

# Plaguicidas en el ambiente

Virginia Aparicio  
Eliana S. Gonzalo Mayoral  
José Luis Costa



**INTA** || Ediciones

*Colección*  
**DIVULGACIÓN**



# Plaguicidas en el ambiente

*Editores:*

*Virginia Aparicio*

*Eliana S. Gonzalo Mayoral*

*José Luis Costa*



Ministerio de Agroindustria  
Presidencia de la Nación

Plaguicidas en el ambiente / editado por Virginia C. Aparicio ; Eliana S. Gonzalo Mayoral y José Luis Costa; editor literario Gloria Kaspar; revisor Adrián Andriulo - 1a ed. - Buenos Aires: Ediciones INTA, 2017.  
156 p.; 24 x 17 cm.

ISBN 978-987-521-880-2

1. Suelos. 2. plaguicidas. 3. Producción. I. Andriulo, Adrián Enrique, colab. II. Aparicio, Virginia Cecilia, ed. III. Costa, José Luis, ed. IV. Kaspar, Gloria, ed. Lit. V. Título.  
CDD 632

1ª. Edición

Ediciones INTA, 2017

Cantidad de ejemplares: 100

IMPRENTA “ EL VIKINGO ”



© 2017, Ediciones INTA

Libro de edición argentina

Todos los derechos reservados. No se permite la reproducción total o parcial, la distribución o la transformación de este libro, en ninguna forma o medio. Ni el ejercicio de otras facultades reservadas sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes vigentes.

## **El Programa Nacional de Suelo de INTA: un pionero en la investigación de plaguicidas en el ambiente**

*Dr. Adrian Andriulo*

Desde mediados de la década de 1990, y en coincidencia con los cambios registrados en la agricultura pampeana, nuestra Institución comenzó los estudios relacionados con el impacto ambiental derivado del uso de los plaguicidas.

Numerosos especialistas en Ciencia del Suelo que participaron en el análisis de la evolución de los suelos del mundo (2006) señalaron que todos los escenarios predicen una disminución de la productividad edáfica en las áreas tropicales y subtropicales, y que la contaminación por carga de plaguicidas se incrementará (con seguridad de media a alta) mientras la población (y sus requerimientos de alimentos) continuará creciendo. Nuestro mundo está enfrentando, simultáneamente, una escasez de agua y petróleo (factores muy importantes en la agricultura moderna). En Argentina, la intensificación de los sistemas productivos es más reciente: comenzó desde inicios de la década de 1990 en la región pampeana húmeda y subhúmeda, y un poco más tarde se fue extendiendo hacia zonas semiáridas y regiones extra pampeanas, especialmente NOA y NEA. Pareciera que el corrimiento de la frontera agropecuaria todavía no encontró su límite, aunque se haya desacelerado desde 2012. Por lo tanto, es esperable que en un futuro próximo, coexistan áreas con intensificación

creciente, acompañadas por la incorporación acelerada de otras, consideradas anteriormente como marginales, como por ejemplo el NO de la Patagonia, la cuenca del Río Salado, los bajos submeridionales, los valles escarpados ubicados en regiones andinas. En nuestro país, mundialmente reconocido por su rol como proveedor de productos primarios agropecuarios, el suelo, paradójicamente, ha sido descuidado y sus funciones potenciales de filtrado, amortiguación, depuración y regulación de los ciclos biogeoquímicos no han sido lo suficientemente valoradas y estudiadas. El Programa Nacional Suelo está focalizado en el estudio de procesos que conduzcan a sistemas de producción alternativos, de bajos “inputs”, que estimulen el poder de reciclado edáfico, mejoren o mantengan la calidad del agua y del aire, mejoren la estabilidad en la productividad y contribuyan al desarrollo de tecnologías para recuperar suelos degradados. En este contexto, a largo plazo, busca: i) incrementar la productividad de los suelos para mantener la producción de alimentos, ii) rehabilitar ecosistemas degradados, iii) evitar ‘efectos colaterales’ y iv) proveer técnicas sustentables de manejo de suelos económicamente aceptables.

### **Evolución del estudio de plaguicidas desde el enfoque ambiental en el INTA**

Desde mediados de los años 90, los Grupos de Suelos de las Estaciones Experimentales Agropecuarias (EEA) Balcarce y Pergamino

redefinieron sus objetivos, en coincidencia con el nuevo proceso de intensificación regional. Rápidamente, se ubicaron entre los primeros grupos de trabajo que se ocupan de los problemas del ambiente y a ellos se fueron incorporando otros grupos de EEA, fundamentalmente de la región pampeana (Periodo: 2001-2004, Proyectos de contaminación agropecuaria).

En el periodo 2006-2012, con otra figura programática, esta vez desde el Área Estratégica de Gestión Ambiental (AEGA), se abordó esta temática relativamente nueva en nuestra institución, que era considerada como una gran área de vacancia. El estudio debía ser contemplado en el largo plazo y abarcar grandes escalas espaciales; por lo tanto, se inició una construcción del conocimiento que contemplaba interdisciplinariedad e interinstitucionalidad. De esta forma, se logró alcance nacional y los resultados buscaban orientar a las empresas agropecuarias a conciliar una agricultura de altos rendimientos, competitiva y de calidad, con la protección y mejoramiento del ambiente.

La línea de trabajo pasó y pasa por evaluar el estado de los recursos, estudiar los procesos de contaminación, el grado de compromiso ambiental y brindar pautas para la rehabilitación o adecuación de los agro sistemas, en áreas donde ocurre una rápida expansión de la intensificación.

Durante el período 2003-2009, para atender la demanda creciente en la temática por parte del sector productivo, la sociedad en general y el

INTA en particular, en función de la mayor disponibilidad de recursos humanos, infraestructura y equipamiento, el ámbito de intervención se centralizó principalmente en la región pampeana, de acuerdo a sus problemas y oportunidades. Se consideró necesario que esta concentración continuase hasta disponer de metodología definitiva que pudiera ser extrapolada hacia otras ecorregiones con procesos de degradación similares. No obstante, participó personal perteneciente a áreas extra-pampeanas, cuyos principales objetivos fueron familiarizarse y/o ajustar metodología específica.

Los resultados más destacados del periodo fueron:

- Cuantificación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, como paso previo a la evaluación del riesgo de contaminación por plaguicidas.
- Comprensión del comportamiento de algunos plaguicidas en el suelo (adsorción, persistencia o vida media y lixiviación o lavado a través del perfil del suelo).
- Construcción de estaciones de monitoreo de agua subterránea a nivel de cuenca.
- Adaptación de los laboratorios para estudios ambientales.
- Incorporación y formación de recursos humanos.
- Equipamiento especializado.
- Capacitación.

**Proyecto Propio de la Red (2010-2012): Desarrollo de conocimiento y tecnologías para mitigar la contaminación de suelo y agua bajo producción agropecuaria**

Área Estratégica: GESTION AMBIENTAL

Objetivo General:

Elaborar sistemas productivos con buen funcionamiento eco hidrológico, determinando y validando el riesgo de contaminación por nutrientes y plaguicidas en acuíferos y aguas superficiales y desarrollando estrategias para la detección rápida y poco costosa de plaguicidas y para el correcto manejo de los residuos orgánicos.

Objetivos Específicos: *i.* Estimar el riesgo de contaminación por nutrientes, plaguicidas y residuos orgánicos bajo sistemas de producción agropecuaria intensivos en diferentes cuencas y desarrollar tecnologías de producción mitigadoras; *ii.* Generar un sensor para el muestreo y cuantificación de plaguicidas en aguas subterráneas recurriendo a la nanotecnología; *iii.* Elaborar guías de buenas prácticas ambientales; *iv.* Realizar cursos de capacitación.

En 2010-2012 se logró:

- Extender el estudio de cargas contaminantes por plaguicidas a nivel de cuencas para evaluar el riesgo de contaminación bajo sistemas de producción agropecuaria.

- Profundizar el estudio sobre el comportamiento de glifosato, imazapir y otros plaguicidas en el medioambiente.
- Ajustar tecnologías para la determinación de analitos en matrices complejas, utilizando dispositivos que ocupan un mínimo espacio y de bajo costo (nanotecnología para la determinación de glifosato).
- Generar recomendaciones de buenas prácticas ambientales y sistemas soportes a la decisión.

En este periodo se ajustó un nuevo equipamiento de cromatografía líquida de ultra alta presión acoplada en tándem con espectrometría de masa (UHPLC/MSMS) para la determinación de multiresiduos de plaguicidas para diferentes matrices, lográndose una buena calidad analítica para determinar un amplio número de plaguicidas. Los resultados obtenidos en este periodo fueron publicándose posteriormente.

