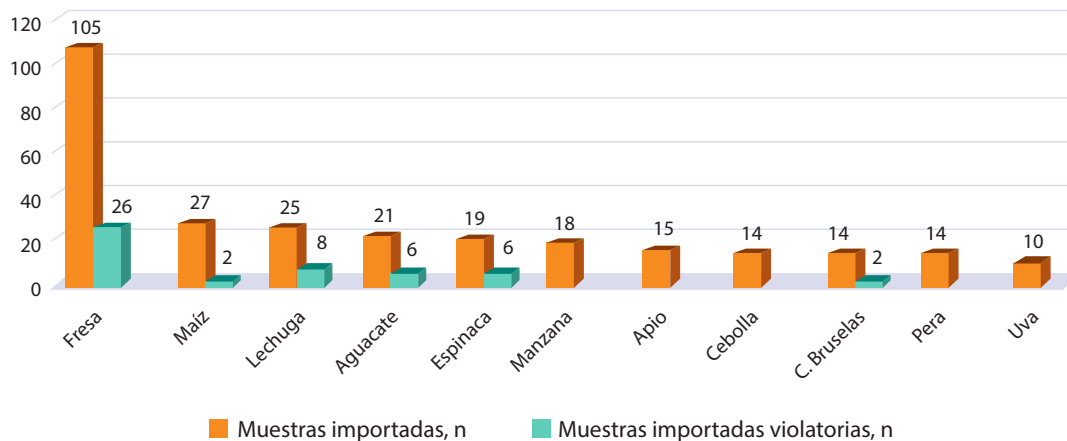


Gráfico 2. Cultivos importados mayormente muestreados y violaciones de los LMR de plaguicidas detectadas en ellos.



Definitivamente, la presencia de residuos de plaguicidas en las cosechas es de preocupación alimentaria internacional, en particular cuando sobrepasan los límites de tolerancia en el país. En este sentido Panamá se rige por el Decreto Ejecutivo n.º 467 del Ministerio de Salud (35), por el cual se establecen los LMR de plaguicidas y otros contaminantes en frutas y vegetales de consumo nacional y de exportación.

Independientemente de su contenido residual, ciertos ingredientes activos pueden afectar a la salud de las personas y comprometerla seriamente. Este es el caso de los plaguicidas catalogados como carcinogénicos. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (23) y la EPA (16) ofrecen una lista de

tales sustancias. Cualquier exposición por mínima que sea a estas sustancias, bajo ciertas condiciones, puede producir un cáncer en el organismo vivo.

Desde esta óptica, es relevante hablar de los plaguicidas más frecuentemente detectados en los cultivos nacionales e importados y cuyos contenidos podían estar por debajo o por encima de los LMR (cuadro 6). Entre ellos figuran los insecticidas clorpirifós, fipronil, bifentrina e imidacloprid y los fungicidas metalaxil, tebuconazol, carbendazina y azoxistrobina; no obstante, debido a la cantidad de veces que fueron detectados, producen mayor preocupación el clorpirifós y el tebuconazol, catalogados como disruptores endocrinos (52, anexo 3).

Cuadro 6. Plaguicidas frecuentemente detectados en rubros nacionales e importados, con valores por encima o por debajo de los LMR (período 2009-2020).

Sobrepasan los LMR	Frecuencia de detección	No sobrepasan los LMR	Frecuencia de detección
Clorpirifós	77	Clorpirifós	94
Fipronil	57	Metalaxil	75
Propiconazol	19	Tebuconazol	72
Clorfenapir	19	Pirimetanol	69
Tebuconazol	15	Carbendazina	66
Triazofós	14	Boscalid	59
Carbendazina	13	Azoxistrobina	54
Iprodiona	12	Flutriafol	49
Cipermetrina	11	Bifentrina	43
Etoprofós	11	Imidacloprid	43
Metamidofós	9	Cipermetrina	38

Diazinón	9	Ciprodinil	37
Clorotalonilo	8	Cihalotrina (lambda)	35
Profenofós	8	Trifloxistrobina	27
Malatión	8	Clorotalonilo	27
Azoxistrobina	7	Fludioxonil	26
Dimetoato	7	Tiabendazol	26
Permetrina	6	Acetamiprid	25
Bifentrina	6	Miclobutanilo	20
Lambda-Cihalotrina	6	Propiconazol	18
Procloraz	5	Indoxacarb	18
Acetoclor	5	Dimetomorf	17
Fenpropidin	4	Espiromesifeno	15
Cadusafós	3	Procloraz	14
Diclorvós	3	Tiametoxam	13
Acefato	3	Spiromesifen	12
Metomilo	3	Malatión	12
Oxamilo	3	Clotianidina	12
Cipermetrina (zeta)	3		

Según una evaluación más detallada de los alimentos de origen vegetal, incluidos los importados, que presentaban un número preocupante de violaciones de los LMR, el apio es el cultivo nacional que genera mayor preocupación entre los consumidores de hortalizas. Las tolerancias nacionales proporcionadas por el MINSa para

este rubro fueron superadas por 27 diferentes ingredientes activos, siendo los insecticidas clorpirifós, etoprofós, malatión y los fungicidas iprodiona y propiconazol los que con mayor frecuencia fueron cromatográficamente identificados (véase el cuadro 7). También existe preocupación por los ajés y pimientos.

Cuadro 7. Cultivos nacionales e importados que mostraban un mayor número de violaciones de LMR, con énfasis en los plaguicidas más detectados.

Rubros nacionales	Ingredientes activos que sobrepasan los LMR	Plaguicidas más recurrentes	Rubros importados	Ingredientes activos que sobrepasan los LMR	Plaguicidas más recurrentes
Ají	13	Clorfenapir	Fresa	23	Tebuconazol
		Clorpirifós			Procloraz
		Fipronil			Carbendazina
		Profenofós			Diclorvós
		Triazofós			Fipronil
Apio	27	Clorpirifós	Lechuga	8	Fipronil
		Etoprofós			Propiconazol
		Iprodiona	Aguacate	9	Fenpropidin
		Malatión	Espinaca	7	Propiconazol
		Propiconazol			Triadimenol
Pimentón	9	Clorpirifós	Tomillo	7	Tebuconazol
		Fipronil			
Lechuga	4	Clorpirifós			
		Clorotalonil			
Tomate	5	Clorfenapir			
		Clorpirifós			
		Fipronil			

Por otra parte, los cinco plaguicidas reportados en el párrafo anterior se incluyen en la lista de los **plaguicidas altamente peligrosos (PAP)**, es decir, productos que representan riesgos agudos o crónicos particularmente elevados para la salud o el medioambiente. La iprodiona es carcinogénica, el clorpirifós es un disruptor endocrino y el malatión es no solo carcinogénico, sino también un disruptor endocrino (anexo 3).

La fresa, entre los productos importados, figura como la fuente de alimentación que mayor grado de contaminación presenta, ya que han sido contabilizados 23 diferentes ingredientes activos que sobrepasaban los LMR, determinándose entre los más recurrentes tres fungicidas: el tebuconazol, el procloraz y la carbendazina, y dos insecticidas: el diclorvós y el fipronil. Las violaciones de los LMR se presentan más por fungicidas que por insecticidas.

3.1.2. Análisis e interpretación de los resultados durante el período 2015-2020

Durante este período llegaron al laboratorio para su análisis 1211 muestras de diferentes

vegetales, lo que supera de tres a cuatro veces la cantidad recibida en el período 2009-2014. En los últimos seis años se procesaron las primeras 441 muestras de vegetales importados recolectadas por la AUPSA (cuadro 8).

Cuadro 8. Muestras analizadas y violaciones de los LMR de plaguicidas detectadas en ellas (2015-2020).

Origen de las muestras	Violaciones de los LMR en muestras		
	Muestras, n	Violatorias de los LMR, n	Violatorias de los LMR, %
Nacionales	770	143	18.6
Importadas	441	77	17.5
Total	1211	220	18.2

De cada 10 muestras analizadas 1.8 mostraban resultados que sobrepasaban los LMR, situación que debería causar mucha preocupación entre los consumidores y que invita a tomar medidas para minimizar los posibles impactos adversos, ya sea por medio de la inhabilitación o selección de otros proveedores o productores, la destrucción de los lotes contaminados y la modificación de los métodos de muestreo con respecto a los cultivos que presentan un mayor número de violaciones de los LMR, entre otros.

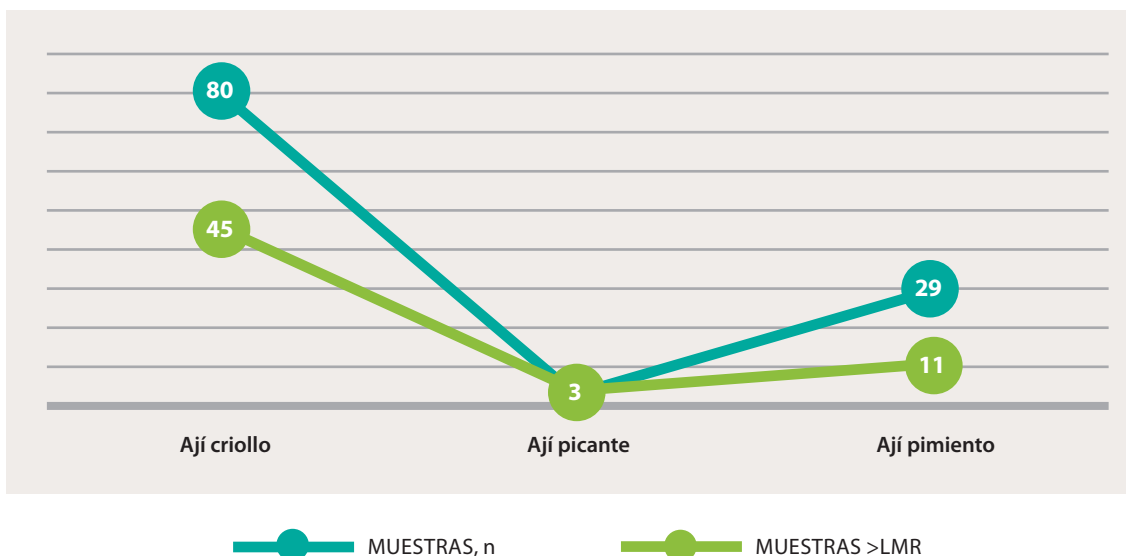
Entre los cultivos nacionales con mayores infracciones a los LMR por plaguicidas figuraban el apio y los ajíes (criollo, picante y pimentón). A la luz de estos resultados, decidimos analizar más detenidamente las capsicáceas (excluyendo las importadas), es decir, la familia botánica que incluye a los ajíes criollo, picante y pimiento

(pimentones de diversos colores y al ají Nathalie, popularmente conocido como pico de loro).

En el gráfico 3 se muestra que más del 50 % de los ajíes criollos (45 muestras) presentaban niveles por encima de las tolerancias permitidas, los tres ajíes picantes no cumplían con los LMR del Codex y, de 29 muestras de pimientos, 11 mostraban no conformidades con los LMR de plaguicidas. Las muestras de capsicáceas importadas no llegaban a superar las tolerancias permitidas.

A nuestro juicio, aunque su ingesta diaria no sea tan relevante, se debe prestar especial atención al origen de las muestras de pimientos de colores y al Nathalie, ya que una parte significativa de tales productos se cosecha bajo la práctica de agricultura protegida, a precios más altos y con denominación o sellos que sugieren una “mayor calidad”.

Gráfico 3. Muestras nacionales de capsicaceas analizadas y violaciones de LMR presentes en ellas (período 2015-2020).



En general, los residuos de plaguicidas que con mayor frecuencia se detectaban en los diferentes cultivos nacionales y sobrepasaban los LMR permitidos, en orden decreciente, eran los de fipronil, clorpirifós, clorfenapir, triazofós y carbendazina.

3.2. Programa de monitoreo mediante bioensayo rápido

La tecnología de bioensayos rápidos para la detección de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales se introduce a nuestro país a finales de 2005, gracias a la ejecución del proyecto interinstitucional cofinanciado por el MIDA, el MINSA, el IDIAP y la Alcaldía de Panamá y con la asistencia de la MITET.

La técnica de bioensayos rápidos para la detección de residuos de plaguicidas es un complemento de las técnicas convencionales, principalmente de las cromatográficas. Los

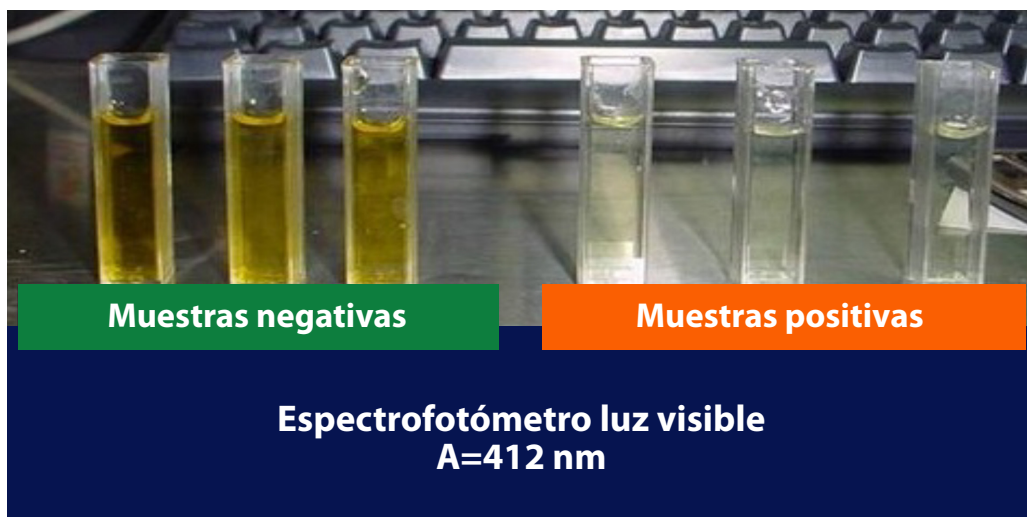
bioensayos rápidos son pruebas enzimáticas desarrolladas por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Taiwán desde 1985 (6).

La aplicación de bioensayos rápidos es muy económica, rápida y sencilla. Con esta técnica se detectan residuos de plaguicidas pertenecientes al grupo químico de los OF y carbamatos, a través de la inhibición de la AChE (prueba AChE). La identificación de la inhibición se logra por medio de la reacción colorimétrica de Ellman y los resultados se expresan en % de inhibición de la colinesterasa en muestras. La sensibilidad de la prueba es de 0.05 a 0.1 ppm (47).

Según sus resultados, en la técnica de bioensayos rápidos se dividen las muestras en tres categorías:

- Lotes aptos o de bajo riesgo (< 35 % de inhibición)
- Lotes sospechosos (35 %–44 %)
- Lotes contaminados o de alto riesgo (>45 % de inhibición)

Imagen 1. Reacción colorimétrica a la prueba de Ellman.



Las muestras clasificadas como contaminadas por OF y carbamatos, que presentan una inhibición de la enzima superior al 45 %, son enviadas al laboratorio de referencia para ser analizadas mediante el método QuEChERS y cuantificadas por GC-MS/MS y LC-MS/MS.

Los OF y carbamatos, reconocidos inhibidores de la colinesterasa, producen el 80 % de las intoxicaciones por plaguicidas en el mundo (22,28). Estas dos familias de plaguicidas siguen siendo muy utilizadas no solo como insecticidas en la agricultura

y en el ámbito doméstico, sino también en los ámbitos de la veterinaria y la medicina (44).

Los volúmenes de importación de ambos grupos químicos de insecticidas a Panamá han variado significativamente con el tiempo (cuadro 9), descendiendo de un promedio de 83.6 % a uno de 31.3 % en los últimos años (2017-2019). En este último período, el 25.4 % lo conformaron 13 ingredientes activos de los OF y el 5.9 %, representado por 9 ingredientes activos de la familia de los carbamatos.

Cuadro 9. Variaciones en las importaciones de OF y carbamatos en dos diferentes períodos.

Grupo químico	Cantidad importada de insecticidas, kg			
	2005-2008	Fracción porcentual	2017-2019	Fracción porcentual
OF	1 048 931	69	258 287	25.4
CARBAMATOS	221 617	14.6	60 357	5.9

En 2008 entraron en funcionamiento tres estaciones de bioensayo rápido, se incrementó el número de muestras recolectadas y analizadas y se detectó el mayor número de muestras

contaminadas o de alto riesgo (>45 % de inhibición), que alcanzó el 2.96 %, valor que ha ido descendiendo con el tiempo hasta 0.83 % en 2011 (véase el gráfico 4).

Gráfico 4. Volumen de muestras de vegetales analizados y su grado de contaminación con residuos de plaguicidas (bioensayo rápido del período 2007-2011).

