

LOS PLAGUICIDAS AGRÍCOLAS Y SU POTENCIAL IMPACTO AMBIENTAL



Ing. Agr. (MSc) Saturnino Nuñez
Ing. Agr. (MSc) Diego Maeso
INIA Las Brujas

INTRODUCCIÓN

En la anterior revista de INIA (N° 21) se analizaron aspectos referidos a exposición y toxicidad de los plaguicidas agrícolas. Como fuera mencionado, el elemento clave para disminuir su impacto negativo es manejar adecuadamente la exposición de los distintos seres vivos, por lo tanto la vía más directa para estimar el impacto potencial de un plaguicida es la determinación de su concentración en los distintos compartimentos ambientales y compararla con los valores de toxicidad para organismos indicadores. Esta relación nos da una indicación del “riesgo” de daño que se puede alcanzar.

En un principio se podría suponer que simplemente basta con conocer mediante análisis químicos los niveles de plaguicidas presentes en cada uno de los compartimentos ambientales. Sin embargo, este procedimiento es costoso y sus resultados variables si no se conocen la distribución y el patrón de transporte del plaguicida. Por otro lado, la información obtenida es “a posteriori”, es decir, cuando el daño ya se produjo. Por ese motivo se prefiere la utilización de modelos que predicen las concentraciones ambientales (PEC, Predicted Environmental Concentration, o en español, Concentración Ambiental Predecible). Estos modelos se aplican siguiendo un gradiente de complejidad.

En primera instancia se realizan estimaciones simples que consideran la “peor situación” empleando normalmente valores de tablas. Si estos cálculos no arrojan un riesgo potencial evidente, se considera que ya no existen razones para continuar el estudio. Si por el contrario se encuentran valores que pronostican riesgo potencial, se continúa aplicando modelos más sofisticados que tienden a reproducir más ajustadamente las condiciones reales. Estos modelos requieren de una validación previa a campo para ser aplicados con certeza.

Otra forma de determinar el impacto de los plaguicidas es la evaluación “in situ” del efecto sobre las comunidades bióticas habitantes del compartimiento ambiental seleccionado. Esta es también una evaluación “a posteriori” y nos da una indicación de la vulnerabilidad del agroecosistema.

Teniendo en cuenta la escasa información existente en el país y la creciente sensibilidad del tema a nivel de la población, INIA inició en 2004 distintos proyectos de investigación, que, a través de diferentes enfoques, pretendieron generar información objetiva en el tema.

Dado que los cultivos intensivos como frutales y hortalizas son los rubros que hacen un mayor uso de plaguicidas, en ellos se realizaron los primeros estudios. Estos cultivos hipotéticamente provocarían una mayor exposición del ser humano a plaguicidas, tanto como aplicador o como consumidor de frutas y hortalizas. Son cultivos que además están concentrados en ciertas regiones, con lo cual podrían producir a nivel de cuencas de primer orden, una alta exposición de organismos acuáticos y terrestres a plaguicidas. En resumen, al ser ésta la situación en la que los plaguicidas podrían potencialmente ocasionar mayor contaminación por unidad de super-



Figura 1 - Esquema de procedimientos básicos de determinación de riesgo de plaguicidas.

ficie, se puede suponer que la exposición provocada por el resto de los cultivos agrícolas sea menor.

En la Figura 1 se muestra la ruta metodológica general aplicada en nuestros estudios para llegar a los resultados que se presentan a continuación. La exposición a plaguicidas se estimó mediante análisis químicos de los niveles de residuos de plaguicidas en los distintos compartimentos ambientales. Se emplearon además algunos modelos de predicción de la concentración de plaguicidas (PEC).

La evaluación del riesgo se hizo mediante la comparación de estos valores con parámetros toxicológicos tabulados, de organismos indicadores estándar. Paralelamente, estos resultados fueron comparados con determinaciones biológicas específicas "in situ" como la determinación de índices de diversidad (de organismos aéreos o terrestres) y la utilización de organismos bioindicadores (bioensayos).

INFORMACIÓN EXPERIMENTAL OBTENIDA

A los efectos de lograr una mayor claridad en la presentación de la información experimental, la misma se agrupa según los grupos de exposición potencial: seres humanos, organismos acuáticos y organismos terrestres.