Las acciones más recientes emprendidas por el PNSuelo consisten en la búsqueda de agro ecosistemas preparados para la transición agroecológica, como estrategia para reducir dosis de plaguicidas y aumentar su retención y/o degradación en el suelo luego de cumplir con su objetivo. Para ello, se están evaluando nuevos sistemas de cultivo, módulos agroecológicos, diseñando sistemas multifuncionales (cultivos bioenergéticos, cultivos forrajeros y cultivos de granos) y sistemas agroforestales.

## Índice

|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>PRESENCIA DE PLAGUICIDAS, BIODIVERSIDAD, TOXICOLOGÍA.....</b>          | <b>10</b>  |
| EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO DE PLAGUICIDAS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS    |            |
| PAMPEANOS: IMPACTOS ESTIMADOS SOBRE LA COMUNIDAD DE PECES.....            | 11         |
| DIECISIETE AÑOS DE ALGODÓN TRANSGÉNICO EN ARGENTINA: EVOLUCIÓN DEL USO DE |            |
| AGROQUÍMICOS .....                                                        | 33         |
| LOS PLAGUICIDAS AGREGADOS AL SUELO Y SU DESTINO EN EL AMBIENTE .....      | 50         |
| <b>SALUD HUMANA, LEGISLACIÓN Y APROBACIÓN DE PLAGUICIDAS EN</b>           |            |
| <b>ARGENTINA.....</b>                                                     | <b>64</b>  |
| MODELOS PRODUCTIVOS Y SALUD .....                                         | 65         |
| LA SALUD HUMANA Y EL RÉGIMEN LEGAL DE APROBACIÓN Y CONTROL DE PLAGUICIDAS |            |
| .....                                                                     | 74         |
| <b>MANEJO AGRONÓMICO, MANEJO ECOLÓGICO Y BIORREMEDIACIÓN .....</b>        | <b>90</b>  |
| AGRICULTURA EXTENSIVA: ¿OTRO MODELO ES POSIBLE? .....                     | 91         |
| BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CON ACTINOBACTERIAS.....                        | 111        |
| PLAGUICIDAS EN EL AMBIENTE: LA VISIÓN DEL PROGRAMA NACIONAL DE PROTECCIÓN |            |
| VEGETAL .....                                                             | 134        |
| AMBIENTE Y PRODUCCIÓN: REFLEXIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS  |            |
| .....                                                                     | 140        |
| <b>CONSIDERACIONES FINALES.....</b>                                       | <b>148</b> |

**Presencia de Plaguicidas, Biodiversidad, Toxicología**

## **Evaluación de riesgo ecológico de plaguicidas en ecosistemas acuáticos pampeanos: impactos estimados sobre la comunidad de peces**

*Dr. Pedro Carriquiriborde*

*Profesor Adjunto UNLP - Investigador Independiente CONICET*

*Centro de Investigaciones del Medio Ambiente*

*Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de la Plata*

### **Introducción**

El importante desarrollo que ha tenido la agricultura en las últimas décadas en Argentina, principalmente en relación al cultivo de soja genéticamente modificada, ha llevado a la expansión de la frontera agrícola, incrementando el número de hectáreas sembradas desde 40.000 en los 70's más de 38 millones en la actualidad, entre oleaginosas, cereales y otros cultivos (MA, 2016). Ello ha traído aparejado el consecuente aumento en el uso de agroquímicos, con la introducción en el mercado de más de 300 millones de kg/l de fitosanitarios (CASAFE, 2012). La introducción de tales volúmenes de plaguicidas en el ambiente representa un riesgo para la salud humana y la de los ecosistemas, y debe ser evaluado con el objeto de brindar información y herramientas de gestión a los organismos reguladores.

En particular, los ecosistemas acuáticos suelen actuar como destino final de las sustancias que ingresan al ambiente, resultando especialmente vulnerables y de interés para detectar potenciales impactos adversos. Dentro de estos ecosistemas, los peces constituyen la comunidad más conspicua, dado que ocupan gran variedad de nichos tróficos y estrategias de vida y generalmente representan la mayor biomasa del sistema. Además, constituyen el mayor grupo de vertebrados cuyo ciclo de vida es completamente acuático, y poseen gran relevancia para el hombre por ser un importante recurso debido a su pesca comercial y deportiva.

En virtud de ello, desde hace más de una década, desde el Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CIMA) se han venido realizando estudios para evaluar el posible riesgo de los plaguicidas sobre los ecosistemas acuáticos de la región pampeana, y en particular utilizando a los peces como organismos centinela. El objetivo del presente trabajo es realizar un resumen de los resultados obtenidos a partir de estudios de laboratorio y de campo tendientes a evaluar, específicamente, los potenciales efectos de los plaguicidas sobre la comunidad de peces y, de forma general, sobre los ecosistemas acuáticos.

### **Resumen de estudios realizados**

La estrategia metodológica seguida ha incluido una gran diversidad de enfoques y herramientas que se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1. Estudios realizados a diferentes niveles de organización, condiciones experimentales y niveles de exposición**

|               |                                     |                                   | Laboratorio |         | Campo |         |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|---------|-------|---------|
| Nivel         | Efectos considerados                | Parámetros evaluados <sup>1</sup> | Agudo       | Crónico | Agudo | Crónico |
| Subindividual | Acumulación y concentración interna | Plasma, bilis, músculo            |             | X       |       | X       |
| Biomarcadores | Neurotoxicidad                      | AchE                              | X           | X       |       | X       |
|               | Reproducción                        | Hist. gonadal                     | X           | X       |       |         |
|               | Biotransformación                   | EROD, BROD, GST                   | X           | X       |       | X       |
|               | Estrés oxidativo                    | SOD, CAT, GPx, TBARs              | X           | X       |       | X       |
|               | Genotoxicidad<br>Comportamiento     | Micronucleos                      | X           |         |       |         |
| Individuos    | Crecimiento                         | Talla/edad                        |             | X       |       |         |
|               |                                     | SGR                               |             | X       |       |         |
|               | Condición                           | K                                 |             | X       | X     | X       |
|               | Hepatotoxicidad                     | HSI                               |             | X       | X     | X       |
|               | Reproducción                        | GSI                               |             | X       | X     | X       |
|               |                                     | Sexo                              |             | X       | X     | X       |

<sup>1</sup> Abreviaciones: AchE: acetilcolinesterasa, EROD: etoxiresorufina O-deetilasa, BROD: benciloxiresorufina-o-deetilasa, GST: glutatión-s-transferasa, SOD: superóxido dismutasa, CAT: catalasa, GPx: glutatión-peroxidasa, TBARs: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, SGR: tasa de crecimiento estándar, K: factor de condición de Fulton, HSI: índice hepatosomático, GSI: índice gonadosomático, D: índice de dominancia de Simpson, H: índice de diversidad de Shannon-Weaver, IBI: índice de integridad biótica de Karr

|           |                      |                      | Laboratorio |         | Campo |         |
|-----------|----------------------|----------------------|-------------|---------|-------|---------|
| Nivel     | Efectos considerados | Parámetros evaluados | Agudo       | Crónico | Agudo | Crónico |
| Población | Mortalidad           | % Mortalidad         | X           | X       | X     |         |
|           | Fecundidad           |                      |             |         |       |         |
| Comunidad | Riqueza              | D                    |             |         | X     | X       |
|           | Diversidad           | H                    |             |         | X     | X       |
|           | Integridad biótica   | IBI                  |             |         | X     | X       |

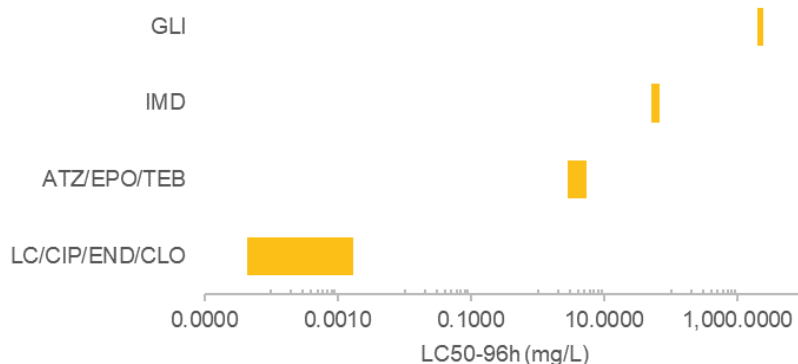
Fuente: Elaboración propia.

Como primera aproximación se han realizado bioensayos de laboratorio para establecer las concentraciones letales agudas (ej. LC50) de los plaguicidas más comúnmente utilizados y encontrados en los ambientes pampeanos, utilizando especies locales representadas en dichos ecosistemas (ej. *Odontesthes bonariensis*, *Cnesterodon decemmaculatus*). Ello se realizó como una forma de establecer un orden de toxicidad relativa y delimitar las concentraciones que causan efectos letales agudos de aquellas que pueden ser consideradas subletales y crónicas. Complementariamente se han realizado estudios de laboratorio para detectar respuestas subletales bajo condiciones de exposición crónica, evaluando una serie de biomarcadores de exposición y/o efecto y su relación con el desempeño de los organismos a nivel del crecimiento o reproducción.