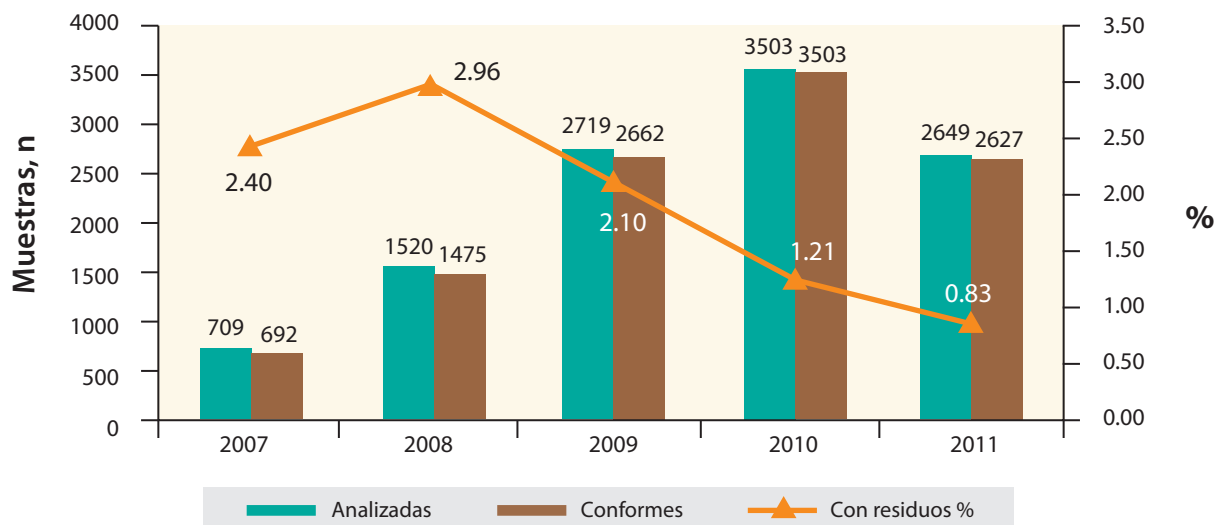
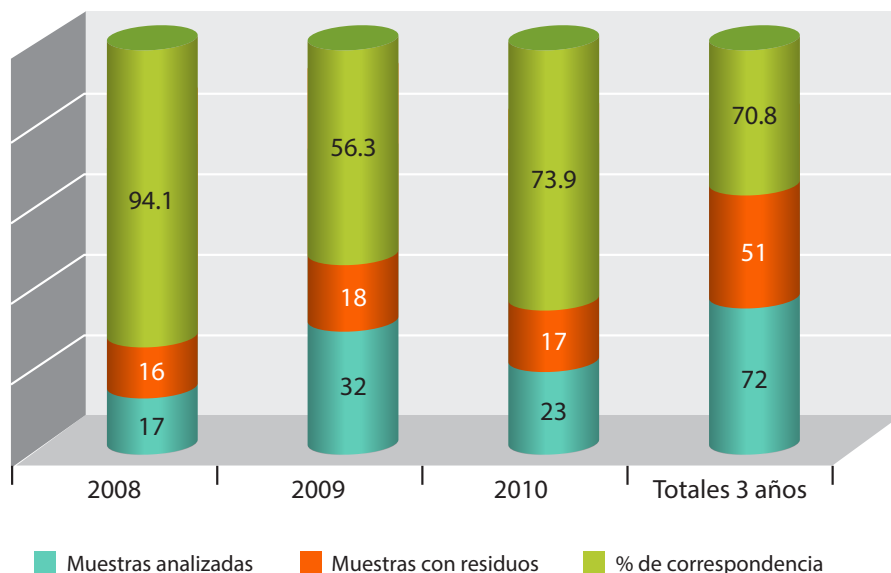


Gráfico 5. Correspondencia de resultados de muestras de vegetales contaminadas de alto riesgo analizadas a través de bioensayo rápido y por medio de técnicas cromatográficas (2008-2010).

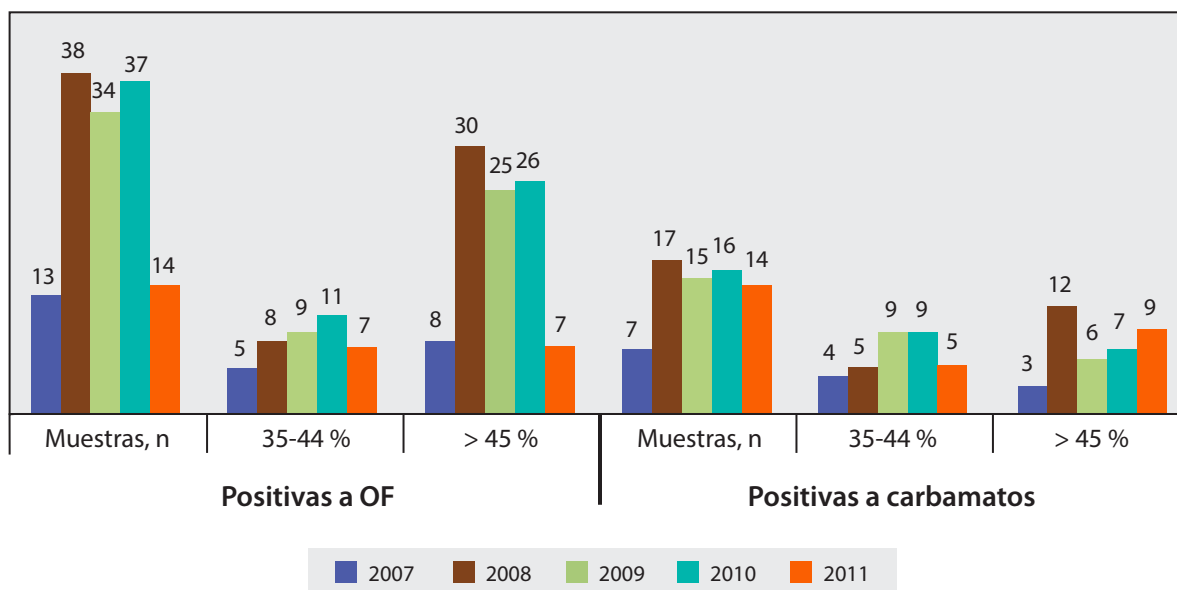


La técnica permite analizar un número significativo de muestras por año para insecticidas del grupo químico de OF y carbamatos, tamizándolas y seleccionando únicamente aquellas que resulten contaminadas (>45 % de inhibición). Estas muestras luego se envían al laboratorio para su análisis confirmatorio. El bioensayo rápido es definitivamente un complemento de las técnicas cromatográficas. Estudios comparativos realizados durante el período 2008-2010 (gráfico 5) mostraron que el porcentaje de correspondencia entre ambas técnicas alcanzaban una media ponderada de

70.8 %, considerada como buena para este tipo de pruebas.

De la información generada en la gráfica 6, se desprende que la contaminación de los alimentos es ocasionada fundamentalmente por los plaguicidas OF y, en mucho menor escala, por los carbamatos, debido a que los ingredientes activos del grupo organofosforado superan el número de los carbamatos registrados en Panamá para su uso en la agricultura (12 contra 7, hasta diciembre de 2022) en aproximadamente 27 %.

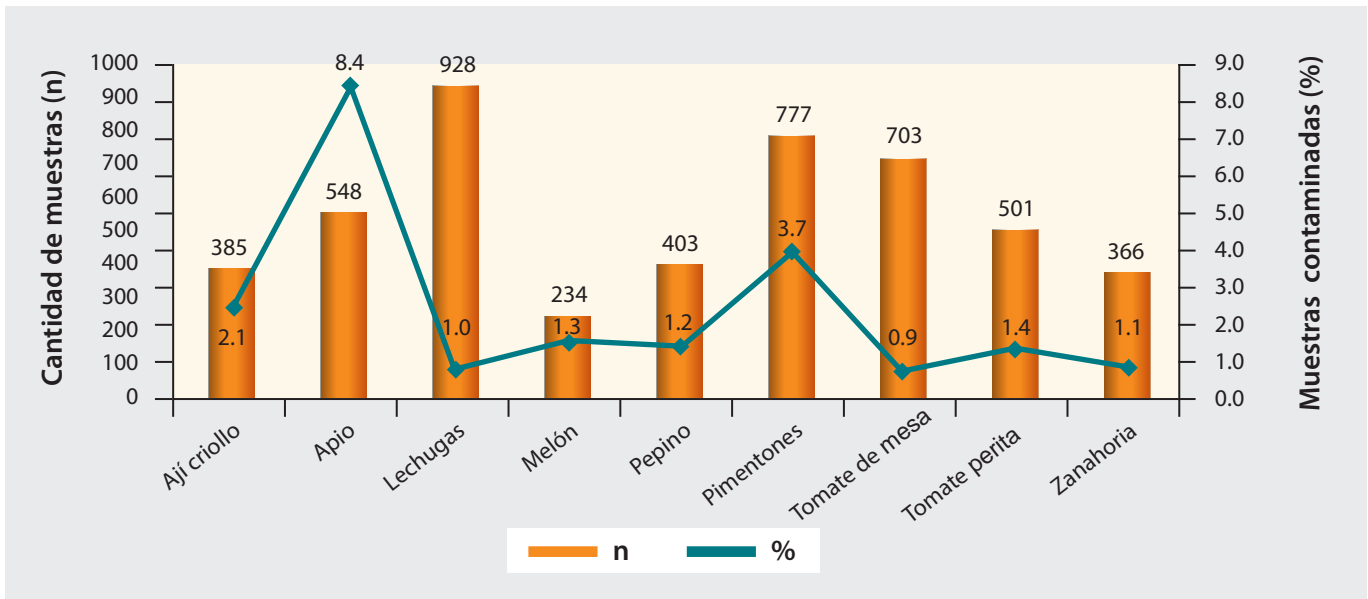
Gráfico 6. Vegetales con residuos de OF y carbamatos detectados en las estaciones del MIDA (2007-2011).



Durante el período 2008-2011 el apio fue la hortaliza con el mayor porcentaje de residuos de plaguicidas: el 8.4 %. Esto significa que por cada 100 libras de apio que la persona adquiriría en un expendio, 8.4 de ellas probablemente contenían residuos de OF o carbamatos. Según la técnica de bioensayo rápido, otros vegetales en los que se detectaron residuos fueron los

pimentones y ajíes criollos, que juntos alcanzaron el 5.8 %. Los tomates perita y de mesa presentaron el 2.3 %, el melón, el 1.3 %, y el pepino, 1.2 % (gráfico 7). Con el paso de los años se reportaron con cierta regularidad residuos en el repollo blanco, la remolacha, la papa, la papaya, el brócoli, la berenjena, la manzana y el chayote.

Gráfico 7. Vegetales con un mayor grado de contaminación por OF y carbamatos (estaciones del MIDA, 2008-2011).



Lo cierto es que ambas técnicas se han convertido en una excelente herramienta para verificar el cumplimiento de las buenas prácticas agrícolas (BPA), alertarnos sobre violaciones a la norma

nacional sobre plaguicidas y generar una mayor confianza en el sector agropecuario exportador y una mayor aceptación de los productos nacionales entre los consumidores.

Cuadro 10. Comparación entre ambas técnicas analíticas.

BIOENSAYOS RÁPIDOS	TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS
SIMPLICIDAD	COMPLEJIDAD
MUY BAJO COSTO	ALTO COSTO
RESULTADOS EN HORAS	RESULTADOS EN MÁS DE 4 DÍAS
SEMICUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS	CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS
SENSIBILIDAD 0.05-0.1 ppm	ALTA SENSIBILIDAD
DE CRIBA O TAMIZADO	RECONOCIDAS Y NORMALIZADAS
COMPLEMENTOS DE LA CROMATOGRÁFICA	ÓPTIMAS

En el plano nacional las muestras de vegetales se recogen durante el período de producción de alimentos de las parcelas cultivadas a cielo abierto o de cultivos protegidos, tanto para el consumo nacional como para la exportación. En esta actividad participan, de manera exclusiva, funcionarios de nuestra Dirección debidamente capacitados y certificados.

Actualmente, además de la determinación de la presencia de residuos de plaguicidas en muestras de vegetales, se ofrecen otros servicios analíticos como la determinación de la presencia de metales pesados y de ciertas toxinas.

3.3. Aplicación del enfoque de evaluación de riesgos en el proceso de determinación de la presencia de residuos en frutas y vegetales

El objetivo de un programa de monitoreo de residuos de plaguicidas en alimentos con un enfoque de evaluación de riesgos es orientar a las autoridades oficiales en cuanto a los peligros y los alimentos por muestrear para prevenir y reducir el riesgo de consumir alimentos que puedan enfermar al consumidor, así como maximizar los recursos disponibles en Panamá para el monitoreo de dichos contaminantes, a fin de visibilizar aquellos que suponen un mayor riesgo para el consumidor. Este criterio es aplicable no solo a los alimentos producidos en el país, sino también a los importados.

A partir de información proveniente de laboratorios sobre distintos cultivos y de la relativa al uso del plaguicida es posible modelar escenarios para predecir los efectos agudos y crónicos que tendrá el químico en los humanos. Una persona se pone en riesgo cuando está expuesta a un peligro.

Los procedimientos de evaluación de riesgo de ciertos plaguicidas se basan en criterios de no efecto, según los cuales la utilización de estas sustancias debe ser regulada para evitar efectos adversos en la salud pública.

La gestión de cualquier incidente presente o futuro causado por plaguicidas se debe analizar como parte de un proceso de evaluación de riesgo que permita y facilite, a través de la exposición de los receptores y de los efectos adversos que en ellos se producen, la adopción de medidas preventivas para que una situación similar no vuelva a ocurrir o para que se tomen decisiones que limiten/restringan los usos del plaguicida o se establezca su prohibición.

3.4. Establecimiento de LMR de Plaguicidas, proyecto del USDA, el IICA, el IDIAP y el MIDA

Para establecer un LMR de plaguicidas se requiere determinar la magnitud de los residuos del plaguicida dentro o sobre el producto de consumo. Para llevar a cabo este estudio se colectaron y analizaron muestras con y sin tratamiento, provenientes de campos idóneos, de acuerdo con los parámetros de aplicación ampliamente recomendados, con el fin de proporcionar a la Reunión Conjunta FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas datos sobre la química de los residuos y el nivel de tolerancia al plaguicida o un LMR basado en el Codex, Protocolo 11398.14.

En Panamá la determinación de la magnitud de residuos totales del plaguicida piriproxifén dentro o encima de la piña se realizó según el protocolo o procedimiento incluido en las normas de buenas prácticas de laboratorio de la

EPA (15) y de conformidad con las disposiciones descritas en las directrices sobre principios de buenas prácticas de laboratorio (BPL) y monitoreo de cumplimiento de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (39).

Los ensayos de campo efectuados de conformidad con las BPL fueron supervisados por el IDIAP. La muestra compuesta estaba conformada por 12 frutas. La formulación del plaguicida piriproxifén utilizada en el campo fue EPINGLE 10 EC (piriproxifén 10 %, emulsión concentrada), certificada de acuerdo con las BPL por la empresa Sumitomo de Japón. El estudio se efectuó durante el período 2013-2016.

Según el protocolo 11398.14, se analizaron por separado: 1) la fruta entera, 2) la pulpa y la cáscara, 3) la fruta entera, la pulpa y la cáscara, 4) la fruta entera, 5) la pulpa y la cáscara y 6) la fruta entera, realizándose en esta última un estudio de la disminución de los residuos del plaguicida en el tiempo.

Al laboratorio le correspondió analizar la cáscara, la pulpa y la fruta entera sin corona. Antes de dicho análisis se validó la metodología en cada una de estas fracciones, se homogenizaron las muestras con hielo seco, se prepararon soluciones primarias, secundarias y para la fortificación (niveles bajo, medio y alto) y se elaboró una curva de calibración de 6 puntos con un estándar analítico certificado de BPL de la molécula de piriproxifén. Se almacenaron las muestras a -20 °C.

En septiembre de 2019 se introdujo en el Codex Alimentarius el primer LMR de piriproxifén en la piña: 0.01 mg/kg, con los datos generados en el ensayo de campo (IDIAP) y en el laboratorio LRT-MIDA-DSNV, con el seguimiento y apoyo

del proyecto de cultivos menores de la Oficina de Servicios Agrícolas en el Exterior (FAS) del USDA y el Fondo para la Aplicación de Normas y el Fomento del Comercio (STDF).

Desde 2021 en Panamá se iniciaron otros ensayos para el establecimiento en el plano regional de un LMR de spinetoram en la piña y el banano, los cuales en la actualidad se encuentran en ejecución por parte del IDIAP y el MIDA, con el seguimiento de la Minor Use Foundation y el apoyo del IICA.

3.5. Determinación de la presencia de metales pesados en el arroz

El arroz es el cultivo de mayor importancia en la dieta del panameño. La mayor parte de este grano se cultiva en el territorio nacional, ocupando la máxima superficie y manteniendo el mayor número de productores dedicados a esta actividad; sin embargo, todavía se recurre a las importaciones de arroz para satisfacer la demanda local.

En los últimos años la cantidad de arroz procedente de otros países ha disminuido de manera significativa, con Guyana como su principal exportador a Panamá.

Durante 2018 y 2019 el laboratorio inició, por solicitud de la AUPSA, hoy la APA, el análisis de ciertos metales pesados en el arroz: plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd). Se analizaron 69 muestras en el primer año y 7, en el segundo. Los límites máximos permisibles de dichos metales pesados en el arroz se aprecian en el cuadro 11.