Exposición del ser humano

Los seres humanos pueden estar expuestos a plaguicidas por dos vías: como trabajador rural o como consumidor. Hasta el momento la forma más directa de evaluar la exposición del trabajador rural es mediante la determinación en sangre de variaciones en los niveles de una enzima denominada acetilcolinesterasa. Los niveles de esta enzima disminuyen si existe exposición a determinados plaguicidas (insecticidas fosforados y carbamatos).

La principal restricción de este método es que solamente permite evaluar la exposición a esos insecticidas. Este indicador es utilizado, entre otros lugares, en el Estado de Washington, EEUU, donde los aplicadores deben controlarse los niveles de acetilcolinesterasa en períodos de exposición y de no exposición a plaguicidas. Si la variación de estos niveles es superior al 30% se suspende la exposición de los trabajadores a plaguicidas, si es de entre 20 a 30%, la exposición debe ser controlada más frecuentemente, mientras que variaciones inferiores al 20% se consideran normales u ocasionadas por otros factores.

Como uno de los componentes del proyecto "Evaluación del impacto ambiental del uso de plaguicidas en sistemas de producción frutícolas y hortícolas" financiado por el Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT), en el cual participó la División Salud Ocupacional del Ministerio de Salud Pública (MSP), se evaluó durante el 2008 la variación de los niveles de acetilcolinesterasa en sangre en trabajadores y productores rurales, durante períodos de exposición y no exposición a plaguicidas. En estos análisis se incluyó un total de 58 personas relacionadas con distintos cultivos hortifrutícolas y sistemas de producción (orgánica, integrada y convencional). Se encontraron variaciones en los niveles de acetilcolinesterasa superiores al 30% en el 5% de los casos y de entre un 20-30% en el 15% de los casos analizados. Debido a que los trabajadores y productores rurales podían tener exposición con distintos sistemas de producción y distintos cultivos, no fue posible asociar las variaciones detectadas a ningún sistema o cultivo en particular. No obstante, la mayor frecuencia en variación de acetilcolinesterasa se encontró en productores vinculados a cultivos de invernáculo.

Estos resultados no pueden generalizarse ya que el relevamiento no fue diseñado con validez estadística, solamente deben tomarse como el registro de una determinada situación. Pero, teniendo en cuenta que es un



análisis relativamente fácil de realizar en forma masiva, ésta podría ser una herramienta para que los agentes sanitarios correspondientes puedan monitorear el nivel de exposición de los trabajadores y productores rurales a ciertos plaguicidas.

Por su parte, La exposición a plaguicidas del ser humano como consumidor está en función de los niveles de residuos presentes en los alimentos. En nuestro país los límites máximos de residuos de plaguicidas aceptados (LMR) en alimentos son aquellos fijados por el Codex alimentario de la FAO. Según éste, no son considerados nocivos para el ser humano aquellos alimentos en los que los niveles de residuos de plaguicidas presentes no superen determinados valores. En algunos de nuestros trabajos de investigación se determinaron los niveles de residuos de plaguicidas presentes en frutas y hortalizas, provenientes de distintas zonas y sistemas de producción. Los análisis fueron realizados en los laboratorios de la Intendencia Municipal de Montevideo (CAMM, Comisión Administradora del Mercado Modelo y Dirección de Bromatología) y en el laboratorio del Departamento de Farmacognosia de la Facultad de Química.

En la mayoría de las muestras analizadas se detectaron plaguicidas, sin embargo los niveles estuvieron siempre por debajo de los límites fijados por el Codex. Los plaguicidas comúnmente encontrados en duraznos, peras y manzanas fueron captan y carbaril. Ambos son usados habitualmente en precosecha. En tomates, los plaguicidas comúnmente detectados fueron procimidione y clorotalonil, mientras que en zanahoria se detectó clorpirifos. Como era de esperar, no se detectaron residuos de plaguicidas de síntesis en las frutas y hortalizas de producción orgánica.