Por otro lado, se han realizado diferentes estudios a campo evaluando desde escenarios de exposición aguda a otros de exposición crónica. Los primeros se realizaron en cursos de agua de primer y segundo orden atravesando parcelas cultivadas bajo las prácticas agrícolas convencionales. Allí se realizaron tanto experiencias colocando peces en limnocorrales, como muestreando peces de la comunidad de los propios arroyos. Aquí se evaluó principalmente el efecto de las aplicaciones de agroquímicos sobre la supervivencia, registrando además eventos de mortandades y evaluando el impacto sobre la comunidad. Los estudios de campo dirigidos a evaluar exposiciones crónicas se realizaron en cursos de agua de orden superior comparando cuencas fuertemente agrícolas (ej. Río Tercero-Carcarañá y Río Pergamino-Arrecifes) frente a otras de tradición más ganadera (ej. Río Samborombón o Río Salado medio). Allí se han evaluado desde la estructura de las comunidades, pasando por índices de salud individual, a biomarcadores de exposición en diferentes tejidos e incluyendo además los niveles de concentración de varios plaguicidas, principalmente en muestras de músculo. De esto último también se cuenta con información de peces capturados en la cuenca del Río Uruguay, provenientes del Programa de Relevamiento realizado por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU).

## Efectos en condiciones de laboratorio

Se han estimado las  $LC_{50}$  a 48 y 96 h para cinco insecticidas, frecuentemente utilizados en la región pampeana, utilizando alevines de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) de entre 15 y 30 días de edad como organismo de prueba. En el Figura 1 se muestran, a modo de ejemplo, el intervalo de valores obtenidos para las  $LC_{50-96h}$  de dos insecticidas piretroides (cipermetrina, CIP y lambdacialotrina, LC), un organoclorado (endosulfán, END), un órganofosforado (clorpirifós, CLO) y un neonicotinoide (imidacloprid, IMI), además de dos fungicidas (epoxiconazol, EPO y tebuconazol, TEB) y dos herbicidas (atrazina, ATZ y glifosato, GLI) (López Aca et al., 2014)



**Figura 1. Toxicidad letal aguda (intervalos de valores de  $LC_{50-96h}$ ) de los principales plaguicidas utilizados en la región pampeana sobre *O. bonariensis*.** Fuente: López Aca et al., 2014

En dicha figura, puede observarse que los insecticidas, a excepción del imidacloprid, resultan varios órdenes de magnitud más tóxicos para los peces que los fungicidas y los herbicidas. En particular, el imidacloprid resultó poseer una toxicidad relativamente baja en comparación con los demás insecticidas, e incluso herbicidas y fungicidas. Otro compuesto de muy baja toxicidad relativa, en cuanto a los efectos letales agudos inducidos sobre los peces, fue el glifosato, que resultó ser, en ese sentido, el compuesto menos tóxico de todos los ensayados.

También han sido evaluadas diferentes respuestas subletales bajo exposiciones agudas. En *O. bonariensis* se ha observado una inhibición del sistema de biotransformación de fase I (EROD), pero no de fase II, al ser expuestos a concentraciones de 0,02 µg/L de epoxiconazole y 7 mg/L de imidacloprid (López Aca et al., 2016).

Por otro lado, en ensayos realizados en colaboración con la UNMdP, exponiendo *Australoherus facetum* a endosulfán durante sólo 24h, se ha observado la capacidad de éste insecticida de inhibir las enzimas del sistema antioxidante en tejidos específicos como el cerebro, conjuntamente con la inducción de genotoxicidad a 5 µg/L (Crupkin et al., 2013).

Complementariamente a las exposiciones agudas, se han realizado diferentes ensayos de laboratorio con el objeto de evaluar la incorporación y metabolización de los diferentes plaguicidas mediante exposiciones crónicas a 21 d, empleando juveniles de *Cyprinus carpio* y *O. bonariensis*.

Además, en *C. carpio* se evaluaron posibles efectos subletales a nivel del sistema de biotransformación de fase I (EROD, BROD) y fase II (GST), del sistema antioxidante (SOD, GPx, CAT) y de biomarcadores de estrés oxidativo (TBARs).

Se han ensayado los herbicidas glifosato y atrazina, los fungicidas tebuconazol y epoxiconazol e insecticidas como cipermetrina, lambdacialotrina y el imidacloprid. Además, estos plaguicidas y endosulfán han sido sometidos a estudios subletales con *O. bonariensis* para evaluar su potencial acción neurotóxica mediante la inhibición de la enzima AchE, en comparación al clorpirifós. A su vez, la inhibición de la AchE por éste último insecticida ha sido empleada para comparar la distancia entre las concentraciones que inducen efectos letales y aquellas que inducen efectos subletales sobre esta enzima.

Estos estudios nos han permitido entender cómo estos plaguicidas son incorporados por los peces, circulados en el plasma y excretados mayoritariamente por la bilis, ya no como el compuesto parental sino como metabolitos producto de su biotransformación por el sistema de monooxigenasas hepático y luego su conjugación con diferentes moléculas, como en el caso de la cipermetrina, con ácido glucurónico o sulfato (Carriquiriborde et al., 2012). Conocer estos patrones de metabolización en los biofluidos ha resultado útil para la identificación de biomarcadores de exposición sumamente específicos.

Si bien se ha verificado que muchos de estos plaguicidas son biotransformados a nivel del sistema de monooxigenasas hepáticas, y en los ensayos de exposición aguda se ha observado una modulación sobre este sistema, en los experimentos realizados con *C. carpio* expuestos durante 21 d, no se ha observado un efecto sobre las isoformas EROD y BROD que, en comparación, han sido fuertemente inducidas por el control positivo utilizado en los ensayos como el agonista del receptor arilo, la  $\beta$ -naftoflavona. Tampoco se ha evidenciado que éstos sean capaces de inducir claramente al sistema de biotransformación de fase II (GST), ni al sistema antioxidante (SOD, CAT, GPx), o generar estrés oxidativo (TBARs). Además de la falta de respuestas a nivel de estos biomarcadores, tampoco se observaron diferencias en el crecimiento, factor de condición, índice hepatosomático, gonadosomático o formación de intersexos. Probablemente, esto esté indicando diferencias de sensibilidad entre especies a los mismos plaguicidas.

En cuanto a la capacidad de generar neurotoxicidad mediante la inhibición de la AchE, ninguno de los plaguicidas ensayados ha sido capaz de inhibir esta enzima del modo que lo hace un organofosforado como el clorpirifós. En particular el glifosato, que ha sido propuesto por varios autores como inhibidor de ésta enzima, no ha desplegado tal efecto en ninguna de las dos especies ensayadas.

Respecto a la diferencia ente las concentraciones de clorpirifós que generan mortalidad y las que inhiben a la AchE en el músculo y en el

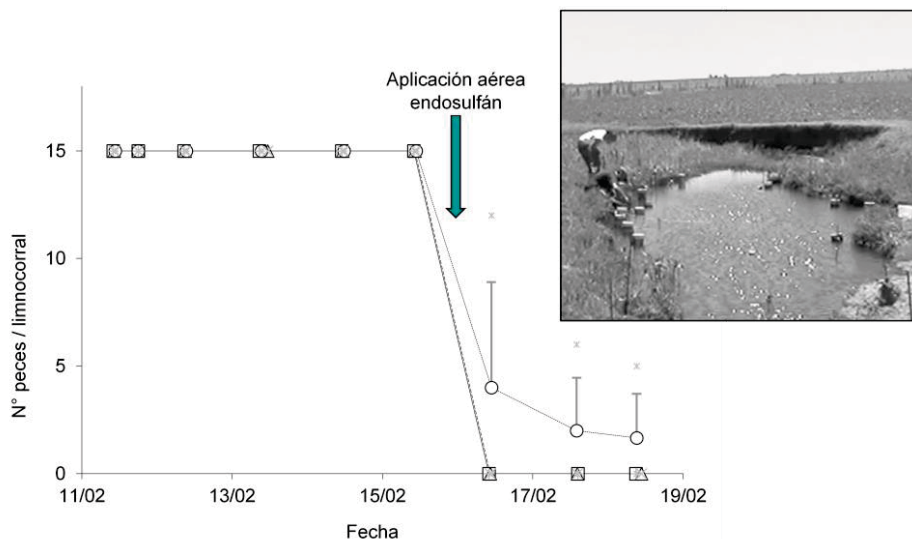
cerebro ( $IC_{50}$ : concentración que inhibe el 50% de la actividad de la enzima), se ha observado que en *O. bonariensis* ambas se encuentran relativamente próximas a la  $LC_{50}$ , entre 3,4 y 25 veces menor, respectivamente. Ello indica que su utilización como biomarcador debe ser considerada con cautela ya que la  $IC_{50}$  se observa a niveles a los cuales el organofosforado comienza a causar letalidad.