Cuadro 11. Nivel máximo permisible de residuos de metales pesados en el arroz, de conformidad con el Codex Alimentarius

DETALLE	PLOMO	CADMIO	ARSÉNICO
Arroz en cáscara	0.2	0.4	0.35
Arroz pulido	0.2	0.4	0.2

Fuente: Codex Alimentarius (10).

Durante los dos años de análisis 3 muestras de arroz importadas sobrepasaban el nivel máximo de arsénico según el Codex. Los residuos de

plomo y cadmio se mantuvieron por debajo del nivel máximo admisible.

4. Análisis de la calidad de los plaguicidas y fertilizantes

4.1. Calidad de los plaguicidas

En 2004 el Laboratorio de Control de Calidad de Formulaciones Plaguicidas ha estado en operación y reporta anualmente información al CIPAC (9).

La calidad de las formulaciones de plaguicidas comercializados en el país está definida por la integridad o estabilidad de sus propiedades físicas y químicas. Una formulación con calidad defectuosa puede inducir a una mayor contaminación del suelo, el agua, el aire y los alimentos.

Por otra parte, cabe destacar que en las condiciones tropicales reinantes de Panamá se dan situaciones que aceleran la degradación química de las formulaciones que contienen plaguicidas, como altas temperaturas, una elevada humedad y una exposición directa a la luz solar en los sitios de almacenamiento de dichos insumos.

Convenientemente hemos dividido los años de servicio de este laboratorio en dos períodos: 2004-2014 y 2015-2021 y evaluaremos la calidad de las formulaciones desde la perspectiva química, puesto que son pocas las no conformidades detectadas en el ámbito de sus propiedades físicas.

4.1.1. Calidad química de los plaguicidas durante el período inicial (2004-2014)

Durante los primeros 11 años se analizaron 1460 muestras (cuadro 13), de las cuales el 5 % no cumplía con los criterios de calidad establecidos en el Resuelto n.º ALP-09-ADM-04 (31), mediante el cual se adoptó el *Manual de procedimiento n.º DNSV-DA-003-03 para la colecta, envasado, manejo y transporte de muestras a utilizarse en el control de la calidad de formulaciones químicas de plaguicidas y límites para la aceptación de lotes* y el *Manual sobre la elaboración y uso de las especificaciones de plaguicidas de la FAO y la OMS* (21).

Según la cantidad de muestras analizadas, 2008 y 2012 fueron los años en los que se reportaron menores incumplimientos en materia de estabilidad química de las formulaciones, a saber: 0 % y 1.8 %, respectivamente.

En este período se identificó un número variable de ingredientes activos presentes en las muestras recolectadas, determinándose en 2013 una cifra de 77 diferentes ingredientes activos, en su mayoría de la clase insecticida.

Cuadro 12. Determinación de la estabilidad química de las formulaciones (2004-2014).

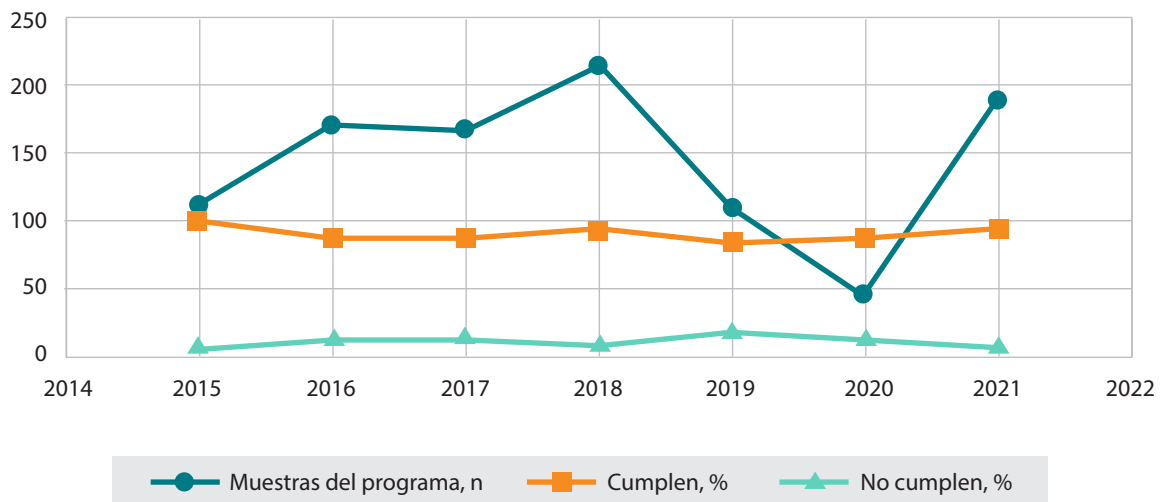
AÑO REPORTA	Estabilidad química y física			
	Muestras analizadas	Conformes	No conformes	No cumplen, %
2004	48	46	2	4.2
2005	23	23	0	0
2006	33	29	4	12.1
2007	107	102	5	4.7
2008	127	127	0	0
2009	164	150	14	8.5
2010	144	131	13	9.0
2011	180	174	6	3.3
2012	171	168	3	1.8
2013	232	219	13	5.6
2014	231	218	13	5.6

4.1.2. Calidad química de los plaguicidas durante el período 2015-2021

De acuerdo con la información recopilada por el Laboratorio de Control de Calidad de Plaguicidas y Fertilizantes, en este período de un total de 1002 muestras de los plaguicidas

más utilizados en la agricultura nacional (Plan de Muestreo Anual de Control de Calidad de Plaguicidas) el 8.3 % no cumplía con las especificaciones de plaguicidas de FAO (gráfico 8), es decir, estaba muy por encima de los valores promedios obtenidos durante el período inicial 2004-2014.

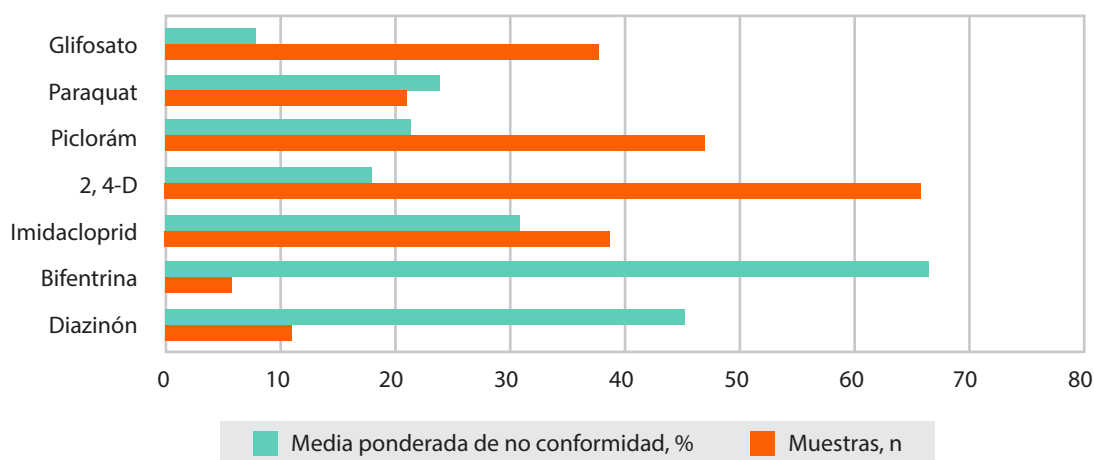
Gráfico 8. Determinación de la calidad de las formulaciones plaguicidas durante el período 2015-2021.



En 2019 se detectó el mayor porcentaje de no conformidades: 14.5 %. Curiosamente, en 2018 y 2021 se observaron las tasas más bajas de incumplimiento: 6.6 % y 5.8 % y los mayores números de muestras del programa analizadas: 213 y 189, respectivamente.

En ese mismo período las formulaciones de plaguicidas que presentaban mayores problemas en términos de su calidad química correspondían a aquellas que contenían bifentrina, diazinón e imidacloprid, en las cuales el promedio ponderado de incumplimientos era de 66.7 %, 45.4 % y 30.9 %, respectivamente (véase el gráfico 9).

Gráfico 9. Ingredientes activos presentes en diversas formulaciones cuya calidad química se ha visto comprometida (2015-2021).



El insecticida bifentrina pertenece al grupo químico de los piretroides. Su pobre estabilidad química se debe probablemente a inadecuadas condiciones de almacenamiento como superficies expuestas a la luz del sol, altas temperaturas y una elevada humedad ambiental, citadas por Palomino *et al.* 2008 (41).

Sobre la base de estos resultados podemos conjeturar que la calidad química de las formulaciones que contienen plaguicidas ha disminuido apreciablemente en los últimos 7 años, debido a lo cual se debe reforzar la supervisión de los expendios y evaluar las condiciones de almacenamiento.

La mayor cantidad de muestras analizadas corresponden a herbicidas, entre los cuales sobresalen el glifosato, el 2,4-D, el picloram y el paraquat, cuyas formulaciones mantenían una mejor estabilidad química.

En las muestras analizadas el número de ingredientes activos reportados por año fue variable. En 2018 alcanzó su máxima magnitud cuando se determinaron 86 diferentes compuestos.

4.2. Calidad de los fertilizantes

En este grupo destacamos a los macro y microelementos, indispensables para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Según la cantidad demandada por los diferentes cultivos, se acostumbra dividir los macroelementos en primarios y secundarios.

Al primer grupo pertenecen el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), los dos últimos expresados en su forma oxidada: P_2O_5 y K_2O . El calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) pertenecen al segundo grupo; dos de sus formas se expresan como CaO y MgO. El boro (B), el cobalto (Co), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el molibdeno (Mo) y el zinc (Zn) conforman el grupo de los microelementos.

4.2.1. Determinación de los macroelementos en los fertilizantes

De acuerdo con sus requerimientos nutricionales, la fertilidad de los suelos y las previsiones de la cosecha, los cultivos sembrados en nuestro país demandan suplementos adicionales externos. Los fertilizantes o abonos importados, principalmente de origen mineral, resuelven los problemas de déficit nutricional que se observan en las plantas en una o varias de sus fases fenológicas.

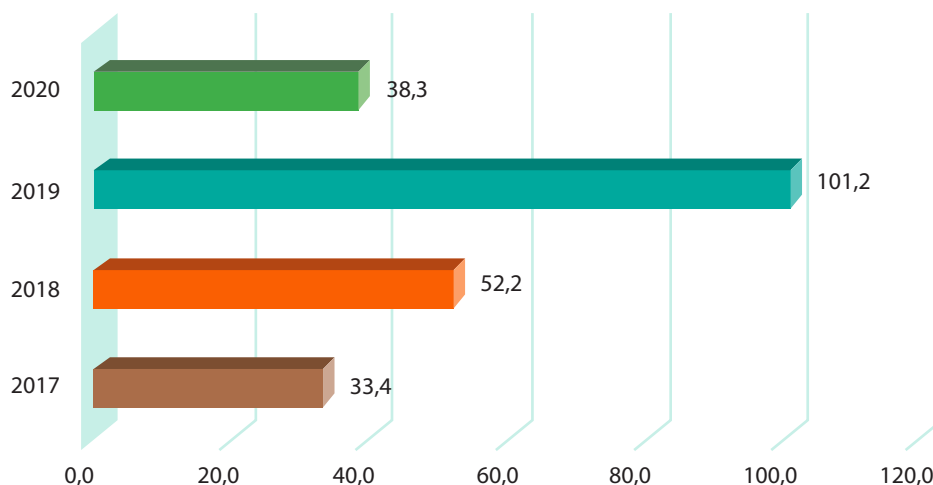
Los fertilizantes minerales se importan en forma de **mezclas físicas y formulaciones químicas**

completas, que suelen contener solo macroelementos o una suma de macro y microelementos; no obstante, según los requerimientos nutricionales del cultivo, los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos se comercializan también de manera individual.

Para tener una idea de la cantidad de fertilizantes que nuestra campaña consume, veamos los datos estadísticos que nos ofrece el Departamento de Agroquímicos de la DNSV para el período 2017-2020 (Gráfico 10). Dicha información revela que, durante esos años, Panamá importó un promedio de 56 300 000 kg de fertilizantes, sobre todo granulados y en forma de mezclas físicas y formulaciones químicas completas.

Si traducimos ese volumen de importaciones promedio en el consumo por hectárea de suelos arables, con pocas o muchas limitaciones para los cultivos (2), obtendríamos un valor cercano a 40 kg/ha de producto comercial, lo cual representa una cantidad muy pequeña para cubrir las demandas de cualquiera de los cultivos sembrados en el territorio nacional.

Gráfico 10. Volumen total de fertilizantes importados durante el período 2017-2020, en millones de kilogramos.



En los últimos años se ha estado trabajando en la determinación de la calidad de los fertilizantes. Los resultados que hoy presentamos son el producto de la labor de los analistas, realizada entre 2019 y 2021 (se ha obviado la información de 2020 por el bajo volumen de muestras analizadas), años durante los cuales se analizó un total de 228 muestras (70 y 158, respectivamente).

Por su indiscutible importancia, decidimos centrar nuestra atención en los macroelementos primarios, para lo cual nos formulamos la pregunta: ¿cuál es la calidad de los fertilizantes que se comercializan en Panamá? De acuerdo con el gráfico 11, las mayores no conformidades se observan en el contenido de nitrógeno. De un total de 107 muestras

analizadas, 31 no cumplían con lo declarado en su etiqueta, o sea, el 29%, en las cuales los principales problemas recaían de manera abrumadora en las formulaciones que contenían N en las mezclas físicas. En consecuencia, las formas simples de urea, sulfato de amonio y el nitrato de amonio fueron químicamente muy estables.

Las mezclas físicas contienen sales nítricas o amoniacales, de potasio y de fósforo, entre otras, se preparan a granel y sus componentes varían en términos de su granulometría, peso y color. En las mezclas físicas sólidas se reportaron con frecuencia violaciones en el contenido de N en el rango de concentración porcentual, que va de 11% a 20% en 2019 y 2021 (véase el gráfico 12).

Gráfico 11. Análisis de la calidad de los fertilizantes nitrogenados sólidos.

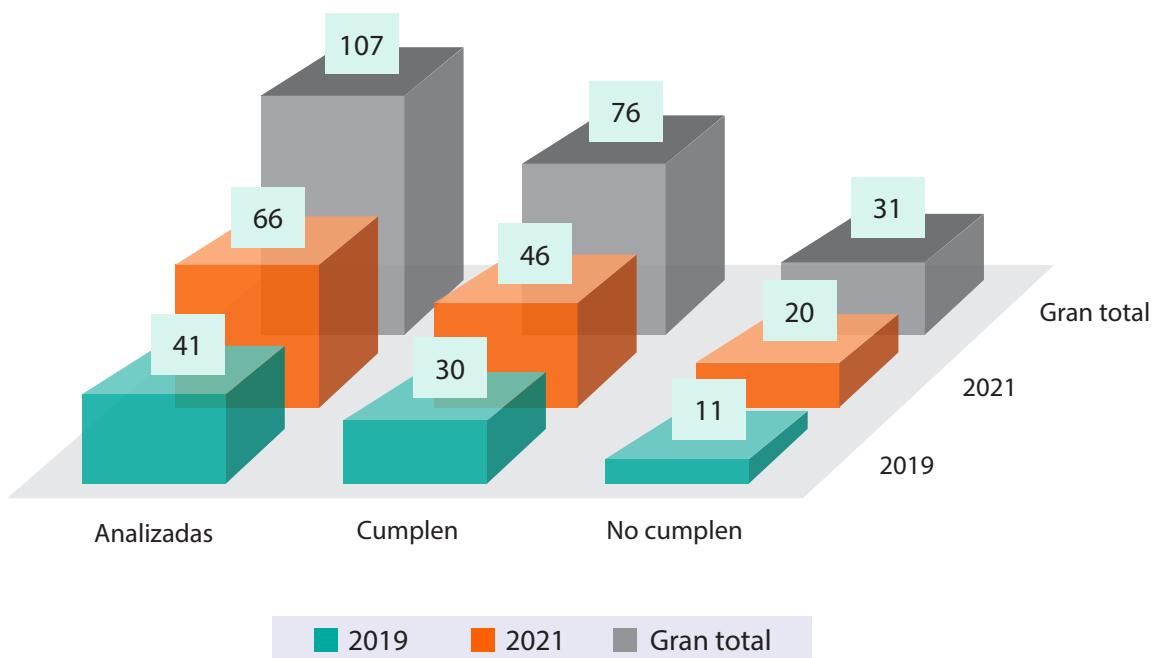
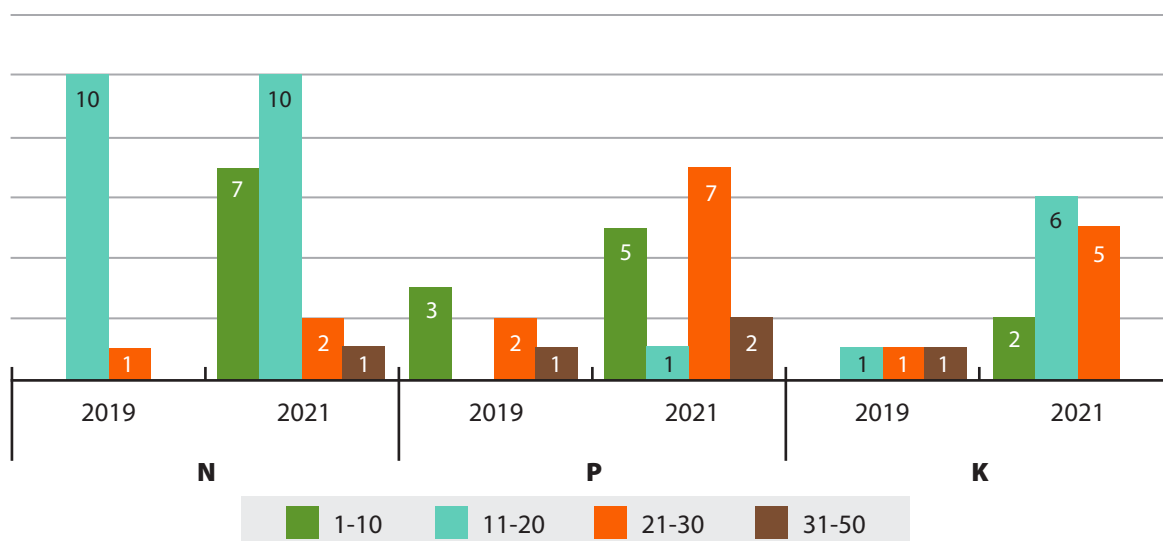


Gráfico 12. Número de no conformidades detectadas según el contenido porcentual declarado de N, P y K (2019-2021).