Independientemente de estos estudios, la CAMM realiza en forma periódica el monitoreo de residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas que se comercializan en el Mercado Modelo. De acuerdo a resultados publicados por la CAMM, desde el inicio de estos monitoreos, en el año 2002, se registró una significativa disminución en el porcentaje de muestras de frutas y hortalizas que no cumplían con los requisitos del Codex, disminuyendo de 7% en los primeros monitoreos a 0,71% en 2006.

Es importante destacar que para que el consumidor disponga de un producto seguro, además de los controles correspondientes, es fundamental el desarrollo de sistemas de trazabilidad que el Estado a través de sus organismos competentes debe promover.

Un problema adicional en el tema de residuos de plaguicidas en productos agrícolas son las diferentes exigencias de los límites máximos de residuos (LMR) que existen entre los mercados internacionales. Esto hace que respetando los tiempos de espera (tiempo entre última aplicación y cosecha) vigentes en nuestro país, a veces no se cumplan con los LMR exigidos en otros mercados, como por ejemplo Europa. Por este motivo, entre otros, INIA financió mediante el Fondo de Promoción de la Tecnología Agropecuaria (FPTA) un proyecto ejecutado por la CAMM para determinar las curvas de disipación (es decir, cómo se degrada un plaguicida en el tiempo) de algunos plaguicidas, en diferentes productos agrícolas (pera, durazno, lechuga y tomate). Esta información permitirá ajustar los tiempos de espera y cumplir con las exigencias diferenciales de los mercados de exportación, disminuyendo el rechazo de productos, tal como ya ha existido en algunos mercados internacionales.

Actualmente se están ejecutando varios proyectos de investigación en esta temática a cargo de distintas instituciones, lo cual mejorará la información existente. Sin embargo, es conveniente que se implemente un mecanismo formal de coordinación de la investigación con roles y protocolos bien definidos, de forma que los resultados obtenidos sean homologados por los organismos oficiales y sirvan de respaldo a los productores.

Exposición de organismos acuáticos

Durante la temporada 2004-05 se llevaron a cabo estudios en diferentes microcuencas con concentración importante de cultivos hortifrutícolas con la finalidad de determinar el potencial impacto de los plaguicidas sobre organismos acuáticos. Para ello se utilizaron diferentes herramientas de evaluación: 1) monitoreo de residuos





de plaguicidas en aguas de escurrimiento superficial, 2) ensayos biológicos con organismos indicadores, y 3) modelos de predicción de concentración de plaguicidas en aguas superficiales. Los resultados obtenidos ya se han presentado en artículos anteriores y, resumidamente, se puede mencionar que no se detectaron residuos de plaguicidas en agua en ninguno de los análisis químicos practicados. Sin embargo, el modelo de destino aplicado (Soil-fug) mostró que durante algunos períodos en el año, en la cañada del Dragón de la zona de Melilla pueden presentarse niveles de metilazinfos y mancozeb potencialmente tóxicos para *Daphnia magna*. Los ensayos biológicos practicados con agua de dicha cañada también provocaron toxicidad crónica en *Daphnia magna*.

La falta de coincidencia entre las diferentes herramientas de evaluación utilizadas está indicando la necesidad de mejorar la metodología empleada. A esos efectos, desde el 2008 está en ejecución un proyecto conjunto entre INIA, JICA (Agencia de Cooperación Internacional de Japón) y DGSSAA (Dirección General de Servicios Agrícolas, MGAP), con el objetivo de ajustar un modelo para estimar el escurrimiento superficial de plaguicidas para nuestras condiciones que luego será utilizado además para el registro de plaguicidas ante la DGSSAA. Entre las actividades ya cumplidas se ha evaluado el escurrimiento de diferentes plaguicidas en parcelas experimentales diseñadas especialmente en suelos agrícolas representativos con un 2% de pendiente (figura 2), demostrando los primeros resultados importantes diferencias. Luego de producir artificialmente un escurrimiento de 1,5 lts/m², a las 24 horas de aplicación de los plaguicidas, se detectó una tasa de escurrimiento de: 0,08% para el clorpirifos, 2,6% para glifosato y 3,6% para el metilazinfos. Estos resultados muestran importantes diferencias, que en general, coinciden con las propiedades físicas de los plaguicidas evaluados.