Por otro lado, existen estudios que han mostrado la capacidad de algunos plaguicidas de actuar como disruptores endócrinos. En particular, para la cipermetrina, se ha descrito que “in vitro” posee actividad antiandrogénica. Por otro lado, el pejerrey, posee un control genético del sexo particularmente lábil y, por tanto, susceptible de ser afectado por disruptores endócrinos que, actuando durante la ventana de determinación sexual, podrían modificar las relaciones de sexo en las poblaciones naturales. Sin embargo, los estudios de laboratorio realizados con alevines de *O. bonariensis* expuestos durante la ventana de determinación sexual (semana 2 a 6 luego de la eclosión) con tal fin, no se mostraron alteraciones en la histología gonadal de los peces expuestos respecto a los controles. Sin embargo, inesperadamente, se observó un mayor crecimiento en los peces expuestos a concentraciones subletales del piretroide (Carriquirborde et al., 2009).

## **Efectos a campo en escenarios de exposiciones agudas en cursos de agua de bajo orden**

Los estudios a campo realizados en arroyos de primer orden sin área buffer entre el cultivo y el curso de agua, escenarios agudos, mostraron diferentes efectos, dependiendo de los plaguicidas aplicados. Si bien en los ensayos de laboratorio la toxicidad relativa de los insecticidas fue piretroides > endosulfán > clorpirifós, en los estudios a campo exponiendo juveniles de *C. decemmaculatus* en limnocorrales, los resultados fueron muy diferentes, mostrando una toxicidad relativa endosulfán > clorpirifós > cipermetrina.

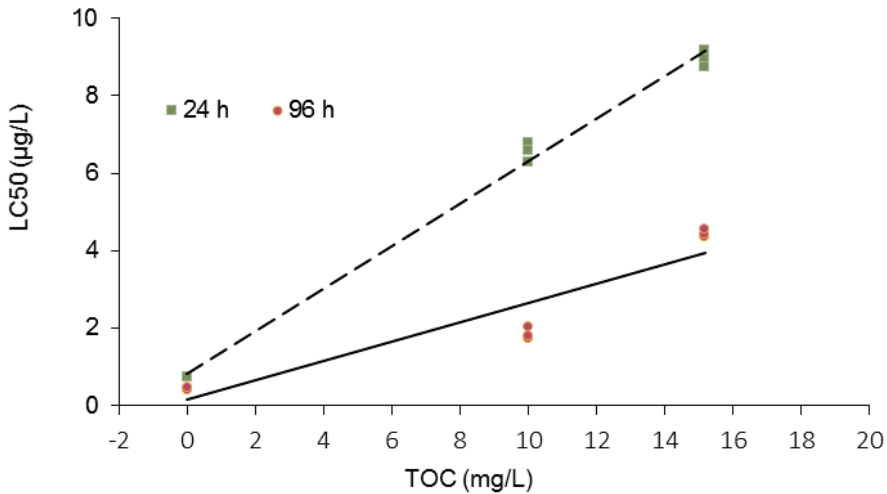
Durante las aplicaciones de cipermetrina no se observaron efectos sobre la supervivencia de los juveniles de *C. decemmaculatus* expuestos en los limnocorrales ni los de la población del arroyo. Por el contrario, se observaron eventos de mortandad leves durante las aplicaciones de clorpirifós, y mortandades masivas, tanto en los peces expuestos en los limnocorrales como en otras especies de la comunidad, tras aplicaciones aéreas de endosulfán (Figura 2) (Carriquiriborde, 2009).



**Figura 2. Mortalidad de *C. decemmaculatus* en limnocorrales tras aplicaciones aéreas de endosulfán.**

Fuente: Carriquiriborde, 2009

La explicación del porqué de la toxicidad de los piretroides en el ambiente fue mucho menor a la estimada en los ensayos de laboratorio; en particular en comparación con los otros insecticidas, fue obtenida realizando nuevos estudios en el laboratorio, pero ésta vez utilizando agua tomada de los propios arroyos. Allí se observó que la toxicidad de, por ejemplo, la cipermetrina, se vio reducida en función del contenido de la materia orgánica del arroyo (Figura 3), en concordancia con los altos valores de  $K_{oc}$  de este piretroide (Carriquiriborde et al., 2007).



**Figura 3. Toxicidad letal aguda de la cipermetrina en *C. decemmaculatus* en relación a la concentración de carbono orgánico del agua**

Fuente: Carriquiborde et al., 2007

Es importante destacar que estos estudios permitieron realizar avances en las metodologías de evaluación a campo mostrando que, de los diferentes diseños de muestreo utilizados a campo, el más sensible para detectar efectos fue aquel en el cuál se registraron series temporales del punto final escogido; al menos en cinco oportunidades desde 48 h previo al evento de aplicación y/o lluvia, y luego cinco veces durante 48 h pasado dicho evento.

## **Efectos a campo en escenarios de exposiciones crónicas en cursos de agua de orden superior**

Complementariamente con los estudios en escenarios agudos, se evaluaron efectos de los plaguicidas mediante estudios a campo en escenarios crónicos. Para ello, se estudiaron comunidades de peces en ríos de orden superior pertenecientes a cuatro cuencas hídricas diferentes, dos ubicadas en zonas de uso del suelo predominantemente agrícola (Río Tercero–Carcarañá (Provincia de Córdoba) y Pergamino-Arrecifes (Provincia de Buenos Aires), agricultura > 90% superficie) y dos en zonas de uso del suelo mayormente ganadero (Río Samborombón (Provincia de Buenos Aires) y sector medio del Río Salado (Provincia de Buenos Aires), agricultura < 20% superficie) (Figura 4).

Conjuntamente con la estructura de la comunidad de peces se evaluaron índices biológicos de salud de los peces, se analizaron diferentes biomarcadores bioquímicos para identificar exposición y efecto, y se midieron las concentraciones de plaguicidas en muestras de músculo. Las concentraciones de plaguicidas en los músculos de los peces colectados en cada una de las cuencas no reflejaron con gran fidelidad las diferencias existentes en la intensidad agrícola estimada por el porcentaje de uso del suelo. De los diferentes grupos de plaguicidas analizados, los insecticidas fueron los que mejor se correspondieron con tal variable, siendo las concentraciones particularmente elevadas en la cuenca del Pergamino-Arrecifes.

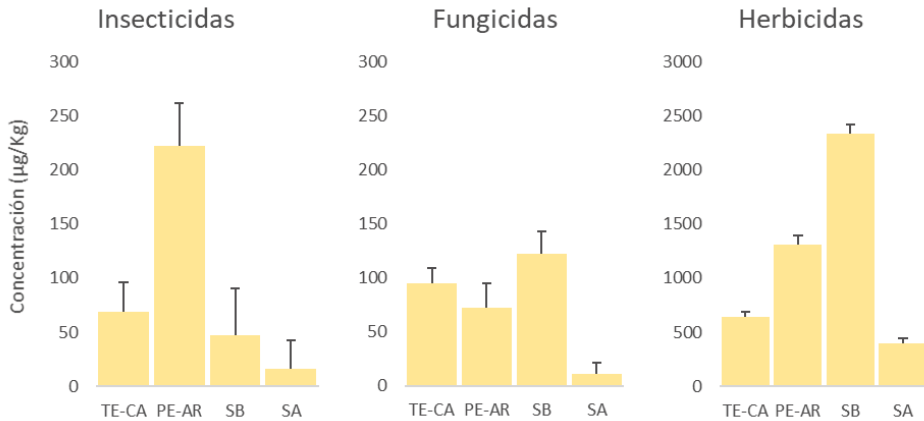


**Figura 4. Imágenes satelitales representativas de las cuencas estudiadas**

a) Río Tercero: >90% superficie área agrícola, b) Río Samborombón: < 20% superficie área agrícola

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los peces de la cuenca media del Río Salado mostraron para todos los grupos de plaguicidas las menores concentraciones, en concordancia con la baja actividad agrícola. Contrariamente, los peces colectados en el río Samborombón, mostraron concentraciones relativamente altas para todos los plaguicidas, similares o mayores que en las cuencas agrícolas, lo cual es difícil de explicar, considerando que la actividad agrícola observada en esa cuenca fue muy baja. Los herbicidas y, en particular, la atrazina fueron los que presentaron mayores concentraciones (Figura 4).