Además del relativo al nitrógeno, los problemas de no cumplimiento respecto a su calidad química se derivaron de las fuentes que contenían fósforo, que se acrecentaron en 2021 y en el grupo de fertilizantes con concentraciones de 21 % a 30 %.

4.2.2. Determinación de la presencia de microelementos en los fertilizantes

Por otra parte, muestras de fertilizantes sólidos analizadas en 2021 que contenían específicamente boro (B), manganeso (Mn) y zinc (Zn) arrojaron resultados poco confiables. Lo más sobresaliente por destacar es que, de 5 muestras para boro, dos no cumplían con lo declarado en la etiqueta, y de 8 muestras analizadas para zinc, 5 no alcanzaban los estándares de calidad. En contraste, los resultados de 2019 fueron satisfactorios.

En ocasiones los microelementos se utilizan sin las precauciones necesarias y llegan al suelo en

concentraciones excesivas, hasta el punto de producir fitotoxicidad en ciertos cultivos.

Altas concentraciones de cobre (Cu^{+2}) en el suelo, reportadas en 1999 por el IDIAP debido al uso indiscriminado de caldo bordelés en el control de ciertas enfermedades fungosas en el banano de exportación, impidieron o inhibieron el crecimiento y desarrollo de las plantas de arroz y su rendimiento y redujeron la calidad del grano en la medida que aumentaba la concentración de Cu en el suelo, con niveles críticos sobre los 500 mg/kg (27).

4.2.3. Determinación de la presencia de metales pesados en los fertilizantes

Los fertilizantes minerales sólidos son, a mediano y largo plazos, fuentes potenciales de contaminación de los suelos con metales pesados. Entre los metales pesados encontrados por nuestros laboratorios en dichos materiales están el cadmio (Cd), el cromo VI (Cr), el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el arsénico (As).

Cuadro 13. Determinación de la presencia de metales pesados en los fertilizantes.

Metales	Muestras analizadas		No cumplen	
	2019	2021	2019	2021
Cadmio	17	35	0	0
Cromo	17	35	0	0
Mercurio	0	0	0	0
Plomo	17	35	1	1
Arsénico	17	35	0	0

En ambos períodos de análisis el contenido de plomo en una de las muestras se mantuvo por

encima de las tolerancias permitidas para la venta de dichos insumos en Panamá.



5. Servicios de análisis en otras matrices orientados hacia el apoyo interinstitucional

Reconociendo las debilidades de otras instituciones nacionales y animados por el interés de resolver otros problemas derivados de los principales contaminantes químicos resultantes de la actividad agropecuaria, la DNSV, con el respaldo del OIEA, inició el desarrollo de capacidades en la detección de dichos contaminantes en el agua, los sedimentos, el suelo y las abejas melíferas.

Estas actividades de análisis químico con otras matrices han contado con el beneplácito y la colaboración del MINSA, el Ministerio de Ambiente, el IDIAP, el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud y la DINASA.

5.1. Estudio de contaminantes químicos en ríos y cuencas importantes de nuestro país

Panamá posee una rica hidrografía, conformada por cuencas importantes, cuyos recursos son muy demandados por las explotaciones agropecuarias durante los períodos secos del año y para el consumo humano. El agua es fundamental

para todos los organismos vivos, por lo que mantenerla libre de agentes contaminantes debe ser una responsabilidad compartida.

En ciertas condiciones, los plaguicidas pueden afectar la flora y fauna del entorno y causar intoxicaciones agudas y crónicas en los humanos. De igual manera, pueden emigrar hacia las aguas subterráneas y superficiales y contaminarlas. Tal situación tiende a agravarse por el incumplimiento de las buenas prácticas agrícolas, pecuarias y de manufactura.

5.1.1. Grado de contaminación de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, período 2015-2017

Con el propósito de determinar la contaminación química del agua de cuencas hidrográficas importantes del país, con el apoyo financiero y técnico del OIEA y del Laboratorio de Residuos de Plaguicidas de la DNSV, en 2012 se tomó la decisión de analizar la matriz agua, contando para ello con personal previamente capacitado y los equipos requeridos.

A través del Proyecto ARCAL RLA 7019 “Desarrollo de indicadores para determinar el efecto de plaguicidas, metales pesados y contaminantes emergentes en ecosistemas acuáticos importantes para la agricultura y agroindustria”, se determinó el posible impacto que podía generar el uso de los plaguicidas y metales pesados en la cuenca alta del río Chiriquí Viejo. Para la evaluación del estado de los ecosistemas se utilizaron diversas herramientas, entre ellas, el análisis del agua, el sedimento y los macroinvertebrados.

Durante el período 2014-2017 este proyecto se ejecutó con el apoyo del ARCAL y con la participación de Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guatemala, México, Nicaragua, Paraguay y Uruguay.

En esta sección analizaremos particularmente la presencia, frecuencia y predominancia de ciertos plaguicidas en dicha cuenca. Cabe destacar que, durante 2015, se trabajó con 13 estaciones y 4 muestreos anuales, para obtener un total de 52 muestras. Un año después se programaron 10

muestreos, que se realizaron desde las mismas 13 estaciones, para un total de 130 muestras. Finalmente, hasta junio de 2017, con una frecuencia mensual y desde las 13 localidades antes mencionadas, se recogieron 78 muestras, con un gran total de 260 muestras de agua de la cuenca.

Los análisis de laboratorio mostraron la presencia de 43 plaguicidas y metabolitos, cuya cantidad variaba por año, reportándose la mayor cantidad en 2016, debido a un número mucho mayor de muestras recolectadas y a la periodicidad más corta de la colecta (véase el cuadro 14).

Dos de los plaguicidas encontrados están prohibidos en Panamá para su uso en actividades agropecuarias: el carbofurán, desde 2010 (32), y el monocrotofós, desde 2011 (34). Probablemente su determinación se haya dado por el contrabando entre naciones; sin embargo, tres de los plaguicidas reportados para esa fecha, a saber: el iprobenfós, el pirazofós y el pirimifós metil, ya no cuentan con registro comercial, es decir, ya no se venden en el territorio nacional.

Cuadro 14. Frecuencia de plaguicidas y metabolitos detectados mediante cromatografía acoplada a espectrometría de masas durante el período 2015-2017.

N.º	Plaguicidas detectados	Frecuencia en su detección				N.º	Plaguicidas detectados	Frecuencia en su detección			
		2015	2016	2017	Total			2015	2016	2017	Total
1	Aldrín	0	3	0	3	23	Hexaconazol	0	0	2	2
2	Anilofós	0	1	0	1	24	Imazalil	0	5	0	5
3	Azoxistrobina	0	1	0	1	25	Imidacloprid	0	6	0	6
4	Bifentrina	1	24	3	28	26	Iprobenfós	3	11	1	15
5	Cadusafós	0	13	0	13	27	Lambda cihalotrina	0	14	0	14
6	Carbendazina	0	1	24	25	28	Malatión	0	2	0	2
7	Carbofurán	0	6	0	6	29	Metalaxil	0	3	0	3
8	Cipermetrina	0	6	0	6	30	Metribuzín	0	1	6	7
9	Clorpirifós	19	48	6	73	31	Mirex	8	27	2	37
10	DDD-p.p'	1	17	1	19	32	Monocrotofós	0	2	0	2

11	DDE-p,p'	12	28	2	42	33	Oxamil	0	4	0	4
12	Diazinón	24	40	1	65	34	Pirazofós	0	4	0	4
13	Dimetoato	0	1	0	1	35	Pirimetanil	1	0	0	1
14	Endosulfán beta	0	10	0	10	36	Pirimifós-metil	0	0	1	1
15	Endosulfán sulfato	1	5	1	7	37	Profenofós	0	1	0	1
16	Etoprofós	2	14	0	16	38	Propamocarb	0	0	17	17
17	Fenamifós	0	2	1	3	39	Propiconazol	0	15	1	16
18	Fipronil	1	0	0	1	40	Tebuconazol	0	1	6	7
19	HCH alfa	2	0	0	2	41	Tolclofós metil	0	5	0	5
20	HCH beta	0	5	0	5	42	Triadimefón	0	0	4	4
21	HCH gamma	0	9	0	9	43	Triazofós	0	2	0	2
22	Hexacloro-benceno	3	8	0	11	Total/año		13	36	17	

En esta lista observamos plaguicidas organoclorados, reconocidos por su alta persistencia en el ambiente y un potencial preocupante de bioacumulación. Nos referimos al DDT y a sus metabolitos DDD y DDE, al mirex, el hexaclorobenceno y el HCH y sus isómeros alfa, beta y gamma. Desde 1997 estos plaguicidas están prohibidos para su uso en la agricultura nacional (30).

De los 43 ingredientes activos reportados nos enfocaremos en los plaguicidas que generan un mayor grado de contaminación en la cuenca alta, bajo estudio. Sobresalen los plaguicidas pertenecientes a la clase insecticida. De los 10 ingredientes activos que frecuentemente se

detectaron, 7 son insecticidas y los otros 3, fungicidas. No hay reportes sobre la presencia de herbicidas, a pesar de ser la clase que mayormente ingresa en el país.

Aunque se dan variaciones en la frecuencia de colecta de las muestras por año, los residuos de los formulados que contienen clorpirifós y diazinón son predominantes. De un total de 260 muestras recolectadas durante el período de estudio, en 73 y 65 de ellas se encontraron residuos de los OF antes mencionados, respectivamente; no obstante, las cantidades encontradas de ambos plaguicidas no superaban los valores guías o los límites de tolerancia proporcionados por la EPA y la OMS (cuadro 15, anexo 4).

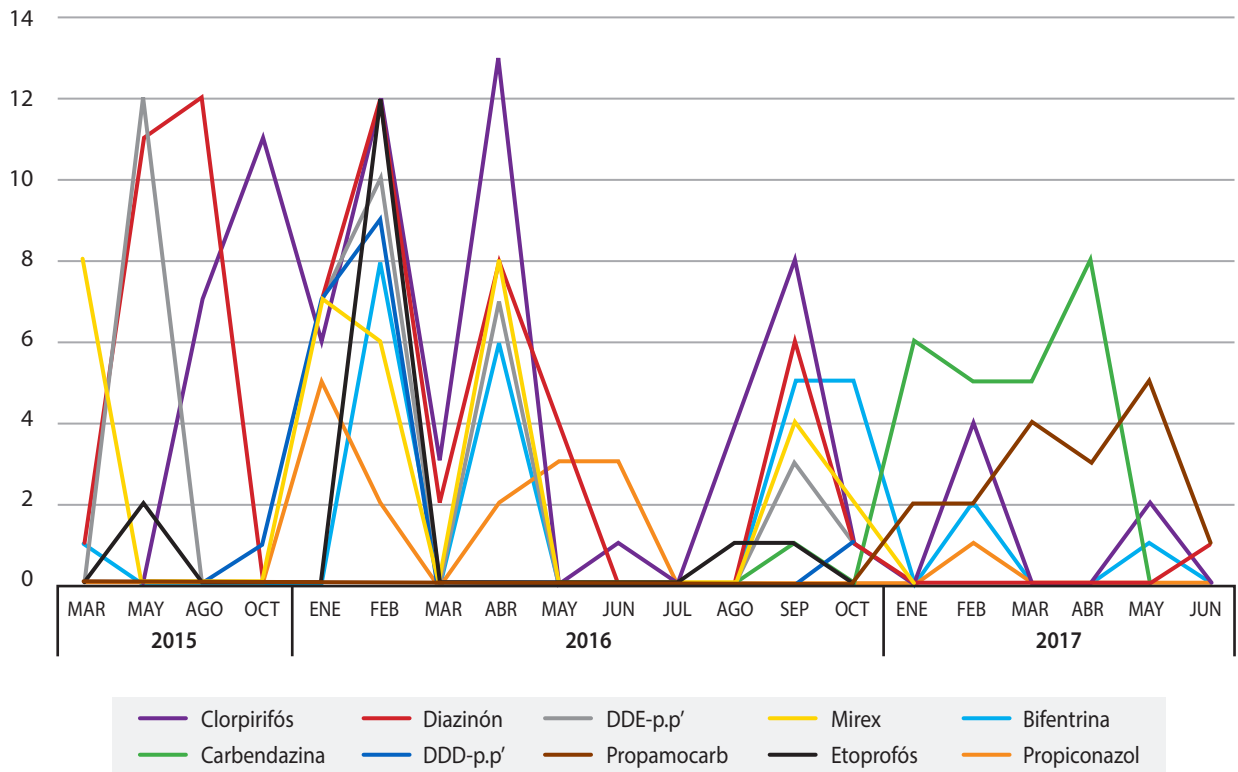
Cuadro 15. Frecuencia y concentración de ciertos plaguicidas en la cuenca (2015-2017).

PLAGUICIDA	Frecuencia de detección	Concentración, µg/l	
		Mínimo	Máximo
Clorpirifós	73	0.14	15.24
Diazinón	65	0.13	1.57
DDE-p.p'	42	0.14	0.39
Mirex	37	0.31	0.33
Bifentrina	28	0.15	0.35
Carbendazina	25	0.14	1.11
DDD-p.p'	19	Trazas	Trazas
Propamocarb	17	0.28	0.71
Etoprofós	16	0.19	4
Propiconazol	16	0.17	0.25

Como lo indicamos anteriormente, en los 3 años de estudio la frecuencia o periodicidad en la toma de muestras y los meses del año para la colecta variaron considerablemente; sin embargo, en el gráfico 13 se aprecian ciertas tendencias dignas de comentar, p. ej., febrero y abril son los meses en los que se halla en el agua el mayor número de residuos de diferentes plaguicidas.

En contraste, una menor contaminación de la fuente hídrica se advierte en los meses de junio y julio, lo que probablemente no se observaría en ningún otro lugar de nuestro país. En esta zona los programas de aplicación de plaguicidas se elaboran a partir de diversas variables: la biología y la rotación de los cultivos, la agresividad de las plagas y la presencia de sistemas de riego.

Gráfico 13. Principales plaguicidas detectados en las aguas de 13 diferentes localidades de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo en algunas épocas del año (2015-2017).



Durante la ejecución del Proyecto ARCAL RLA 7019 las muestras de agua recolectadas en las localidades de Barrio Guadalupe y Entre Ríos presentaron el mayor deterioro ambiental por contaminantes químicos, determinándose en ellas la presencia de un número significativo de residuos de plaguicidas (incluyéndose en la suma los plaguicidas encontrados con mayor frecuencia), 63 y 51, respectivamente, equivalente al 22.7 % del total de los hallazgos reportados. Otras localidades donde los análisis revelaron una preocupante presencia de residuos de plaguicidas son: la entrada a Cerro Punta, Garita Final, Garita Afuera y Nueva Suiza, salida de la cuenca.