La continuación y ampliación de estos estudios nos permitirá desarrollar modelos PEC ajustados a nuestras condiciones.

Paralelamente INIA está colaborando con el proyecto AR-CAL/5/053 a cargo de la CAMM, en el cual, además de ajustar la metodología de muestreo de aguas de escurrimiento superficial, se valida un modelo de evaluación de riesgo de escurrimiento superficial de plaguicidas (PIRI).

Exposición de organismos terrestres (hipogeos)

Teniendo en cuenta que el suelo es un destino importante de los plaguicidas, ya sea por aplicación directa o por lavado de lluvia desde las plantas, uno de los objetivos planteados durante la ejecución de varios proyectos, fue la determinación de los niveles de residuos de plaguicidas en suelo. Para esto se analizaron muestras de suelo tomadas de los 5 cm superiores en distintos cultivos frutícolas y hortícolas, principalmente en manzana, pera, durazneros, vid, tomate y zanahoria. Se tomaron en cuenta además sistemas de producción con distinta intensidad de uso de plaguicidas (convencional, integrado y orgánico).

En tomate, los plaguicidas más comúnmente encontrados en suelo fueron clorotalonil y clorpirifos, mientras que en cultivos de zanahoria el plaguicida más frecuentemente encontrado fue clorpirifos. En los predios frutícolas, al final de cada temporada de crecimiento (marzo) se detectaron residuos de varios plaguicidas, no obstante los mismos desaparecieron durante el transcurso del invierno.

Metil paration fue el plaguicida más detectado en suelos frutícolas. Según las tablas consultadas, los niveles de residuos de los plaguicidas detectados siempre fueron muy inferiores a los niveles tóxicos para la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*).

En los proyectos ejecutados se aplicaron varios modelos de predicción de la concentración en suelo. Los niveles estimados por éstos tampoco alcanzaban valores tóxicos para lombrices de tierra. Esto ocurrió incluso considerando la peor situación, es decir estimando la concentración del plaguicida en los 5 cm superiores del suelo sin considerar la degradación ni la intercepción del cultivo.



Figura 2 - Parcelas de evaluación de escurrimiento de plaguicidas en INIA Las Brujas.

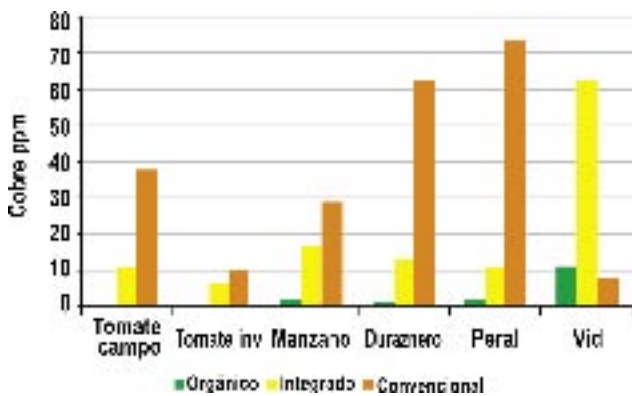


Figura 3 - Niveles de residuos de cobre en suelos con distintos cultivos y distintos sistemas de producción

La mayoría de los plaguicidas utilizados en la actualidad son degradados por microorganismos o factores climáticos, en días, semanas o, a lo sumo meses. Sin embargo, en el pasado se han utilizado plaguicidas altamente persistentes como lo fueron los insecticidas clorados. A pesar de que éstos no son usados desde hace más de 30 años, algunos de los análisis realizados detectaron aún residuos de ellos o de sus metabolitos en suelo. Los lugares en que más frecuentemente se encontraron residuos fueron en aquellos en los que se practica agricultura desde hace muchos años, como las zonas frutícolas.

Actualmente todavía se usan plaguicidas que no se degradan como por ejemplo los productos cúpricos. Estos, si bien no son productos de síntesis, en función de su frecuencia y magnitud de uso sumado a su no degradación, se acumulan en el suelo. Si bien el cobre es un elemento que se encuentra naturalmente en el suelo, en algunos de los suelos analizados los niveles detectados pueden ser potencialmente peligrosos, fundamentalmente para la actividad de algunos microorganismos de suelo. Independientemente del sistema de producción evaluado, los mayores niveles de cobre se detectaron en los suelos frutícolas (Figura 3).