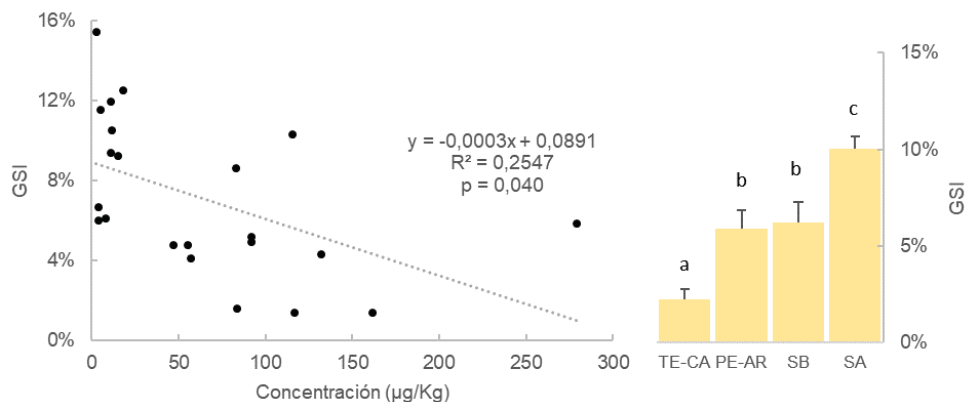
**Figura 4. Concentración de plaguicidas en músculos de *C. carpio* colectadas en diferentes cuencas hídricas.** TE-CA: Río Tercero-Carcaarañá, PE-AR: Arroyo Pergamino-Río Arrecifes, SB: Río Samborombón, SL: Río Salado (Buenos Aires)

Fuente: Elaboración propia.

Pese a que, en las cuencas estudiadas, los plaguicidas son acumulados por los peces, no se observaron diferencias importantes a nivel de la estructura de la comunidad (riqueza o biodiversidad) entre los ríos estudiados. En todas las cuencas, la carpa común (*C. carpio*) fue la especie más conspicua (presente en todos los sitios muestreados), luego la tararira (*Hoplias malabaricus*) e individuos del género *Hypostomus* sp. El factor de condición y el índice hepatosomático no mostraron diferencias entre cuencas. Sin embargo, el índice gonadosomático y el grado de madurez de la gónada fueron significativamente mayores en *C. carpio* colectadas en los ríos Samborombón y Salado medio (Figura 5). Además,

éste índice se correlacionó negativamente con la concentración de fungicidas (Figura 5), pudiendo estar indicando algún efecto de tales plaguicidas sobre el desarrollo de la gónada, especialmente considerando que, como se mostró anteriormente, se ha observado que son capaces de inhibir el sistema de monooxigenasas hepáticas.

Ninguno de los demás biomarcadores (EROD, GST, CAT, GPx, TBARs) analizados en diferentes órganos han mostrado una relación clara, ni con el tipo de cuenca, ni con la concentración interna de los plaguicidas analizado. En particular, AchE no se correlacionó claramente con los niveles de organofosforados, indicando que la multiplicidad de variables que actúan en los ambientes acuáticos pueden enmascarar los efectos de los plaguicidas, haciendo muy compleja la interpretación de los resultados.



**Figura 5. Correlación entre la concentración muscular de fungicidas totales y el índice gonadosomático**

Fuente: Elaboración propia

## Reflexiones finales

De las experiencias recogidas en los últimos 10 años de estudios sobre los potenciales riesgos que los plaguicidas pueden tener sobre las comunidades de peces, podemos mencionar que:

Las  $LC_{50}$  son puntos finales ampliamente utilizados en las evaluaciones de riesgo ecológico y con fines regulatorios para estimar la toxicidad de las sustancias. Sobre esta base, los estudios realizados muestran que los insecticidas son altamente tóxicos para los peces en relación a otros plaguicidas. Sin embargo, exposiciones más realistas, cómo los estudios de campo y de laboratorio con aguas de arroyos, destacan que las características del medio afectan marcadamente su biodisponibilidad y, por tanto, el riesgo no puede ser estimado únicamente sobre la base de su  $LC_{50}$  obtenidas a partir de ensayos normalizados de laboratorio. Ello sin considerar potenciales efectos adversos de largo plazo.

En tal sentido, la interacción entre estudios de laboratorio y a campo resulta sumamente útil para confirmar los resultados obtenidos en el laboratorio y explicar las observaciones realizadas a campo.

Bajo las prácticas convencionales, los estudios demuestran que existen escenarios de exposición aguda donde se inducen eventos de mortandades masivas, en particular vinculados al endosulfán, que gracias a éstos y otros trabajos semejantes ha sido prohibido en Argentina. Dichos estudios demuestran la necesidad de exigir el establecimiento de franjas riparias que actúen de zona buffer en el amortiguamiento de los efectos

inducidos por los plaguicidas sobre los ecosistemas acuáticos, principalmente en cursos de bajo orden.

En los ríos de orden superior, los escenarios de exposición suelen ser crónicos, con concentraciones subletales y relativamente constantes en el tiempo. Los estudios muestran que en cuencas donde se ha venido practicando agricultura durante varias decenas de años, las comunidades de peces parecieran ser relativamente resilientes y capaces de mantener su integridad. Sin embargo, las concentraciones medidas en los peces están indicando que los mismos están siendo expuestos y, por tanto, ello representa un factor de estrés ambiental adicional que podría aumentar la vulnerabilidad de estas poblaciones frente a la acción de otros factores de estrés (ej. enfermedades, predación, etc.). La complejidad y los múltiples factores de confusión en los estudios de campo dificultan la identificación de los efectos que puedan estar ejerciendo los plaguicidas y, por ello, se requieren herramientas sumamente específicas para detectar sus efectos adversos. En tal sentido, las poblaciones de peces parecieran actuar como meta-poblaciones, donde el repoblamiento desde los grandes ríos pareciera ser un mecanismo de restitución de las poblaciones mermadas en los pequeños arroyos luego de los eventos de aplicación, y, por tanto, su protección y conservación resultan estratégicas.

Efectos observados, como el caso de la reducción del índice gonadosomático y la correlación de su reducción con la concentración de fungicidas, representan una alerta que debiera ser estudiada con mayor

detalle. Continuar realizando estudios para detectar y entender éste y otros posibles efectos, son fundamentales para poder brindar recomendaciones tendientes a tomar medidas dirigidas a la protección de la comunidad de peces y de los ecosistemas acuáticos.

## **Agradecimientos**

Los resultados aquí resumidos son parte de planes de trabajo de becas postdoctorales, tesis doctorales, tesinas de grado o pasantías del autor (bajo las Direcciones de la Dra. Alicia Ronco y el Dr. Gustavo Somoza) y los estudiantes bajo su propia dirección: Juan Pablo Streitenberger, Juan Díaz, Michel Arnal, Ariel Paracampo, Damián Marino, Patricia Verónica Gonzalez y Viviana López Acá, Diego Cristos. Los estudios han sido posibles gracias al apoyo del CONICET (PIP2010-2012-0723) y la ANPCyT (PICT2005-38350, PICT2005-30351, PICT2008-1598, PICT2014-1690) y de la Subcomisión de Pesca de la Comisión Administradora del Río Uruguay. Se agradece al Lic. Gustavo Berasain y Lic. Claudia Velasco y su equipo de la Estación Hidrobiológica de Chascomús, Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, por la provisión ininterrumpida de alevines de pejerrey durante más de quince años.

## Bibliografía

- Carriquiriborde, P., 2009. Laboratory to field extrapolation in pesticide risk assessment. , IX Congreso SETAC Latinoamérica. Society of Environmental Toxicology and Chemistry Branch Latin-American, Lima, Perú.
- Carriquiriborde, P., Díaz, J., López, G.C., Ronco, A.E., Somoza, G.M., 2009. Effects of cypermethrin chronic exposure and water temperature on survival, growth, sex differentiation, and gonadal developmental stages of *Odontesthes bonariensis* (Teleostei). *Chemosphere* 76, 374-380.
- Carriquiriborde, P., Díaz, J., Mugni, H., Bonetto, C., Ronco, A.E., 2007. Impact of cypermethrin on stream fish populations under field-use in biotech-soybean production. *Chemosphere* 68, 613-621.
- Carriquiriborde, P., Marino, D.J., Giachero, G., Castro, E.A., Ronco, A.E., 2012. Global metabolic response in the bile of pejerrey (*Odontesthes bonariensis*, Pisces) sublethally exposed to the pyrethroid cypermethrin. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 76, 46-54.
- CASAFE, 2012. Mercado Argentino 2012 de Productos Fitosanitarios, Cámara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, KLEFFMANN GROUP Argentina, Buenos Aires.
- Crupkin, A.C., Carriquiriborde, P., Mendieta, J., Panzeri, A.M., Ballesteros, M.L., Miglioranza, K.S.B., Menone, M.L., 2013. Oxidative stress and genotoxicity in the South American cichlid, *Australoheros facetus*, after short-term sublethal exposure to endosulfan. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 105, 102-110.
- López Aca, V., González, P., Carriquiriborde, P., 2016. Evaluación del efecto de seis plaguicidas sobre el sistema de biotransformación de fase I y fase II y la inducción de estrés oxidativo en *Odontesthes bonariensis*, VI Congreso Argentino de Toxicología y Química Ambiental “Compromiso entre academia, industria y gobierno por un ambiente mejor”. SETAC-Argentina, Córdoba, Argentina.
- López Aca, V., González, P.V., Marino, D.M., Carriquiriborde, P., 2014. Comparative toxicity of insecticides, fungicides and herbicides widely used in the Pampas (Argentina) on the “Pejerrey” (*Odontesthes bonariensis*), SETAC

North America 35th Annual Meeting. Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Vancouver, British Columbia, Canada.