Una aplicación que ayudó a corroborar la predominancia de estas moléculas (clorpirifós y diazinón) encontradas en la cuenca alta del Río Chiriquí Viejo fue la **Herramienta de**

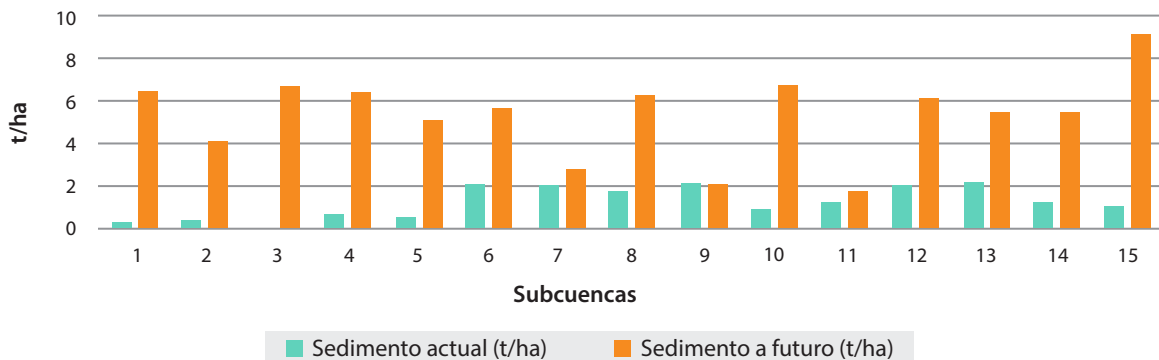
Evaluación del Suelo y el Agua (SWAT). Se trata de un modelo de simulación aplicado en cuencas sobre las cuales se dispone de escasa información, a fin de apoyar iniciativas con objetivos claros en torno a su grado de contaminación (1), sobre todo si tomamos en cuenta el costo considerable de estos tipos de análisis laboratoriales de residuos.

A través del SWAT se determinó el balance hídrico, las cargas de contaminantes para las principales actividades agrícolas y el impacto del cambio climático en el arrastre de sedimentos con partículas de plaguicidas hacia la cuenca alta del río Chiriquí Viejo. Se configuró el modelo con datos cartográficos como los relativos a tipos de suelo (incorporando los resultados del análisis de laboratorio en cada horizonte), usos del suelo y vegetación actualizados con información de

2010 y 2016, así como con datos climáticos obtenidos de la base de datos de la Empresa de Transmisión Eléctrica S. A. (18). Se estructuró el año agrícola de los cultivos para determinar el consumo de fertilizantes y plaguicidas en toda la cuenca. Además, se aplicaron encuestas a los productores agrícolas. La simulación con el modelo SWAT se realizó durante el período 2004-2015.

Dos factores, tal vez los que más afectan a la comunidad de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, son el incremento de las zonas productivas que no aplican prácticas conservacionistas y la eliminación de la totalidad de la cobertura boscosa. Con este escenario la erosión puede incrementarse de 17 t/ha a 80 t/ha (46) anuales durante un mismo período, lo que supone el arrastre de sedimentos hacia la cuenca (gráfico 14).

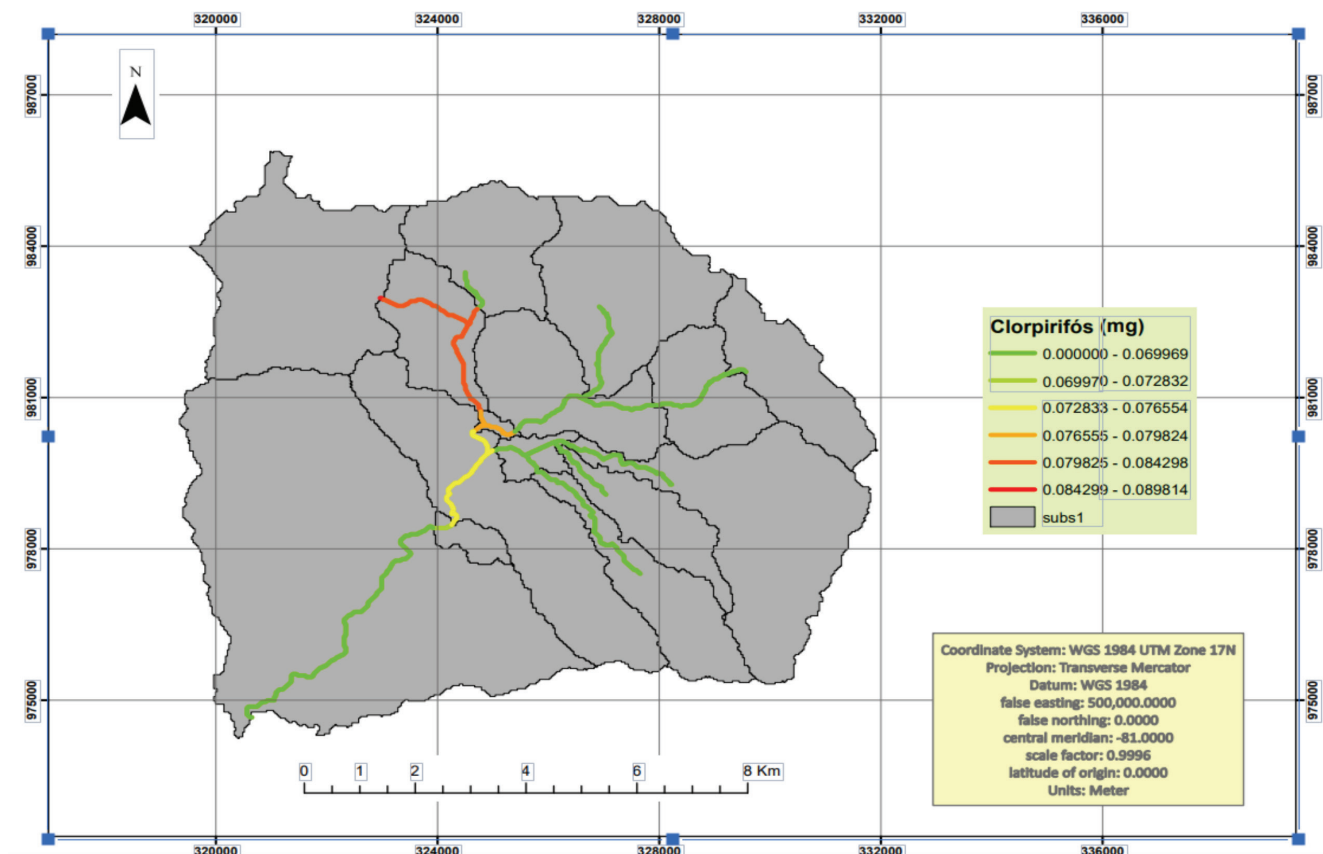
Gráfico 14. Sedimentación de la cuenca por el avance de la frontera agrícola.



En relación con los plaguicidas, p. ej., se han obtenido datos sobre el clorpirifós. Las comunidades que presentan residuos por encima de 0.73 µg (en rojo, naranja y amarillo, gráfico 15) son: Las Nubes, Los Gonzales, Los Mirandas, Garita Arriba y Garita

Abajo, que a la salida de la cuenca en Nueva Suiza presentan una disolución de entre 0.069 y 0.072 µg (verde caña). Es importante destacar que tales concentraciones están por debajo de los valores guía proporcionados por la OMS y la EPA.

Gráfico 15. Variaciones en la concentración de clorpirifós en afluentes de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo.



Consideramos que esta información se debe compartir con los productores del área para establecer un plan más riguroso de implementación de BPA.

5.1.2. Presencia de plaguicidas en importantes ríos y cuencas derivada de las actividades agropecuarias, período 2015-2018

La determinación de la presencia de atrazina (herbicida) en una muestra de agua recolectada en la planta potabilizadora sobre el río La Villa

(junio de 2014) sacó a la luz los problemas de contaminación del agua de consumo humano por plaguicidas e impulsó la ejecución de una segunda etapa del estudio de otros ríos y cuencas hidrográficas importantes del país. En el marco del Proyecto “Implementación del Resuelto 042 y de las BPA-Plaguicidas”, en estrecha coordinación con nuestros laboratorios, se planificó una recolecta trimestral de muestras, que empezó a finales de 2015 y finalizó en 2018.

En el siguiente cuadro se presenta el número de muestras tomadas durante este período.

Cuadro 16. Número de muestras recolectadas trimestralmente en diferentes ríos y cuencas.

Ríos y Cuencas hidrográficas	Muestras recolectadas por cuenca												TOTAL
	2015			2016			2017				2018		
	I	I	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Río La Villa	7	8	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	114
Río Santa María	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	81
Río Chico	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	57
Río Chagres					6	6	6	6		6	7	7	44
Río Chiriquí Viejo							7	7	7	7	7	7	42
Río Pacora									3	3	1	3	10

Durante todo este período se tomaron muestras de ríos y cuencas que estaban muy expuestos de manera indirecta a una carga significativa de agroquímicos. Desafortunadamente, la contaminación de los acuíferos y de aguas superficiales por plaguicidas es inevitable. Debemos tener en cuenta que el ciclo de vida de estos compuestos no termina con su aplicación, ya que la dinámica y el destino ambiental de los plaguicidas dependen del tiempo de permanencia o retención en el suelo, así como de su solubilidad y movilidad.

El estudio incluyó las cuencas de los ríos La Villa, Santa María, Chagres y Chiriquí Viejo y el cauce de los ríos Chico y Pacora. La toma de muestras se realizó trimestralmente. A continuación se presentan los resultados y la interpretación de este estudio.

5.1.2.1. La Villa

En esta cuenca, limítrofe entre las provincias de Herrera y Los Santos, se georreferenciaron inicialmente 7 puntos y luego se establecieron 10 estaciones de colecta de muestras en sus secciones alta, media y baja. A lo largo de su principal

cauce se localizan dos plantas potabilizadoras. Las primeras muestras fueron recibidas por el laboratorio en octubre de 2015 y las últimas, en el cuarto trimestre de 2018.

Estas son las principales conclusiones del estudio:

- ✓ La **atrazina, el clorpirifós, la bifentrina y el etoprofós** fueron los principales ingredientes activos detectados en la cuenca, sobre todo en su parte media. La atrazina se usa como controlador de malezas y los otros tres, como insecticidas. Los cuatro productos gozan de una gran demanda por parte del sector agropecuario nacional.
- ✓ De los 24 diferentes ingredientes activos detectados, 6 son catalogados como carcinogénicos y 8, como perturbadores endocrinos (52).
- ✓ Las concentraciones de los plaguicidas en el agua de consumo humano estaban dentro de los valores guías aceptados por los dos organismos internacionales de mayor referencia: OMS y EPA.

5.1.2.2. Santa María

La mayor parte de la cuenca hidrográfica del río Santa María se concentra en la provincia de Veraguas, donde se georreferenciaron durante su etapa inicial 6 puntos, que luego pasaron a ser 7 estaciones de colecta en sus secciones alta, media y baja. A lo largo de su principal cauce se localiza una planta potabilizadora. Las primeras muestras fueron recibidas por el laboratorio en octubre de 2015 y las últimas, en el cuarto trimestre de 2018.

El análisis de los resultados reveló la siguiente información aplicable a este estudio:

- ✓ Los principales contaminantes químicos encontrados en la cuenca hidrográfica del río Santa María son: **endosulfán, fipronil, eto-profós y glifosato**.
- ✓ Las secciones alta y media de la cuenca presentan un preocupante nivel de contaminación con diversos residuos de plaguicidas.
- ✓ Se determinaron 23 diferentes ingredientes activos, 7 de ellos son carcinogénicos y 9, perturbadores endocrinos.
- ✓ Las concentraciones de los plaguicidas en el agua de consumo humano estaban dentro de los valores guías permitidos por la OMS y la EPA.

5.1.2.3. Río Chico

Se ubica en la provincia de Coclé. Cerca de su cauce se halla una planta potabilizadora. Las primeras muestras de este río se tomaron a finales de 2015 y las últimas, en el cuarto trimestre de 2018. Inicialmente se tomaron 3 y luego 5 muestras de sus partes alta, media y baja.

A la luz de los resultados, podemos hacer las siguientes inferencias:

- ✓ Los principales contaminantes químicos son los insecticidas **bifentrina** y **cadusafós** y el herbicida **atrazina**. La bifentrina y la atrazina son plaguicidas muy comercializados en casi todo el territorio nacional.
- ✓ De los 13 diferentes ingredientes activos detectados 3 son carcinogénicos y 6, perturbadores endocrinos.
- ✓ Las concentraciones de los plaguicidas en el agua de consumo humano estaban dentro de los valores guía permitidos por la OMS y la EPA. El grado de contaminación de todo el río es muy uniforme.
- ✓ Entre los plaguicidas se reportan residuos del insecticida HCH, pero sus resultados están por debajo de los límites de tolerancias. El HCH-gamma fue prohibido por el MIDA desde 1997 (30) y por el MINSA desde 2009 (36).
- ✓ La presencia de HCH-gamma se debe a que es un contaminante orgánico persistente, cuyos residuos no se han degradado totalmente.

5.1.2.4. Chagres

La cuenca del río Chagres es compleja y las fronteras entre sus partes alta, media y baja no son claras. En su cauce se encuentra la planta potabilizadora más grande del país, la cual suministra agua a una importante cantidad de habitantes de los distritos de Panamá y San Miguelito. La evaluación de esta cuenca se inició en marzo de 2017 y finalizó en el último trimestre de 2018. En su etapa inicial se establecieron 6 puntos o estaciones: río Boquerón (2), río Chagres (1) y lago Alhajuela (3). Posteriormente, se anexó una muestra de la Planta Potabilizadora de Chilibre Federico Guardia (últimos dos trimestres de 2018).

Los resultados que se reportan desde esta cuenca son los que ofrecemos a continuación:

- ✓ Se detectan con mayor frecuencia los insecticidas **bifentrina** y **malatión** y el fungicida **edifenfós**. El primero es muy comercializado en el territorio nacional y ya se reportó su presencia en casi todas las cuencas anteriores. El edifenfós ya no se comercializa en nuestro país.
- ✓ La cuenca media del Chagres (Corotú Puente) y del lago Alhajuela (represa Madden) presentan el mayor grado de contaminación.
- ✓ No se reportan violaciones a los LMR de plaguicidas, de acuerdo con los valores suministrados por la OMS y la EPA en el agua de consumo humano.
- ✓ De los 15 diferentes ingredientes activos detectados, 5 son carcinogénicos y 2, perturbadores endocrinos.

5.1.2.5. Chiriquí Viejo

Gran parte de esta cuenca está sometida a una gran presión por las actividades antropológicas que se desarrollan en ella: la producción de legumbres, hortalizas, poroto, maíz, banano de exportación y arroz, así como la ganadería de leche. En esta cuenca, ubicada en la provincia de Chiriquí, se construyó una planta potabilizadora (en su parte baja), que suministra agua para su consumo a los habitantes del distrito del Barú.

Las muestras de agua se recolectan de 7 estaciones georreferenciadas, distribuidas en las secciones alta, media y baja de la cuenca. La evaluación se inició desde el mes de septiembre de 2017 hasta el último trimestre de 2018. Durante este período se reportan ciertos hallazgos:

- ✓ Sobresalen la **bifentrina** y la **carbendazina** entre los plaguicidas detectados.

- ✓ La cuenca alta del río Chiriquí Viejo es la que presenta el mayor grado de contaminación.
- ✓ En el agua de consumo humano no se observan concentraciones de plaguicidas por encima de los valores de referencia de la OMS y la EPA.
- ✓ De los 14 diferentes ingredientes activos detectados, 4 son carcinogénicos y 5, perturbadores endocrinos.

5.1.2.6. Río Pacora

Sobre este río se identificaron tres estaciones para la colecta de muestras. Esta evaluación únicamente se realizó por un año (2018). En el análisis de los resultados se determinaron 5 diferentes ingredientes activos con propiedades plaguicidas: **bifentrina**, **cipermetrina**, **etoprofós**, **imazalil** y **glifosato**. Los dos últimos son considerados como carcinogénicos. En ninguno de los casos se superaron los valores guía de referencia proporcionados por la OMS y la EPA.

5.1.2.7. Resumen de los contaminantes plaguicidas detectados en los ríos y las cuencas de Panamá

Entre los principales plaguicidas encontrados en las diversas cuencas y ríos figuran la bifentrina, el etoprofós, el glifosato y el imazalil (véase el cuadro 17). Como era de esperar, residuos de estos plaguicidas se reportaban con mayor frecuencia en las muestras recolectadas durante la estación lluviosa, que generalmente se extiende, con algunas variaciones, desde mayo hasta diciembre.

Entre 2017 y 2019 la bifentrina y el glifosato tuvieron una gran demanda en el sector agropecuario nacional. El primero es un disruptor endocrino y el segundo, un carcinogénico (48). Los

insecticidas cadusafós y fipronil son otros dos productos encontrados en 4 de los 6 cuerpos de agua ya mencionados.

Sobre estos hallazgos, es oportuno aclarar que ciertas propiedades de los plaguicidas influyen inevitablemente en su destino ambiental. De hecho, el cumplimiento de las BPA y de las buenas prácticas pecuarias con respecto al uso de dichos insumos no puede minimizar ni la dinámica ni los niveles de contaminación del suelo y el agua. La solubilidad, la lixiviación, la persistencia y el coeficiente de adsorción, entre otras propiedades, determinan el comportamiento de los plaguicidas empleados por los agricultores; por lo

tanto, no están bajo el control de los humanos.

En muestras de agua de las cuencas nacionales la presencia de plaguicidas organoclorados, como el DDT y sus metabolitos de degradación: DDD y DDE, son un claro ejemplo de ello. Asimismo, la identificación del Mirex, Hexaclorobenceno y de los isómeros del HCH (beta y gamma) revela que, a pesar de estar prohibido su uso en la agricultura panameña (30), sus residuos siguen apareciendo en los cuerpos hídricos. Tal condición se debe a que dichas sustancias son altamente resistentes a la descomposición microbiana, a reacciones químicas y a otros mecanismos de degradación.