Esto se debería a que estos productos se han usado durante muchos años en el mismo terreno y, a altas dosis. Si bien, a excepción de la viña, los sistemas de producción convencional mostraron los mayores niveles de cobre en suelo, debemos tener en cuenta que los residuos detectados son la consecuencia de la historia de uso del suelo más que del sistema de producción actualmente utilizado.

Como ya fue mencionado, la determinación del impacto de los plaguicidas puede valorarse también mediante su efecto sobre la biodiversidad. Para evaluar el índice de diversidad de la macrofauna de suelo se realizaron muestreos en distintos cultivos y sistemas de producción con diferente intensidad de uso de plaguicidas (producción convencional, integrada y orgánica).

En cada muestra se registraba la macrofauna perteneciente a distintos grupos. De acuerdo al número de

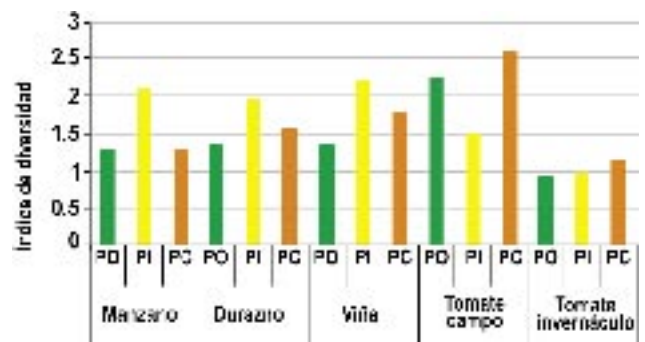


Figura 4 - Índices de diversidad de macrofauna de suelo según cultivo y sistema de producción. PO: producción orgánica, PI: producción integrada, PC: producción convencional.

grupos y al número de individuos por grupo se calculó el índice de diversidad de Shannon. Si bien el índice de diversidad obtenido fue algo mayor en algunos de los cultivos de producción integrada, no existieron tendencias claras que permitan concluir diferencias entre los sistemas de producción (Figura 4).

Estos resultados coinciden con la información obtenida en cuanto a que los niveles de residuos de plaguicidas detectados o estimados por modelos, no alcanzarían niveles nocivos para la macrofauna del suelo.

Exposición de organismos terrestres (Epigeos)

También se compararon sistemas de producción con distinta intensidad de uso de plaguicidas (producción orgánica, integrada y convencional) a los efectos de conocer el impacto de estos sobre la biodiversidad de artrópodos aéreos habitantes de los cultivos. Para ello, mediante un equipo de succión (Figura 5) se colectaron



Figura 5 - Equipo de succión utilizado para capturar artrópodos aéreos.

artrópodos aéreos en períodos con diferente exposición a plaguicidas (diciembre-enero y marzo-abril).

Los artrópodos colectados fueron clasificados por familia, calculándose los índices de diversidad correspondientes. Las colectas realizadas durante el período de mayor intensidad de uso de plaguicidas (diciembre-enero) mostraron los menores índices de diversidad en producción convencional y los mayores en producción orgánica. Los predios que aplicaban el sistema de producción integrada presentaron valores intermedios en su índice de diversidad (Figura 6).

Al final del ciclo de crecimiento de los cultivos (marzo-abril), existió una tendencia a disminuir el índice de diversidad tanto para producción orgánica como para producción integrada. Esto se debe fundamentalmente a que en esa época del año normalmente disminuye la abundancia de muchos grupos de artrópodos. En el caso de producción convencional existe una tendencia a aumentar el índice de diversidad hacia marzo-abril. Probablemente esto se deba a que al final de la estación disminuye significativamente el uso de plaguicidas. Estos resultados indicarían también la capacidad de recuperación de los sistemas.