MA, 2016. Estimaciones Agrícolas, Informe Semanal al 10 de noviembre de 2016. Ministerio de Agroindustria de la Nación, Dirección de Estimaciones Agrícolas y Delegaciones, [http://www.siiia.gob.ar/informes/Estimaciones\\_Agricolas/Semanal/161110\\_Informe%20Semanal%20Estimaciones%20-%20al%2010-Nov-2016.pdf](http://www.siiia.gob.ar/informes/Estimaciones_Agricolas/Semanal/161110_Informe%20Semanal%20Estimaciones%20-%20al%2010-Nov-2016.pdf).

## **Diecisiete años de algodón transgénico en Argentina: evolución del uso de agroquímicos**

*Ing. Agr. Alejandro Valeiro*

*Investigador de INTA, EEA Famaillá - LABINTEX-EU*

A poco más de 17 años de la primera difusión comercial de las variedades transgénicas de algodón en Argentina, éstas han sido adoptadas ampliamente por los productores y la cadena industrial algodonera-textil. Sin embargo, algunas preguntas acerca de los reales beneficios y riesgos de los organismos genéticamente modificados (OGMs) todavía se plantean en la sociedad y se expresan cotidianamente en los medios de comunicación. Se analizan aquí algunos aspectos positivos y negativos de los algodones GM desde la perspectiva productiva y tecnológica, especialmente su impacto sobre el uso de agroquímicos, para hacer un aporte –aunque parcial- a esa discusión.

### **De la investigación al campo**

El uso comercial extendido de plantas genéticamente modificadas se inició en 1996 en Estados Unidos, con maíz y soja. Ese mismo año se autorizó la primera soja con tolerancia a glifosato en Argentina. La primera variedad transgénica de algodón en el país fue la NuCOTN 33B que contenía el gen *Bt* y se inscribió en 1998 (CONABIA; 2015).

Al día de hoy, existen cuatro eventos inscriptos en algodón y disponibles comercialmente. Éstos pueden verse en la Tabla 1.

**Tabla 1. Eventos de algodón GM autorizados para siembra, consumo y comercialización en Argentina**

| Evento                                                                        | Solicitante        | Fecha de autorización | Variedades comerciales                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Resistencia a lepidópteros (MON 531)                                          | Monsanto Argentina | 16/07/1998            | NuCotton 33B<br>Guazuncho 2000<br>DP 404 BG<br>DP 428 BG<br>DP 447 BG<br>DP 604 BG |
| Tolerancia a glifosato (MON 1445)                                             | Monsanto Argentina | 25/04/2001            | NuOpal RR                                                                          |
| Resistencia a lepidópteros y                                                  | Monsanto Argentina | 10/02/2009            | DP 402 BG/RR                                                                       |
| Tolerancia a glifosato (MON 1445 xMON 531)                                    |                    |                       | DP 1238 BG/RR                                                                      |
| Tolerancia a herbicidas glufosinato de amonio y glifosato (GHB614xLLCotton25) | Bayer CropScience  | 09/11/2015            | No inscriptas al momento                                                           |

Fuente: CONABIA; 2015

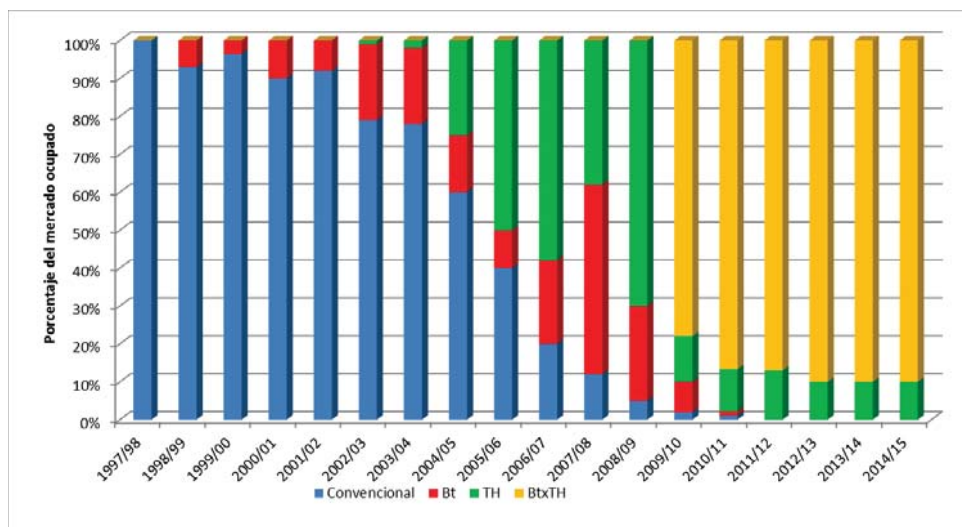
En espera de ser evaluado en “segunda fase” (ensayos a campo) se encuentra el evento COT 102 que expresa la proteína *Vip3A* y opera por un mecanismo de acción diferente al de la proteína *Cry* de la “tradicional” resistencia a orugas, y por lo tanto, podría contribuir en la

prevención de la aparición de insectos resistentes en el cultivo de algodón en Argentina.

El evento MON15985xMON88913 –aprobado muy recientemente– es el llamado comercialmente *Bollgard II®+ Roundup Ready Flex®*, una versión mejorada de la resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato. Incluye las resistencias combinadas de sus parentales MON 88913 que produce la proteína *CP4 EPSPS* que concede resistencia al glifosato 2; y la del MON 15985 productor de las proteínas *Cry1Ac* y *Cry2Ab2* que confiere protección contra lepidópteros, que involucran a *Helicoverpa armigera*, *Heliothis virescens* y *Pectinophora gossypiella*.

### **Adopción de la tecnología por parte de los productores**

Al igual que ocurriera con las sojas y maíces GM, la adopción de esta tecnología por parte de los productores algodoneros argentinos fue muy rápida. Al momento de la inscripción del algodón resistente a lepidópteros en 1998, el 100% del mercado estaba ocupado con variedades convencionales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Sin embargo, como puede verse en la Figura 1, las variedades del INTA fueron desplazadas totalmente del mercado en el lapso de unos 10 años. Esta dinámica de adopción no tiene precedentes. En la Argentina los maíces híbridos de la década del 50, por ejemplo, tardaron 27 años en alcanzar el porcentaje de aceptación que el algodón GM logró en prácticamente una década (Trigo y Cap 2006; Trigo 2011).



**Figura 1. Argentina: evolución de la superficie de algodón convencional y transgénico.** Bt: resistencia a insectos, TH: tolerancia a herbicidas, y Bt x TH: transgenes apilados

Fuente: elaboración propia en base a Argenbio, 2015

Una parte importante del éxito comercial de los algodones GM tuvo que ver, inicialmente, con la incorporación de nuevos genes a una base genética bien adaptada agronómicamente a las condiciones locales: la de las variedades del Programa de Mejoramiento Genético del INTA (Trigo 2011). En efecto, en 1998 a través de un Convenio de Vinculación Tecnológica, el INTA acordó con la empresa Monsanto un permiso de utilización de algunas de sus variedades a cambio del cobro de regalías por la tecnología. Aunque se incluían varios materiales genéticos, el único cultivar difundido del convenio INTA–Monsanto que alcanzó mayor

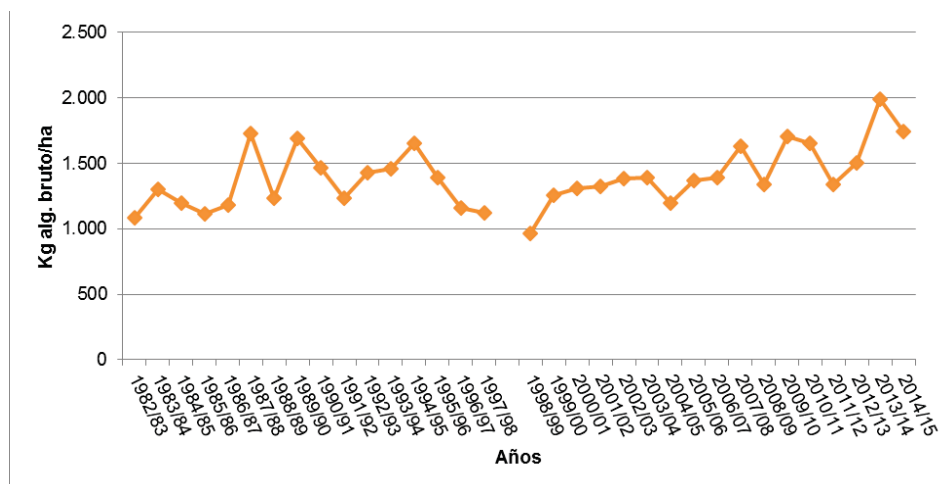
superficie de siembra fue Guazuncho 2000 resistente al glifosato, sobre la base del renombrado Guazuncho INTA inscripto en la década del 80. Mucho más tarde, se difundió DP 402 BG/RR desarrollado a partir de Chaco 520 INTA. Estos materiales, además de producir fibra de excelente calidad, eran resistentes a la denominada “enfermedad azul” originaria de África y difundida en Argentina. Los cultivares introducidos desde el exterior no tenían esta resistencia, que resultaba clave para entrar en el mercado argentino.