Cuadro 17. Lista de todos los plaguicidas hallados en las muestras de agua procedentes de diversos ríos o cuencas de Panamá.

N.º	RÍO LA VILLA	RÍO SANTA MARÍA	RÍO CHICO	CHAGRES	CHIRIQUÍ VIEJO	PACORA
1				Acetamiprid		
2	Acetoclor		Acetoclor			
3	Aldrín	Aldrín	Aldrín			
4	Ametrina	Ametrina				
5		Anilofós		Anilofós		
6	Atrazina	Atrazina	Atrazina			
7	Bifentrina	Bifentrina	Bifentrina	Bifentrina	Bifentrina	Bifentrina
8	Cadusafós	Cadusafós	Cadusafós	Cadusafós		
9				Carbendazina	Carbendazina	
10				Cipermetrina		Cipermetrina
11	λ Cihalotrina	λ Cihalotrina			λ Cihalotrina	
12	Clorpirifós				Clorpirifós	
13	DDD-p,p			DDD-p,p	DDD-p,p	
14	DDE-p,p					
15	Diazinón	Diazinón			Diazinón	
16	Edifenfós			Edifenfós		
17	Endosulfán-alfa	Endosulfán-beta				
18		Endosulfán-sulfato				
19	Etoprofós	Etoprofós		Etoprofós	Etoprofós	Etoprofós
20	Fipronil	Fipronil	Fipronil		Fipronil	
21	Glifosato	Glifosato		Glifosato	Glifosato	Glifosato

N.º	RÍO LA VILLA	RÍO SANTA MARÍA	RÍO CHICO	CHAGRES	CHIRIQUÍ VIEJO	PACORA
22	HCH-beta	HCH-beta				
23		HCH-gamma	HCH-gamma			
24			Hexaclorobence- no		Hexaclorobence- no	
25	Imazalil	Imazalil	Imazalil	Imazalil		Imazalil
26				Imidacloprid	Imidacloprid	
27		Iprobenfós	Iprobenfós		Iprobenfós	
28				Iprodione		
29		Malatión		Malatión		
30			Metidatión			
31	Mirex					
32		Pendimetalín				
33	Pirazofós		Pirazofós		Pirazofós	
34		Pirimetamil				
35		Profenofós		Profenofós		
36	Propiconazol	Propiconazol	Propiconazol			
37		Spinosad				
38	Tebuconazol				Tebuconazol	
39	Terfufós					
40	Triazofós					

Por otra parte, algunos de los plaguicidas identificados en este estudio ya no cuentan con registro comercial en el territorio nacional, entre ellos el edifenfós, el iprobenfós, el metidatión y el pirazofós.

5.2. Determinación de la presencia de residuos de plaguicidas en abejas melíferas

Esta sección fue elaborada en colaboración con la Ing. Gisela Páez.

Las abejas son polinizadores natos que ayudan al agricultor a obtener una buena producción y frutos de forma perfecta. En Panamá, en particular,

las abejas se utilizan para polinizar campos de cucurbitáceas, especialmente de melón, sandía y zapallo, aunque otros cultivos también se ven beneficiados con esta polinización natural.

Se calcula que el 90 % de las plantas silvestres y el 75 % de los cultivos para consumo humano dependen de esta actividad. Esto significa que más de un tercio de los alimentos depende de la acción de los insectos. Por lo tanto, se trata de una actividad a la que está condicionado no solo el ecosistema, sino también gran parte del sector primario de la economía y la obtención de los alimentos (14).

Los plaguicidas están diseñados para provocar efectos biológicos adversos en organismos “blanco”, pero su inadecuado manejo conlleva riesgos para otros organismos de la flora y fauna (organismos “no blanco”). Este desequilibrio

pone actualmente a especies en riesgo de supervivencia y en peligro de extinción.

Tras analizar 1500 estudios científicos, la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha identificado tres plaguicidas de la familia de los neonicotinoides de alto peligro para las abejas y comercializados en Europa por Bayer y Syngenta (hoy Chemchina): el clotianidin, el tiametoxam y el imidacloprid (12).

Estos químicos afectan al sistema nervioso de los insectos, producen desorientación en las abejas y les ocasionan problemas para encontrar el camino de vuelta a la colmena (síndrome de colapso de la colmena). Más recientemente la EFSA estableció otra medida de prohibición del insecticida neonicotinoide tiacloprid, que entró en vigor el 30 abril de 2020 (13).

Otro producto que ha estado en la mira de la UE por su efecto en las abejas es el insecticida fipronil, de la familia de los fenilpirazoles; no obstante, no hay una clara definición sobre este tema.

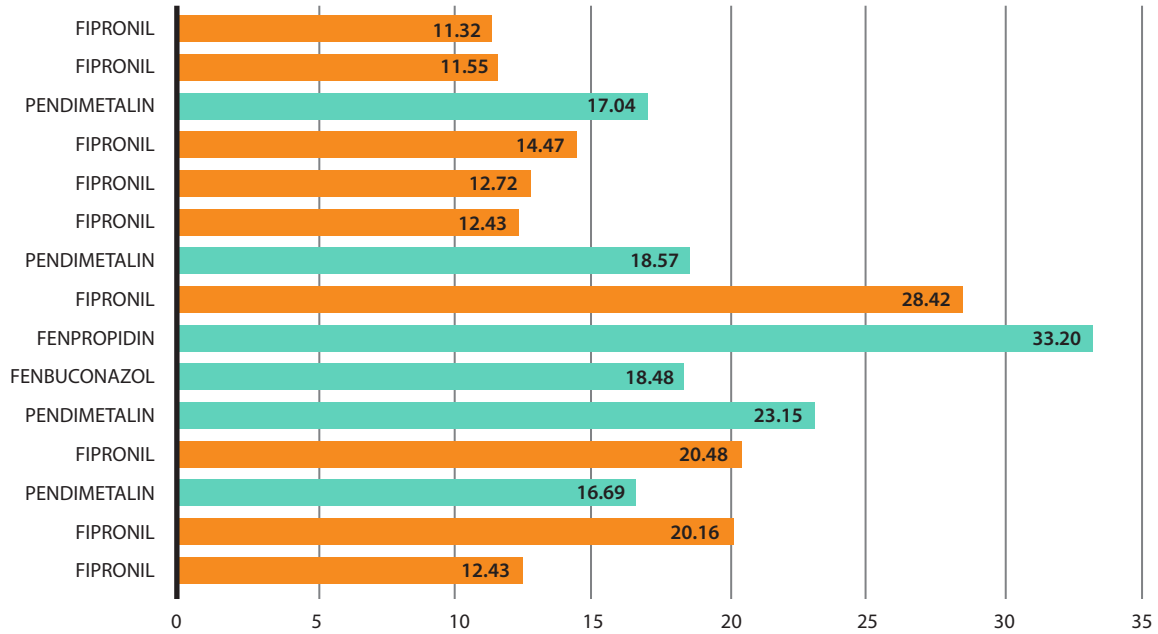
Durante el período 2019 al 2022 le correspondió a la DINASA del MIDA atender 13 denuncias

asociadas a la muerte masiva de abejas. En cada uno de estos casos se tomaron muestras de abejas, que fueron enviadas a nuestro laboratorio para su análisis.

En la primera muestra, recolectada en la provincia de Darién (2019), se detectaron residuos de los insecticidas cipermetrina (9 ng/g), endosulfán-alfa (68 ng/g), paratión metil (9.4 ng/g) y triazofós (26 ng/g) en cantidades que no sobrepasaban los umbrales de peligro para las abejas.

De las 11 muestras recolectadas en la provincia de Chiriquí (2020), 9 de ellas presentaban concentraciones de fipronil, cuyas cantidades oscilaban entre 11.32 ng/g y 28.42 ng/g (véase el gráfico 16), niveles que se consideran muy altos para la supervivencia de las abejas (51). Otros plaguicidas cuantificados fueron el herbicida pendimetalin, presente en 4 de las muestras, y los fungicidas fenpropidin y fenbuconazol, hallados en una de ellas. En una de las dos muestras restantes no se encontraron residuos de plaguicidas y en la otra se determinó la presencia de residuos de 3 insecticidas: clorfenapir, piriproxifen y etofenprox. La cantidad de este último encontrada en las abejas (683.1 ng/g) es de alto riesgo para su existencia.

Gráfico 16. Contenido de fipronil en 9 muestras recolectadas en la provincia de Chiriquí, expresado en ng/g, 2020.



En la última muestra analizada, proveniente de Panamá Oeste, se hallaron dos insecticidas que estaban por debajo del límite de cuantificación del cromatógrafo de gas acoplado a un espectrómetro de masas con tecnología de triple

cuadrupolo: bifentrina y DDT; sin embargo, el nivel de fipronil presente en dicha muestra superaba ampliamente las tolerancias permitidas para las abejas.



6. Conclusiones

Por más de 20 años (enero de 2002) los laboratorios de la DNSV han brindado sus servicios de manera ininterrumpida, mediante el suministro de información sobre la presencia de contaminantes químicos en diversas matrices y la verificación de la calidad de los insumos fitosanitarios empleados en la agricultura del país. Mantienen un sistema de calidad basado en la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2017, cuentan con una certificación correspondiente a la Norma ISO 9001:2015 y han participado en proyectos de cooperación técnica internacional junto con la FAO, el OIEA, el USDA y el IICA.

En el ámbito de sus competencias han dedicado la mayor parte de su tiempo a la determinación de la presencia de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales y al análisis químico de la calidad de las formulaciones de los plaguicidas, fertilizantes y enmiendas. En el marco del apoyo y la colaboración interinstitucional han adquirido destrezas en el análisis de otras matrices, como las de agua, sedimentos, suelo, abejas y sus subproductos.

Durante el período 2009-2020 se analizaron 1532 muestras por LC-MS/MS y GC-MS/MS de diversos cultivos, incluyendo 1091 nacionales y 441 de otros países. De ese gran total, **19.4 %** de las muestras nacionales y

17.5% de importación sobrepasaban las tolerancias permitidas. Los cultivos nacionales mayormente contaminados, en orden descendente por número de casos, fueron los de apio (60), ají (44), pimentón (23), tomate (10) y lechuga (10), reportándose en ellos principalmente la presencia de clorpirifós y fipronil. Entre los cultivos importados, la fresa acumulaba el mayor número de transgresiones de los LMR, seguida por la lechuga, el aguacate y la espinaca, encontrándose en ellos de forma más recurrente el fipronil, el tebuconazol y el propiconazol.

En una evaluación integral, pero diferenciada de las capsicaceas (ají criollo, ají picante y pimientos) se determinó que en ninguna de las muestras importadas se sobrepasaban los LMR de plaguicidas. En contraste, el porcentaje de capsicaceas nacionales que mostraban niveles por encima de los LMR fue el siguiente: ají criollo: 56.2 %, ají picante: 100 % y pimientos de colores y Nathalie: 37.9 %.

En el país funcionan tres estaciones que aplican la técnica de bioensayo rápido, que permite detectar únicamente plaguicidas de las familias de OF y carbamatos. A pesar de sus limitaciones, esta técnica, de bajo costo y rápida aplicación y

con una sensibilidad de 0.05 ppm a 0.1 ppm, se ha convertido en un adecuado complemento de las técnicas cromatográficas de análisis de residuos de plaguicidas en cultivos.

En alianza con el IDIAP y con el apoyo del proyecto de cultivos menores (la FAS del USDA y el STDF), en septiembre de 2019 fue aprobada la propuesta de incorporar en el Codex Alimentarius el primer LMR de piriproxifén en la piña, de 0.01 mg/kg.

Debido a su alto consumo e importancia en la dieta del panameño se decidió analizar el contenido de metales pesados en los granos de arroz importados. De 76 muestras recibidas durante 2018 y 2019, 3 superaban el nivel máximo del Codex para el arsénico. Los residuos de plomo y cadmio se mantuvieron por debajo del nivel máximo admisible.

Partiendo del análisis químico ejecutado por el laboratorio sobre la calidad de las formulaciones plaguicidas (gráfico 8), podemos indicar que, durante el período 2004-2021, se procesaron 2462 muestras, de las cuales, en el período 2004-2014 el 5 % no cumplió con los criterios de calidad química, mientras que en el de 2015-2021, fue el 8.3 % que los incumplió. Se trabajó con 77 y 86 diferentes ingredientes activos, respectivamente.

En el reciente ejercicio de determinación de la calidad de los fertilizantes, ejecutado por los laboratorios, se incluyeron solo los años 2019 y 2021, ya que en 2020 se produjo la pandemia del síndrome respiratorio agudo producido por un coronavirus. Durante esos dos años se analizaron 228 muestras (70 y 158, respectivamente) que contenían macro y micronutrientes. De las

107 muestras que contenían nitrógeno, el 29 % no cumplía con lo declarado en la etiqueta, sobre todo las derivadas de mezclas físicas. Después del nitrógeno, otro elemento cuyo contenido no se ajustaba a lo declarado fue el fósforo.

Durante el período 2015-2017 (Proyecto ARCAL RLA 7019), en relación con las variaciones en la frecuencia (trimestral y mensual) de la recolecta de muestras de agua de 13 sitios o estaciones de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, se detectó en las 260 muestras analizadas la presencia de 43 diferentes ingredientes activos en concentraciones que variaban por año. Las localidades de Barrio Guadalupe y Entre Ríos presentaban el mayor grado de contaminación. El clorpirifós y el diazinón fueron los plaguicidas más detectados en esa zona de la cuenca, aunque sus niveles no sobrepasaban los valores guía permitidos según la OMS y la EPA.

Desde finales de 2015 hasta 2018 se realizó trimestralmente un estudio para determinar el grado de contaminación por residuos de plaguicidas de las cuencas de La Villa, Santa María, Chagres y Chiriquí Viejo y de los ríos Chico y Pacora. Se recolectaron 348 muestras, encontrándose en ellas con mayor frecuencia los productos bifentrina, etoprofós, glifosato e imazalil. La presencia de cadusafós y fipronil también se reporta en los informes con respecto a 4 de los 6 cuerpos de agua indicados.

Debido a las denuncias de varios apicultores de la masiva muerte de abejas acontecida durante el período 2019-2022, se analizaron 13 muestras recolectadas por la DINASA. En 10 de ellas las concentraciones de fipronil superaban las cantidades tolerables por las abejas para su supervivencia.

ANEXO 1. Analitos determinados en vegetales mediante cromatografía de gas acoplada a un espectrómetro de masas.

1	Acetocloro	36	Espirodiclofeno	71	Metalaxil
2	Alacloro	37	Espiromesifeno	72	Metidación
3	Aldrín	38	Espiroxamina	73	Metiocarb
4	Anilofós	39	Etión	74	Metolacloro
5	Atrazina	40	Etofenprox	75	Miclobutanilo
6	Azinfós etil	41	Etoprofós	76	Mirex
7	Azoxistrobina	42	Famoxadona	77	Molinato
8	Bifentrina	43	Fenamidona	78	Oxadixilo
9	Boscalid	44	Fenamifós	79	Oxifluorfós
10	Cadusafós	45	Fenbuconazol	80	Paraoxón metilo
11	Captán	46	Fenhexamid	81	Paratión etil
12	Ciflutrina β	47	Fenitrotión	82	Paratión metilo
13	Cihalotrina (λ)	48	Fenpropatrin	83	Pendimetalina
14	Cipermetrina	49	Fenpropidina	84	Permetrina
15	Ciprodinilo	50	Fentión	85	Pirazofós
16	Ciromazina	51	Fentión etil	86	Pirimetamil
17	Clomazona	52	Fentión sulfona	87	Pirimicarb
18	Clorfenapir	53	Fentión sulfóxido	88	Pirimifós metilo
19	Clorfenvinfós	54	Fipronil	89	Piriproxifén
20	Clorotalonilo	55	Fipronil sulfona	90	Profenofós
21	Clorpirifós	56	Fluazifop-p-butil	91	Propanil
22	Clorpirifós metilo	57	Fludioxonilo	92	Propiconazol
23	DDD	58	Flutriafol	93	Tebuconazol
24	DDE	59	Folpet	94	Teflutrina
25	DDT	60	Fosalón	95	Terbufós
26	Deltametrina	61	Hexaclorociclohexano (HCH-beta)	96	Terbutilazina
27	Diazinón	62	Hexaclorociclohexano (HCH-gamma)	97	Tolclofós metil
28	Diclorvós	63	Hexaclorobenceno	98	Triazofós
29	Dicofol	64	Hexazinona	99	Trifloxistrobina
30	Edifenfós	65	Indoxacarb	100	Trifluralina
31	Endosulfan- α	66	lprobenfós	101	Vinclozolina
32	Endosulfan- β	67	lprodiona		
33	Endosulfan sulfato	68	Isoprotiolano		
34	Endrin	69	Malaoxón		
35	Epoxiconazol	70	Malatión		

ANEXO 2. Analitos determinados en vegetales por medio de cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas.