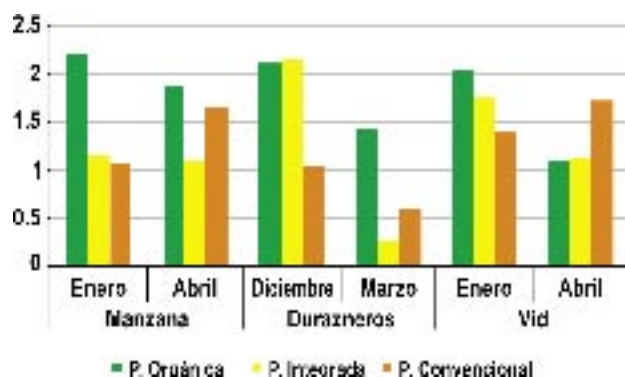


Figura 6 - Índices de diversidad de artrópodos aéreos según cultivo, sistema de producción y período.

CONSIDERACIONES FINALES

• Los niveles de plaguicidas detectados en los trabajos de investigación, en concordancia con los últimos monitoreos realizados por la CAMM en frutas y hortalizas pueden considerarse dentro de los márgenes satisfactorios. No obstante, para mantener y mejorar esta tendencia, es necesario no sólo mantener y ampliar los monitoreos sino implementar además un sistema de trazabilidad en frutas y hortalizas que permita identificar el origen de los incumplimientos. Es necesario también generar información nacional que facilite, a nivel de campo, tomar medidas para cumplir con las exigencias de los distintos mercados en los límites máximos de residuos (LMR) de los alimentos.

• De acuerdo a los niveles de residuos de plaguicidas detectados y estimados en suelo, el manejo realizado en los casos estudiados no ocasionaría un efecto adverso significativo sobre la macrofauna del suelo. No obstante debe evitarse el uso reiterado en un mismo lugar, de plaguicidas persistentes como los cúpricos.

• Los resultados obtenidos en los sistemas acuáticos alertan sobre cierto daño potencial ocasionado por las actividades frutícolas en una de las cuencas estudiadas. De acuerdo a este antecedente podría ser necesario la ejecución de estudios similares, fundamentalmente en aquellas cuencas agrícolas en que, al igual que la cuenca frutícola, exista alta concentración de cultivos y escasa diversidad de usos.

• Como era de esperar, las comunidades de artrópodos aéreos habitantes de los cultivos estudiados, son claramente afectadas por la intensidad de uso de plaguicidas. Existe sin embargo cierta capacidad de recuperación de las mismas al suspender la aplicación de plaguicidas.

• Tomando en cuenta el espectacular desarrollo que ha sufrido la agricultura extensiva en el país creemos necesario iniciar investigaciones similares en dichos cultivos, los cuales si bien tienen una menor intensidad de uso de plaguicidas, tienen gran significación por la magnitud del área plantada. Seguramente el impacto por unidad de superficie será menor, pero de acuerdo a la superficie ocupada y la escasa diversidad de cultivos en algunas zonas, será muy importante diagnosticar adecuadamente su situación ambiental.

• Las actividades de investigación descritas en este reporte, han permitido, además de generar información, ajustar la metodología de investigación, lo cual permitirá avanzar más rápidamente en posteriores estudios. En los futuros trabajos de investigación, desde el punto de vista metodológico, deberá prestarse especial atención al ajuste de técnicas de monitoreo de plaguicidas, al desarrollo de modelos de predicción de concentración de plaguicidas según compartimentos ambientales y a la evaluación de riesgo según los diferentes escenarios agrícolas del país.

Participaron en los trabajos presentados en este artículo: F. Gemelli (CAMM, IMM), E. Egaña (Lab de Bromatología, IMM), J. Espínola y F. Lorenzo (IMM Laboratorio de Higiene Ambiental), H. Heinzen (Facultad de Química), C. Cabrera y G. Gallietta (Facultad de Agronomía), S. Zerbino (INIA), C. Ciganda (Salud Ocupacional MSP), S. Gonda y S. Takahashi (expertos JICA), H. Ferrazzini, G. Fiorentino, A. Chouy y S. Franchia (DGSSAA, MGAP), N. Casco, P. Conde, F. Duarte, P. Nuñez e I. Mieres (pasantes y becarios en INIA) y, por supuesto todos los productores y técnicos asesores que colaboraron desinteresadamente con estas actividades.