Pero la gran ventaja de los algodones GM fue que transformaron la forma en que los productores controlaban las malezas. Se adoptaron rápidamente porque el glifosato permitía un control más fácil y efectivo, aumentaba sus beneficios requiriendo menos labores del suelo, permitiendo la siembra directa del algodón, y habilitando cualquier tipo de rotación de cultivos. La resistencia a orugas resultó un plus de ventaja por unas campañas, pero se diluyó con la aparición del picudo del algodnero como veremos más adelante.

### **Impactos económicos a nivel de la producción**

En términos de influencia de los OGM en la productividad del algodón en Argentina, podría decirse que ésta ha sido mínima. En efecto, si se promedian los rendimientos obtenidos a nivel nacional en los 17 años previos a la aparición de los transgénicos (1982-1997), se obtenían 1.340 kg/ha de algodón en bruto. Durante los 17 años posteriores a la adopción

de esta tecnología (1998-2015) el promedio se elevó apenas 100 kg/ha (Figura 2) (MAGyP, 2015).



**Figura 2. Evolución de los rendimientos de algodón pre y post OGMs**

Fuente: MAGyP; Estimaciones agrícolas; 2015

Esto no resulta extraño ya que en Estados Unidos, por ejemplo, en el mismo período de expansión de cultivos OGM, éstos no necesariamente han mostrado aumentar los rendimientos potenciales<sup>2</sup> de las variedades (Fernandez Cornejo et al.; 2014). *“De hecho, los rendimientos de materiales tolerantes a herbicidas o resistentes a insectos pueden incluso resultar ocasionalmente más bajos que los de las variedades*

<sup>2</sup> Rendimiento potencial se define aquí como “el rendimiento de un cultivar adaptado cuando se le aplica el mejor manejo, sin riesgos naturales (heladas, inundaciones, etc.) y sin limitaciones de agua, nutrientes, o estreses bióticos de ningún tipo.

*convencionales si la base genética utilizada para contener dichos genes no es la de los cultivares más rendidores, como en los primeros años de adopción” (Fernández Cornejo et al., 2014).*

Obviamente, el hecho de que un cultivo GM tenga la posibilidad de estar protegido de plagas y/o malezas le permite a las plantas una mayor probabilidad de acercarse al rendimiento potencial.

En un análisis un poco más detallado, si considerásemos solamente las últimas seis campañas (2009-2015) cuando los OGMs ya habían alcanzado a ocupar el 100% de la superficie sembrada en Argentina, la media de rendimientos aumentó un 23% -respecto del período pre-OGMs- a 1.657 kg/ha de algodón en bruto.

Es cierto que son muchos los factores que determinan la productividad de un cultivo además de la genética, por lo que resulta difícil atribuirle a una sola influencia. En estos mismos años, por ejemplo, se difundió la siembra en surcos estrechos, la plaga del picudo del algodón se generalizó en las provincias del noreste, la cosecha mecánica con sistemas stripper se hizo mayoritaria, una proporción importante del cultivo pasó a sembrarse directamente sin laboreos, etc. Se especula, por ejemplo, que los nuevos sistemas de cosecha stripper, pudieran estar llevando a sobreestimar la productividad del último lustro (Delssín, 2012).

De la misma manera, el ingreso neto de los productores –un parámetro fundamental- depende no sólo de la productividad de su cultivo, sino de la calidad de la fibra y del precio que obtienen por su algodón.

Trigo (2014), utilizando un modelo matemático, calculó la distribución de beneficios brutos generados por la adopción de tecnologías GM en algodón, acumulados en el período 1998-2011 para el algodón Bt y 2002-2011, para el tolerante a herbicidas. Llegó a la conclusión de que la incorporación de esta tecnología habría generado 1.834 millones de dólares, y que el 96% de este valor lo habrían recibido los productores.

Sin embargo, el trabajo se hizo con el supuesto de que la adopción de las variedades Bt incrementaba el rendimiento en un 30% -lo que ya vimos que no se cumplió- y de que la adopción de los materiales TH reducía el costo de producción en 30 USD/ha como efecto del ahorro en herbicidas. Veremos que este tampoco fue el caso.

Un estudio similar en Estados Unidos determinó que los agricultores recibían entre el 42% y 59% de los beneficios, mientras las firmas semilleras y Monsanto se quedaban entre 26% y 44% (Traxler y Falck-Zepeda; 1999). Esa diferencia con Argentina puede deberse a las deformaciones del mercado local de semillas que describiremos más adelante.

### **Evolución del uso de agroquímicos y el problema de la resistencia**

El algodón es uno de los cultivos que tradicionalmente más agroquímicos insume durante su ciclo. Los algodones GM se planteaban superar dos problemas clave del cultivo: el alto costo del manejo de

malezas, y las severas pérdidas causadas por los lepidópteros plaga. A nivel mundial, efectivamente se obtuvo una reducción del 43% en el consumo de pesticidas en algodón. Sin embargo en América Latina la evolución ha sido la contraria: entre 1999 y 2009, el valor de venta de herbicidas para algodón se ha más que duplicado y el de insecticidas es prácticamente cuatro veces mayor (Wakelyn y Chaudhry, 2010). Argentina no escapó a esta tendencia.

En efecto, al difundirse las primeras variedades Bt (1999/2000) se sembraron alrededor de 10.000 ha, y en aquél momento, Elena (2001) realizó un análisis económico para conocer las diferencias que existían entre variedades transgénicas (Bt) y convencionales, tanto en costos como en ingresos, entrevistando a 32 productores que adoptaron la tecnología. Los resultados concluyeron que los ingresos del algodón Bt fueron superiores en 159,02 USD/ha y el beneficio adicional de su uso fue de 65,05 USD/ha. Con la utilización del algodón Bt, el número de aplicaciones de insecticidas disminuyó en 2,41 (63,74 %) y el costo en 27,55 USD/ha.

Sin embargo, las proteínas insecticidas *Cry* presentes en el algodón GM no afectan el picudo del algodonero (*Anthonomus grandis*) -que resulta ser la plaga fundamental en la mayoría de los países de América-, ni a otras plagas de chupadores (ICAC, 2013). A partir de 2003, el picudo se expandió hacia todo el noreste argentino incrementándose exponencialmente el uso de insecticidas, enmascarando la ventaja de los

algodones *Bt* en términos de reducción de su uso y baja de costos de producción.

En el caso particular de los herbicidas se produjo un desplazamiento desde productos selectivos y de acción residual, con más de 30 principios activos registrados, hacia otros de amplio espectro y ventana de aplicación, concentrándose en el glifosato, particularmente para el planteo “algodón RR + siembra directa”.

En la Tabla 2, puede observarse el panorama de herbicidas e insecticidas previo a la aparición en el mercado de las variedades GM en 1997. Una vez que su uso se hace generalizado (2008) puede verse que ya el glifosato aparece con 4 l/ha (dos en el barbecho químico y 2 sobre el cultivo antes de la 4ª hoja). Ya cuatro años después (2013), la dosis de glifosato se ha duplicado, mientras que en 2015 se llegan a aplicar hasta 13 l/ha en ambas instancias, reflejando, probablemente, la aparición de problemas de resistencia de determinadas malezas y años de lluvias en exceso.

En efecto, en la principal región aldononera argentina comprendida por el este de Santiago del Estero, centro y suroeste del Chaco y norte de Santa Fé, existen casos reportados de malezas con tolerancia (de los géneros *Commelina*, *Borreria*, *Chloris/Trichloris*, *Conyza*, *Gomphrena* y *Papophorum*) y resistencia al glifosato (ej. *Amaranthus sp.*; *Echinochloa colona*; *Eleusine indica*; y *Sorghum halepense*) (AAPRESID; 2015). El glifosato es el herbicida que más especies con resistencia presenta, con un

total de 15 malezas tanto gramíneas como latifoliadas (Palau et al., 2015). En los Estados Unidos ya se registran 22 especies resistentes a ese herbicida.