1	2,4-D	36	Dodine	71	Novaluron
2	Acefato	37	Etofenprox	72	Ometoato
3	Acetamiprid	38	Famoxadona	73	Oxadixilo
4	Aldicarb	39	Fenamifós sulfona	74	Oxamilo
5	Aldicarb sulfona	40	Fenamifós sulfóxido	75	Paraoxón metilo
6	Aldicarb sulfóxido	41	Fenbuconazol	76	Paratión metilo
7	Ametrina	42	Fenpropimorf	77	Picloram
8	Amitraz	43	Espinosad	78	Piraclostrobina
9	Atrazina	44	Fentiún sulfóxido	79	Pirimicarb desmetil
10	Azinfós metil	45	Fipronil	80	Procloraz
11	Bispiribac sodio	46	Fluazifop-butil	81	Propamocarb clorhidrato
12	Bitertanol	47	Flufenoxurón	82	Propanil
13	Boscalida	48	Flutriafol	83	Propoxur
14	Bromacil	49	Fosetil-aluminio	84	Tebuconazol
15	Bromuconazol	50	Hexaconazol	85	Teflubenzurón
16	Buprofecina	51	Imazalil	86	Tiabendazol
17	Carbaril	52	Imazalil sulfato	87	Tiacloprid
18	Carbendazina	53	Imidacloprid	88	Tiametoxam
19	Carbofurano	54	Isoprotilano	89	Tiodicarb
20	Carbofurano-3-hidroxi	55	Kresoxim metil	90	Tiofanato metil
21	Carbosulfán	56	Lufenurón	91	Triadimefón
22	Cimoxanilo	57	Malaoxón	92	Triadimenol
23	Clorantraniliprol	58	Mandipropamid	93	Triclopir
24	Clorfenvinfós	59	Metaflumizona	94	Tridemorf
25	Clorprofam	60	Metalaxil	95	Trifloxistrobina
26	Clotianidina	61	Metamidofós	96	Triflumurón
27	Deltametrina	62	Metiocarb		
28	Demetón-S-metil-sulfóxido	63	Metiocarb sulfona		
29	Dicamba	64	Metomilo		
30	Dicloruro de paraquat	65	Metoxifenoxida		
31	Diclorvós	66	Metribuzina		
32	Difenoconazol	67	Metsulfurón metil		
33	Diflubenzurón	68	Miclobutanilo		
34	Dimetoato	69	Monocrotofós		
35	Dimetomorf	70	Nicosulfurón		

Se analizan también por cromatografía de gas.

ANEXO 3. Lista de PAP registrados en Panamá, con indicación de su toxicidad, carcinogenicidad y otras características (año 2022).

N.º	Ingrediente Activo	Clase	Cat. Toxic., OMS, grado téc.	Carcinogenicidad USEPA, IARC y SGA			Mutagenicidad		Tóx. a la reproduc. UE-SGA	Disrupc. endocr., PNUMA/OMS/SGA	Muy tóxico en Abejas
				IARC	EPA	SGA/GHS	SGA/GHS	UE			
1	1,3-dichloropropene	INS	Ib*	1						1	
2	2,4-DB	HER	II						1		
3	Abamectin	INS-ACA	IV							1	
4	Acephate	INS	II							1	
5	Acetochlor	HER	III						1		
6	Alachlor	HER	II		1				1		
7	Aldicard	INS-NEM	Ia							1	
8	Aluminum phosphide	INS-FUN	N/A							1	
9	Azamethiphos	INS	II							1	
10	Benomilo	FUN	IV				1	1	1		
11	Beta-cyfluthrin, cyfluthrin	INS	Ib							1	
12	Bifenthrin	INS	II							1	
13	Brodifacoum	ROD	Ia					1			
14	Bromadiolone	ROD	Ia					1			
15	Bromoxinil octanoate	HER	II								
16	Butachlor	HER	III		1						
17	Cadusafos	NEM	Ib							1	
18	Captan	FUN	IV		1						
19	Carbaryl	INS	II		1					1	
20	Carbendazim	FUN	IV				1	1	1		
21	Carbosulfan	INS-ACA	IV							1	
22	Chlorantraniliprole	INS	IV								
23	Chlorfenapyr	INS-ACA	II							1	
24	Chlorothalonil	FUN	IV	1	1						
25	Chlorpyrifos	INS	III						1	1	
26	Clothianidin	INS	III							1	
27	Copper (II) hydroxide	FUN-BAC	II								
28	Coumaphos	INS	Ib					1	1		
29	Cyfluthrin	INS	Ib							1	

N.º	Ingrediente Activo	Clase	Cat. Toxic., OMS, grado téc.	Carcinogenicidad USEPA, IARC y SGA			Mutagenicidad		Tóx. a la reproduc. UE-SGA	Disrupc. endocr., PNUMA/ OMS/SGA	Muy tóxico en Abejas
				IARC	EPA	SGA/ GHS	SGA/ GHS	UE			
31	Cyhalothrin-gamma	INS	II								1
32	Cypermethrin	INS	II								1
33	Cypermethrin, alpha	INS	II								1
34	Cyproconazole	FUN	II								
35	Deltamethrin	INS	II								1
36	Diafentiuron	INS-ACA	III								1
37	Difenacoum	ROD	Ia								
38	Difethialone	ROD	Ia								
39	Diazinon	INS	II	1							1
40	Dichlorvos, DDVP	INS	Ib	1							1
41	Dimethoate	INS	II								1
42	Dinotefuran	INS	IV*								1
43	Diphacinone	ROD	Ia								
44	Diquat dichloride	INS	II								
45	Diuron	HER	III								
46	Emamectin benzoate	INS	II								1
47	Endosulfan	INS-ACA	II						1		
48	Epoxiconazole	FUN	IV		1		1		1		
49	Ethion (H330)	INS-ACA	II								
50	Ethoprophos, ethoprop	INS-NEM	Ia								
51	Fenamiphos	NEM	Ib								1
52	Fenitrothion	INS	II							1	1
53	Fenthion, fenthion	INS	II								1
54	Fipronil	INS	II							1	1
55	Flocoumafen	ROD	Ia						1		
56	Fluazifop-butyl	HER	III						1		
57	Folpet	FUN	IV								
58	Formaldehído	BAC	N/A	1	1						
59	Glufosinate-ammonium	HER	II						1		
60	Glyphosate	HER	III	1							
61	Halosulfuron-methyl	HER	III*				1				

N.º	Ingrediente Activo	Clase	Cat. Toxic., OMS, grado téc.	Carcinogenicidad USEPA, IARC y SGA			Mutagenicidad		Tóx. a la reproduc. UE-SGA	Disrupc. endocr., PNUMA/OMS/SGA	Muy tóxico en Abejas
				IARC	EPA	SGA/GHS	SGA/GHS	UE			
63	Imazalil	FUN	III		1						
64	Imidacloprid	INS	II							1	
65	Indoxacarb	INS	III							1	
66	Iprodione	FUN	III		1						
67	Iprovalicard	HER	IV		1						
68	Isopyrazam (izopyrazam)	FUN	II		1						
69	Isoxaflutole	HER	IV		1						
70	Kresoxim-methyl	FUN	IV		1						
71	Lambda-cyhalothrin	INS	II							1	
72	Linuron	HER	III					1	1		
73	Lufenuron	INS	III*								
74	Magnesium phosphide	INS	N/A								
75	Malathion	INS	III	1					1	1	
76	Mancozeb	FUN	IV		1				1		
77	Metam-sodium	FUN	II		1						
78	Methomyl	INS	Ib							1	
79	Metiram	FUN	IV		1						
80	Metribuzin	HER	II								
81	Oxadiazon	HER	IV		1						
82	Oxamyl	INS	Ib							1	
83	Oxyfluorfen	HER	IV		1						
84	Parafina aceites, aceites minerales	ADI	N/A								
85	Paraquat dicloruro	HER	II								
86	Pendimethalin	HER	II						1		
87	Permethrin	INS	II						1	1	
88	Piretrina, extracto de piretro										
89	Primingphos-methyl	INS	II							1	
90	Profenofos	INS	II							1	
91	Profoxydim	HER	III*								
92	Propiconazole	FUN	II								
93	Propineb	FUN	IV		1						

N.º	Ingrediente Activo	Clase	Cat. Toxic., OMS, grado téc.	Carcinogenicidad USEPA, IARC y SGA			Mutagenicidad		Tóx. a la reproduc. UE-SGA	Disrupc. endocr., PNUMA/OMS/SGA	Muy tóxico en Abejas
				IARC	EPA	SGA/GHS	SGA/GHS	UE			
95	Pymetrozine	INS	IV*		1						
96	Quinoxifen	FUN	IV								
97	Spinetoram	INS	IV							1	
98	Spinosad	INS	III							1	
99	Spirodiclofen	INS-ACA	III*		1						
100	Sulfuramid o sulfluramid	INS	II								
101	TCMTB (benzotiazol)	FUN	III*								
102	Tebuconazole	FUN	II						1		
103	Temephos	INS-LRV	III							1	
104	Terbufos	INS-NEM	Ia								
105	Thiabendazole	FUN	III		1			1			
106	Thiacloprid	INS	II		1			1			
107	Thiamethoxam	INS	III*							1	
108	Thiodicarb	INS	II		1					1	
109	Thiophanate-methyl	FUN	IV		1						
110	Triadimenol	FUN	II					1			
111	Triazophos	ACA-NEM-INS	Ib								
112	Trichlorfon	INS	II		1			1		1	
113	Tridemorph	FUN	II								
114	Validamycin	FUN-BOT	IV							1	
115	Zinc Phosphide	ROD	Ib								

* = Categoría toxicológica predominante de la(s) formulación(es) registrada(s) en Panamá.

Fuente. Requena, J. 2022 (48), actualizada hasta junio de 2023 con la incorporación de productos registrados por la DINASA y el MINSA.

ANEXO 4. Concentración máxima permitida de ciertos contaminantes en el agua de consumo humano.

CONTAMINANTE QUÍMICO	VALORES GUÍA EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO (mg/l, µg/l)					
	SEGÚN LA EPA		SEGÚN LA UE*		SEGÚN LA OMS	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1,3-DICLOROPROPENO					20	µg/l
ALACLOR	2	µg/l			20	µg/l
ALDICARB					10	µg/l
ALDRÍN Y DIELDRÍN			0.03	µg/l	0.03	µg/l
ARSÉNICO	10	µg/l	10	µg/l	10	µg/l
ATRAZINA	3	µg/l			100	µg/l
CADMIO	5	µg/l	5	µg/l	3	µg/l
CARBARIL**					50	µg/l
CARBOFURÁN	40	µg/l			7	µg/l
CLORDANO	2	µg/l			0.2	µg/l
CLORPIRIFÓS					30	µg/l
CROMO	0.1	mg/l	50	µg/l	50	µg/l
COBRE	1.3	mg/l	2	mg/l	2	mg/l
CIANURO	0.2	mg/l	50	µg/l	70	µg/l
2,4-D	70	µg/l			30	µg/l
DALAPÓN	0.2	mg/l				
DDT Y METABOLITOS					1	µg/l
DBCP	0.2	µg/l			1	µg/l
DICLORVÓS**					20	µg/l
DIMETOATO					6	µg/l
DINOSEB	7	µg/l				
DIOXINA	0.00003	µg/l				
DIQUAT**	20	µg/l			30	µg/l
ENDOSULFAN**					20	µg/l
ENDRÍN	2	µg/l			0.6	µg/l
FENITROTION**					8	µg/l
GLIFOSATO**	0.7	mg/l			0.9	mg/l
HEXACLOROBENCENO	1	µg/l			1	µg/l
PLOMO	15	µg/l	10	µg/l	10	µg/l
LINDANO- HCH	0.2	µg/l			2	µg/l
MALATIÓN**					9	mg/l

CONTAMINANTE QUÍMICO	VALORES GUÍA EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO (mg/l, µg/l)					
	SEGÚN LA EPA		SEGÚN LA UE*		SEGÚN LA OMS	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
METILPARATION**					9	µg/l
METOXICLORO	40	µg/l			20	µg/l
METOLACLORO					10	µg/l
MOLINATO					6	µg/l
NITRATO, NITRITO					50	mg/l
NITRATO	10	mg/l	50	mg/l		
NITRITO	1	mg/l	0.5	mg/l		
OXAMIL	0.2	mg/l				
PENDIMETALINA					20	µg/l
PENTAFLOROFENOL	1	µg/l			9	µg/l
PERMETRINA (larvas)					20	µg/l
PICLORÁM	0.5	mg/l				
PROPANIL					20	µg/l
SIMAZINA	4	µg/l	0.1	µg/l	2	µg/l
TERBUTILAZINA					7	µg/l
TOXAFENO	3	µg/l				
2,4,5-T	50	µg/l			9	µg/l

Fuente: WHO. 2017. Guidelines for drinking-water quality (53).
 Directive (EU) 2020/2184. On the quality of water intended for human consumption (11).
 EPA. Ground Water and Drinking Water (17).

*La Directiva Europea establece un valor paramétrico para el total de plaguicidas de 0.5 µg/l y para cada plaguicida individual de 0.1 µg/l (salvo en los casos del aldrín, el dieldrín, el heptacloro y el heptacloroepóxido, cuyos valores se han fijado en 0.03 µg/l).

**Valor basado en la salud para la OMS.

Glosario

Las definiciones fueron tomadas principalmente de la Real Academia Española (2023), la Guía Técnica de Requena, J. (2022) y de otras fuentes especializadas.

-Acreditación de laboratorios. Proceso mediante el cual una entidad es capaz de medir la calidad y el rendimiento de los servicios o productos que ofrece, frente a estándares reconocidos en los ámbitos nacional o internacional. El proceso de acreditación implica la autoevaluación del laboratorio, así como una evaluación exhaustiva por un equipo de expertos externos al laboratorio.

-Acuífero. Reservorio de agua ubicado debajo de la superficie terrestre.

-Analito. Especie química cuya presencia o contenido se desea conocer, identificar y cuantificar por medio de un proceso de medición química.

-Biosensor. De acuerdo con la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), un biosensor es un dispositivo que usa reacciones bioquímicas específicas mediadas por enzimas, anticuerpos, organelos, tejidos o células completas para detectar compuestos químicos usualmente por señales eléctricas, térmicas u ópticas (citado por 3).

-Bioensayo rápido. Metodología desarrollada por el Instituto de Investigación Agropecuaria de

Taiwán, basada en la inhibición de la enzima colinesterasa para insecticidas organofosforados y carbamatos en un análisis grupal y no individual de los plaguicidas (6).

-Buenas prácticas agrícolas (BPA) en el uso de plaguicidas. Conjunto de normas y recomendaciones técnicas acerca de los usos inocuos autorizados en el plano nacional de los plaguicidas seleccionados para un control eficaz y fiable de las plagas en los cultivos, emitidas generalmente por un organismo oficial bajo las condiciones existentes. Comprende una gama de niveles de aplicaciones de plaguicidas hasta la concentración de uso autorizado más elevada, de forma que quede la concentración mínima posible del residuo.

-Buenas prácticas pecuarias (BPP) en el uso de productos de uso veterinario y plaguicidas. Conjunto de rigurosas normas y recomendaciones técnicas sobre los usos inocuos autorizados en el plano nacional de productos de uso veterinario y plaguicidas seleccionados para un control confiable de plagas y enfermedades, cuyo cometido es asegurar la salud de los animales destinados a la producción y obtención de productos y subproductos para consumo humano.

-Carcinógena o cancerígena. Sustancia o mezcla que induce el cáncer o aumenta su incidencia.

-Codex Alimentarius. Conjunto de normas alimentarias adoptadas internacionalmente y

presentadas de manera uniforme. Los objetivos de su publicación son proteger la salud del consumidor y facilitar el comercio internacional de alimentos.

-Contaminante. Sustancia que se encuentra en un medio al cual no pertenece o que lo hace a niveles que pueden producir efectos (adversos) en la salud o el medio ambiente.

-Criba. Sometimiento de un conjunto de muestras a bioensayos para separar las que contienen plaguicidas de los grupos químicos de organofosforados y carbamatos de aquellas que están libres de dichos contaminantes.

-Cromatografía. Técnica a través de la cual los componentes de una mezcla se separan según las distintas velocidades con que se desplazan a lo largo de una fase estacionaria cuando son transportados por una fase móvil líquida o gaseosa.

-Curva de calibración. Representación gráfica que relaciona una señal instrumental en función de la concentración de un analito y define un intervalo de trabajo en el cual, los resultados a informar tienen una precisión y exactitud conocida que ha sido documentada en la validación de cada método.

-Disruptor o perturbador endocrino. Sustancia química, ajena al cuerpo humano o a la especie animal a la que afecta, capaz de alterar el equilibrio hormonal de los organismos de una especie.

-Electrodo serigrafiado. Pequeña tarjeta donde se encuentra un circuito eléctrico integrado compuesto por los electrodos y contactos eléctricos para su conexión al sistema de medición.

-Ensayo de actitud. Evaluación del desempeño de los participantes frente a criterios preestablecidos mediante comparaciones entre laboratorios (4).

-Espectrofotómetro. Aparato de medición utilizado en la espectrofotometría, que es un procedimiento analítico para medir la cantidad de luz absorbida por una sustancia con respecto a una longitud de onda determinada.

-Espectrómetro de masas. Instrumento en el que se separan (analizan) haces de iones según el cociente masa/carga y se miden eléctricamente los iones. Este término también se utiliza cuando se emplea un detector de centelleo (26).

-Estándar analítico. Estándar lo suficientemente puro, estable y homogéneo para su utilización en la calibración de un aparato o la evaluación del rendimiento del método analítico.

-Estudio colaborativo. Estudio entre laboratorios en el que cada uno de ellos aplica un método definido para analizar porciones idénticas de materiales homogéneos, a fin de evaluar el rendimiento y las características obtenidas por medio de ese método de análisis (7).

-Fortificación. Cantidad conocida de analito que permite incrementar la respuesta del analito medido, calculando los valores en términos de cantidad añadida, aun cuando el valor absoluto del analito presente no se conozca ni antes ni después de la adición (37).

-Inmunosensores. Biosensores que usan anticuerpos o antígenos como elemento sensor específico y proporcionan señales dependientes de la concentración.

-Insumos fitosanitarios. Cualquier sustancia o mezcla de sustancias y materiales utilizada en el control de plagas de plantas o productos vegetales, como, plaguicidas, aditivos y agentes de control biológico.

-Intoxicación aguda. Cuadro o estado clínico en el cual los efectos adversos ocurren dentro

de un plazo de 24 horas, como resultado de una exposición única o varias repetidas a un plaguicida formulado o a ingrediente activo de grado técnico.

-Intoxicación crónica. Cuadro o estado clínico en el cual los efectos adversos ocurren en los plazos mediano y largo, como resultado de una exposición única o varias repetidas a un plaguicida formulado o a ingrediente activo de grado técnico.

-ISO. Sigla de la International Organization for Standardization (Organización Internacional de Estandarización), que es un sistema de normalización internacional de productos en diversas áreas.

-Isómero. Uno de dos o más compuestos que tienen la misma fórmula química pero diferente disposición de los átomos dentro de las moléculas y que puede tener distintas propiedades físicas y químicas.

-IUPAC. Sigla de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, que es la autoridad que guía el desarrollo de estándares para denominar diferentes compuestos químicos.

-Límite máximo de residuo (LMR). Límite legal superior o máximo de un plaguicida o de sus metabolitos (expresado en mg/kg), que se permite o reconoce como aceptable en o sobre los alimentos y productos agropecuarios para consumo humano o animal, basado en las BPA.

-Lixiviación e índice GUS. Arrastre del plaguicida con el agua de lluvia o riego a través de los poros del suelo por acción de la fuerza de gravedad.

-Metabolito. Ingrediente activo que se degrada total o parcialmente en otra molécula después de un tratamiento. Se forma por las reacciones

químicas producidas mediante el metabolismo de las plantas, las plagas o el suelo.

-Método inmunoenzimático. Método para visualizar y cuantificar antígenos. Utiliza un anticuerpo conjugado con una enzima para unirse al antígeno y esta convierte un sustrato en un producto final observable. El sustrato puede ser un cromógeno o un fluorógeno (40).

-Nanotecnología. Toda tecnología relativa a nuevos materiales, sistemas y procesos que operan a una escala de 100 nanómetros o menos. Supone la manipulación de materiales y la creación de estructuras y sistemas a escala de átomos y moléculas, es decir, a nanoescala.

-Norma ISO. Norma definida por la ISO que se aplica a los productos y servicios.

-Norma ISO 17025. Norma orientada a la evaluación de la conformidad. Contiene los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración (24).

-Norma ISO 9001. Norma internacional elaborada por la ISO que se aplica a los Sistemas de gestión de calidad de organizaciones públicas y privadas, independientemente de su tamaño o actividad empresarial. Se trata de un método de trabajo excelente para la mejora de la calidad de los productos y servicios, así como de la satisfacción del cliente (38).

-Optimización del analito. Adecuación de las condiciones instrumentales y parámetros en un equipo de medición para mejorar la señal analítica o un tiempo de respuesta en el análisis.

-Persistencia. Tiempo durante el cual el plaguicida permanece en el suelo y mantiene su actividad biológica. El tiempo de degradación, que se mide en vida media, es el que debe transcurrir para que la mitad del plaguicida se desactive.

-Plaguicida altamente peligroso. Denominación que actualmente reciben determinados plaguicidas por su alto riesgo de producción de importantes efectos agudos y crónicos en los humanos y el medio ambiente, los cuales suelen figurar en acuerdos o convenios internacionales vinculantes.

-Residuo. Nivel o cantidad de un plaguicida o contaminante químico presente en la planta o el producto vegetal, el agua, el suelo y el aire después de su aplicación por vía aérea o terrestre.

-Sensor químico. Dispositivo que transforma información química (cualitativa, cuantitativa o semicuantitativa) en una señal analíticamente útil (50).

-Síndrome de Colapso de la Colmena. Fenómeno de la primera década del siglo XXI de desaparición abrupta de una cantidad considerable de abejas obreras de las colmenas.

-Solubilidad. Cantidad de un plaguicida que se disuelve en una cantidad determinada de agua.



Bibliografía

1. **Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R., Neitsch, J.G., Kiniry, J.R.** 2002. Soil and water assessment tool user's manual. Texas Water Resources Institute College Station. Texas, U.S.A.
2. **Autoridad Nacional del Ambiente.** 2010. Capacidad agrológica de los suelos. Atlas ambiental de la República de Panamá.
3. **Bănică, F.** 2012. Chemical sensors and biosensors: fundamentals and applications. Trondheim, Norway, Wiley. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118354162>.
4. **Brookman, B., Mann, I.** (eds). 2021. Eurachem Guide: selection, use and interpretation of proficiency testing (PT) schemes. Eurachem. Disponible en: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/EPT_2021_P3_EN.pdf.
5. **Burcu Bahadir, E., & Kemal Sezgintürk, M.** 2015. Applications of electrochemical immunosensors for early clinical diagnostics. Talanta, 132, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.08.063>.
6. **Cheng, E.Y. and Kao, C.H.** 1995. Rapid Bioassay for Pesticide Residues (RBPR) on Fruits and Vegetables. Taiwán.
7. **CIPAC (Consejo Colaborativo Internacional Analítico de Plaguicidas).**1989. Guidelines for Collaborative Study Procedures for Assessment of Performance of Analytical Methods. England. Disponible en: <https://www.cipac.org/images/pdf/study.pdf>.
8. **CIPAC (Consejo Colaborativo Internacional Analítico de Plaguicidas).** 1995. Handbook, Physico-chemical Methods for Technical and Formulated Pesticides, volumen F. England.
9. **CIPAC/FAO/WHO.** 2008. Annual CIPAC/FAO/WHO Report Form on the Quality Control of Pesticides 2008.
10. **Codex Alimentarius.** 2019. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CXS 193-1995. Enmendada en el 2019. Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf.

11. **Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council**. 16 December 2020. On the quality of water intended for human consumption. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj#>.
12. **El País**. 2018. Los insecticidas neonicotinoides son un riesgo para las abejas, según la EFSA. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2018/02/28/ciencia/1519817690_532532.html.
13. **Emmott, R.** 2020. Comisión Europea prohíbe pesticida de Bayer que dañaría a abejas. Reuters. Disponible en: <https://www.reuters.com/article/ue-bayer-pesticida-idLTAKBN1ZC1Z0>.
14. **Endesa X**. 2021. La importancia de la polinización de las abejas. Disponible en: <https://www.endesax.com/es/es/historias/2021/polinizacion-abejas>.
15. **EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)**. Series 860: residue chemistry test guidelines. Washington D. C. Disponible en: <https://www.epa.gov/test-guidelines-pesticides-and-toxic-substances/series-860-residue-chemistry-test-guidelines>.
16. **EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)**. 2022. Chemicals evaluated for carcinogenic potential. Washington D. C. Disponible en: http://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf.
17. **EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)**. 2022. Ground water and drinking water: National Primary Drinking Water Regulations. Washington D. C. Disponible en: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>.
18. **ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S. A.)**. 2015. Datos de estaciones de hidrometeorología: base de datos de la Empresa de Transmisión Eléctrica S. A. Panamá. Disponible en: <https://www.imhpa.gob.pa/es/clima-historicos>.
19. **Fanjul-Bolado, P., Queipo, P., Lamas-Ardisana, P. J., & Costa-García, A.** 2000. Manufacture and evaluation of carbon nanotube modified screen-printed electrodes as electrochemical tools. *Talanta*, 74(3), 427–433. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.07.035>.
20. **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura); OMS (Organización Mundial de la Salud)**. 2015. Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/Code_Spanish_2015_Final.pdf.
21. **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura); OMS (Organización Mundial de la Salud)**. 2017. Especificaciones de Plaguicidas. Roma. En: <https://www.fao.org/3/I5713s/I5713s.pdf>.
22. **Gutiérrez de Salazar, M.** 2016. Inhibidores de la colinesterasa en urgencias toxicológicas. Disponible en: <https://encolombia.com/medicina/guiasmed/u-toxicologicas/inhibidores-de-la-colinesterasa/>.
23. **International Agency for Research on Cancer (IARC)**. 2020. Agents classified by the IARC monographs. Vol. 1-127. Disponible en: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications/>.

24. **ISO (Organización Internacional de Normalización)**. 2017. ISO/IEC 17025:2017(es): requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-3:v2:es>.
25. **ISO (Organización Internacional de Normalización)**. 2015. ISO 9001:2015(es): sistemas de gestión de la calidad: requisitos. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>.
26. **IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)**. 2019. Compendium of chemical terminology. Disponible en: <https://doi.org/10.1351/goldbook>.
27. **Marcelino, L., Espinosa, J.** 2005. Efectos tóxicos del cobre sobre plantas de arroz. Barú, Panamá, 1999. Ciencia Agropecuaria, (18), 65-80. Disponible en: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/243/196>.
28. **Martínez López, SN.** 2018. Perfil clínico y epidemiológico de pacientes intoxicados por inhibidores de colinesterasa que consultaron en el Hospital Nacional de Niños Benjamin Bloom de enero 2010 a diciembre 2016. El Salvador. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/22351/1/490-11105863.pdf>.
29. **MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario)**. 1996. Ley 47 de 9 de julio de 1996 que crea medidas de protección fitosanitaria y se adoptan otras disposiciones. Panamá, Gaceta Oficial 23078.
30. **MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario)**. 1997. Resuelto n.º 74 del 18 de septiembre de 1997, que establece el listado de 61 plaguicidas prohibidos en la República de Panamá. Panamá.
31. **MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario)**. 2004. Resuelto n.º ALP-09-ADM-04 de 30 de abril de 2004, que adopta el Manual de Procedimiento para la colecta, envasado, manejo y transporte de muestras a utilizarse en el control de la calidad de formulaciones químicas de plaguicidas, y límites para la aceptación de lotes. Panamá.
32. **MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario)**. Resuelto n.º 015- ADM-2010, de 12 de abril de 2010. Establece la prohibición en el territorio nacional del ingrediente activo carbofurán. Panamá.
33. **MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario)**. 2010. Resuelto n.º 16 de 20 de abril de 2010, "Manual de procedimiento n.º DNSV-DA-001-10. Panamá.
34. **MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario)**. Resuelto n.º 024- ADM-2011, de 10 de junio de 2011. Establece la prohibición de productos de aplicación agrícola formulados a base de 11 diferentes ingredientes activos y la inclusión de 13 ingredientes activos plaguicidas y sus formulaciones en el listado de insumos fitosanitarios restringidos en la República de Panamá. Panamá.
35. **MINSA (Ministerio de Salud)**. 2007. Decreto Ejecutivo n.º 467 de 7 de noviembre de 2007, por el cual se dicta el Reglamento Sanitario que establece los límites máximos de residuos de plaguicidas y otros contaminantes en frutas y vegetales de consumo nacional y de exportación. Panamá, Gaceta Oficial, Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/25932/GacetaNo_25932_20071204.
36. **MINSA. (Ministerio de Salud)**. 2009. Resolución n.º 210 de 27 de mayo de 2009, por medio de la cual se prohíbe la comercialización, uso y consumo de productos cuyo principio activo sea el Lindano

(gamma hexacloruro de benceno), así como la utilización en forma de materia prima para fabricación de productos terminados. Panamá, Gaceta Oficial Digital. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/26328/18978.pdf>.

37. **Morillas, P.P. y colaboradores.** 2016. Guía Eurachem: la adecuación al uso de los métodos analíticos: una guía de laboratorio para validación de métodos y temas relacionados. Eurolab España. Disponible en: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_ES.pdf.

38. **Navarro, J.** 2014. Definición de ISO 9001. Definición ABC. Disponible en: <https://www.definicion-abc.com/negocios/iso-9001.php>.

39. **OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos)** OECD series on principles of good laboratory practice (GLP) and compliance monitoring. París, Francia.. Disponible en: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/oecdseriesonprinciplesofgoodlaboratorypracticeglpandcompliancemonitoring.htm>.

40. **OpenStax.** 2022. 20.4: inmunoensayos enzimáticos (EIA) y ensayos inmunoabsorbentes ligados a enzimas (ELISA). LibreTexts. Disponible en: [https://espanol.libretexts.org/Biologia/Microbiolog%C3%ADa/Microbiolog%C3%ADa_\(OpenStax\)/20%3A_An%C3%A1lisis_de_Laboratorio_de_la_Respuesta_Inmune/20.04%3A_Inmunoensayos_enzim%C3%A1ticos_\(EIA\)_y_ensayos_inmunoabsorbentes_ligados_a_enzimas_\(ELISA\)](https://espanol.libretexts.org/Biologia/Microbiolog%C3%ADa/Microbiolog%C3%ADa_(OpenStax)/20%3A_An%C3%A1lisis_de_Laboratorio_de_la_Respuesta_Inmune/20.04%3A_Inmunoensayos_enzim%C3%A1ticos_(EIA)_y_ensayos_inmunoabsorbentes_ligados_a_enzimas_(ELISA)).

41. **Palomino, M., Villaseca, P., Cárdenas, F., Ancca, J., Pinto, M.** 2008. Eficacia y residualidad de dos insecticidas piretroides contra *Triatoma infestans* en tres tipos de viviendas: evaluación de campo en Arequipa, Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública 25(1). Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000100003.

42. **Pérez-Fernández, B., Mercader, J., Checa-Orrego, B., De la Escosura-Muñiz, A., Costa-García, A.** 2019. A monoclonal antibody-based immunosensor for the electrochemical detection of imidacloprid pesticide. Analyst 144 (9), 2936-2941.

43. **Pérez-Fernández, B., Mercader, J.V., Abad-Fuentes, A., Checa-Orrego, B., De la Escosura-Muñiz, A., Costa-García, A.** 2020. Direct competitive immunosensor for Imidacloprid pesticide detection on gold nanoparticle-modified electrodes. Talanta 209, 120465.

44. **Pino Vázquez, A., Brezmes Raposo, M.** 2021. Intoxicación por organofosforados. Protocolos Diagnósticos y Terapéuticos en Pediatría 1, 793-801. Disponible en: https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/55_intoxicacion_organofosforados.pdf.

45. **Pittí, A., Gaudin, Y., Hess, S.** 2021. Caracterización de los espacios rurales en Panamá a partir de estadísticas nacionales: enfoque social, económico y demográfico. CEPAL. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46797/1/S2100206_es.pdf.

46. **Quintero, E.** Uso de modelo de simulação como mecanismo para determinar o efeito de pesticidas e poluentes em ecossistemas agrícolas: implementação na bacia alta do rio Chiriquí Viejo, província de Chiriquí, Panamá. Submetido à revista Bragantia, SP. Brasil, para publicação em 2022.

47. **Requena, J.L. Checa, B.** 2009. Cartel: application of rapid bioassay of pesticide residues on fruits and vegetables as a complement to conventional chemical analysis techniques. Segundo Taller Latinoamericano sobre Residuos de Plaguicidas en Alimentos y Medio Ambiente (LAPRW-2009). Santa Fe, Argentina.
48. **Requena, J.L.** 2022. Guía Técnica: Uso de plaguicidas en Panamá: indicación de riesgos e implementación de medidas de mitigación. Panamá, MIDA. Disponible en: https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2022/04/GUIATECNICAMIDA_PLAGUICIDAS.pdf.
49. **Rotariu, L., Lagarde, F., Jaffrezic-Renault, N., Bala, C.** 2016. Electrochemical biosensors for fast detection of food contaminants - trends and perspective. TrAC - Trends in Analytical Chemistry, 79, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.12.017>.
- 50 **Thévenot, D., Toth, K., Durst, R., Wilson, G.** 2001. Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. ELSEVIER: biosensors and bioelectronics, vol. 16, 121-131. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956566301001154>.
51. **UH (University of Hertfordshire). PPDB.** Base de datos sobre las propiedades de los plaguicidas. Disponible en: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>.
52. **United Nations Environment Programme and the World Health Organization (UNEP/WHO).** 2013. State of the science of endocrine disrupting chemicals 2012. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/78102>.
53. **WHO (Organización Mundial de la Salud).** 2017. Guidelines for drinking-water quality. Fourth Edition incorporating the first addendum. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf>.