**Tabla 2. Evolución de los herbicidas e insecticidas usados en algodón 1997/2015<sup>3</sup>**

| Referencia                | Lugar                        | Variedad     | Litros de herbicidas/ha                                               | Litros de insecticidas/ha                                                                   |
|---------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elena, 1995               | Sáenz Peña (Chaco)           | Convencional | Trifluralina, 2,5L                                                    | Cipermetrina 0,13L<br>Monocrotofós 0,45L                                                    |
| Revista Agromercado, 1997 | Santiago del Estero (secano) | Convencional | Haloxifop 0,5L + Pyroxsulam/Met sulfurón 2L + Diuron 1L + MSMA 2L     | Beta cyflutrín 0,13L + cipermetrina 0,3L + endosulfán 1,7L                                  |
| Lacelli e Ybran, 2008     | Reconquista (Sta. Fé)        | GM           | 4L de glifosato + 0,5L de 2,4 D.                                      | 0,25L dimetoato + 0,1L novalurone + 0,05L cipermetrina<br>1,5L de clorpirifós               |
| Elena, 2009               | Sáenz Peña (Chaco)           | GM           | 1L diuron + 1,3L acetoclor (pre siembra) + glifosato 2L (post emerg.) | Tiametoxam/Lambda cialotrina 0,2L + metoxifenocida 0,36L + mercaptotión 1L + dimetoato 0,4L |

<sup>3</sup> Como en la Argentina no se cuenta con registros de los agroquímicos utilizados en cada cultivo, una referencia que puede considerarse son los costos de producción que se publican regularmente, y donde se refleja la tecnología utilizada en cada caso.

| Referencia    | Lugar                 | Variedad               | Litros de herbicidas/ha                             | Litros de insecticidas/ha                                                                                      |
|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ybran, 2013   | Reconquista (Sta. Fé) | BG o RR                | Glifosato 8L + 0,5L 2,4D                            | Dimetoato 0,25L + cipermetrina 0,05 L + novalurone 0,1L                                                        |
| Quirolo, 2015 | Sáenz Peña (Chaco)    | BGDP 1238 BG/RR        | Glifosato 13L+ 1L 2,4D + acetoclor 1,5L + diuron 1L | Imidacloprid 0,225L                                                                                            |
|               |                       | DP 402 BG/RR           |                                                     | Cipermetrina 0,6L +Lambdahalotrina 0,1L + Mercaptotion 3L + Zetametrina 0,2L + Tiametoxam+lambdahalotrina 0,2L |
|               |                       | NuOpal RR<br>G 2000 RR |                                                     |                                                                                                                |

Fuente: Elaboración propia

La aparición de malezas tolerantes y/o resistentes generalmente lleva a los productores a incrementar las dosis de glifosato, a aumentar el número de aplicaciones y a utilizar adicionalmente herbicidas con otros principios activos. Esto conduce a un aumento en el número de aplicaciones con impacto en los costos de producción.

La tendencia creciente en el uso del glifosato, se vio favorecida además por su precio cada vez más barato: pasó de alrededor de 10 dólares el litro a principios de los '90, a alrededor de 4 dólares a comienzos de 2015. China es hoy el principal elaborador y exportador mundial del herbicida. En 2008 la producción de glifosato chino se incrementó de

manera descontrolada a partir de los precios récord registrados por los *commodities* agrícolas. Eso provocó un derrumbe de los precios del herbicida que continuó hasta 2011. Pero a partir de 2012, las autoridades ambientales de China instrumentaron controles más severos para la industria elaboradora de herbicidas, con el propósito de promover el cierre de las fábricas más pequeñas o ineficientes. La menor producción del herbicida –producto de esas políticas– impulsaron los precios del glifosato hasta comienzos de 2014. Pero desde entonces –devaluación del *yuan* mediante- los valores comenzaron a desinflarse. Esto disparó el incremento de las importaciones argentinas de glifosato, que –además- también se fabrica en el país (Valorsoja.com, 2014).

El uso exagerado e irresponsable de glifosato por parte de los productores podría estar causando impactos en cursos de agua, fauna silvestre, suelos, etc. Recientemente, se han realizado denuncias de presencia de residuos del herbicida en productos industrializados de algodón, lo que podría llegar a derivar en trabas comerciales en el futuro.

Generalmente, la adopción de variedades Bt está asociada con un menor uso de insecticidas. Sin embargo, como vemos en la Tabla 2, este no parece ser el caso del algodón de la Argentina. Resulta evidente que la aparición del picudo, como dijimos, multiplicó las aplicaciones de insecticidas, y por esta circunstancia no podría decirse que en la Argentina las variedades GM han logrado ese objetivo.

## Reflexiones finales

Luego de 15 años puede decirse que la tecnología GM ha sido sumamente exitosa en términos de adopción por parte de los productores argentinos de algodón. En pocos años, gracias a que el glifosato permitía un control más fácil y efectivo de las malezas, con menos labores en el suelo, y habilitando la siembra directa del cultivo, los GM se impusieron alcanzando a ocupar el 100% del área. La resistencia a orugas representó una ventaja efímera que se diluyó con la aparición del picudo del algodnero y la necesidad de realizar un alto número de pulverizaciones con insecticidas para controlarlo. Sin embargo, la tecnología GM está tan arraigada, que difícilmente los productores vuelvan a sembrar variedades convencionales.

La Argentina está claramente atrasada en cuanto a desregulación de eventos e inscripción de variedades GM de algodón, lo que configura una pérdida de competitividad frente a los principales países algodneros. Probablemente, esta situación se explique por la ilegalidad en la que se maneja el mercado de semillas de algodón que desincentiva a las empresas privadas a invertir en el país. El INTA, que inscribió las variedades más adaptadas a las condiciones locales, no cuenta con eventos de su propiedad y difícilmente pueda desarrollarlos en el mediano plazo.

Lejos de contribuir a reducir la cantidad y frecuencia de uso de agroquímicos, el mal manejo de los algodones GM parece haber llevado a

un aumento creciente de las aplicaciones de glifosato, con impactos en el ambiente (suelos, agua), resistencia creciente de algunas malezas, aumento de los costos de producción y la aparición de casos de residuos en la fibra de algunos productos finales.

Todavía no se han reportado casos de resistencia de las plagas del algodón a los insecticidas en Argentina, a pesar de que la exigencia de “cultivos refugio” no se respeta en lo absoluto.

## Bibliografía

- AAPRESID; 2015; Red de Conocimiento en malezas resistentes; Mapas Interactivos. Disponible en <http://www.aapresid.org.ar/rem/mapa-de-malezas/>
- Argenbio; Cultivos aprobados y adopción; 2015. Disponible en <http://www.argenbio.org/index.php?action=cultivos&opt=5>
- Benbrook, Ch.; 2012; Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. – the first sixteen years; Environmental Sciences Europe, 24:24: Disponible en <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/2190-4715-24-24.pdf>
- Boletín Oficial de la República Argentina;  
<https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/135696/20151109>
- CONABIA; 2015; Eventos con autorización comercial;  
[http://www.minagri.gob.ar/site/agregado\\_de\\_valor/biotecnologia/55-OGM\\_COMERCIALES/index.php](http://www.minagri.gob.ar/site/agregado_de_valor/biotecnologia/55-OGM_COMERCIALES/index.php)
- Delssín, E.; 2012; Tendencias algodoneras en Argentina: análisis desde un enfoque prospectivo de los principales parámetros que definen la actividad; Ediciones INTA. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/tendencias-algodoneras-en-argentina.-analsiis-desde-un-enfoque-prospectivo-de-los-principales-parametros-que-definen-la-actividad>
- Elena, M. G.; Ybran R.G.; Lacelli G., A.; 2008; “Evaluación económica de alternativas de sistemas de siembra y cosecha de algodón en localidades de

Santa Fe y Chaco"; Area de Investigación en Ecología y Manejo EEA. INTA Sáenz Peña, Chaco. Arg.

Elena, M. G.; 2001; Ventajas Económicas del Algodón Transgénico en Argentina; Agrolluvia.com; <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/05/INTA-Ventajas-Econ%C3%B3micas-del-Algod%C3%B3n-Transg%C3%A9nico-en-Argentin.pdf> .

Fernandez-Cornejo, J. 2004. The Seed Industry in U.S. Agriculture: An Exploration of Data and Information on Crop Seed Markets, Regulation, Industry Structure, and Research and Development. AIB-786, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture

Fernandez-Cornejo, J.; Wechsler S.; Livingston M.& Mitchell L.; Genetically Engineered Crops in the United States, ERR-162 U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, February 2014.

ICAC; Fact Sheet on Pesticide Use in Cotton Production; April 2012; disponible en [https://www.icac.org/wp-content/uploads/2012/04/seep\\_pesticides\\_facts2.pdf](https://www.icac.org/wp-content/uploads/2012/04/seep_pesticides_facts2.pdf)

ICAC; 2007; Regional Consultation on Biotech Cotton for Risk Assessment and Opportunities for Small Scale Cotton Growers. Disponible en [https://www.icac.org/projects/CommonFund/cfc\\_icac\\_34/summary\\_report\\_marc\\_h07.pdf](https://www.icac.org/projects/CommonFund/cfc_icac_34/summary_report_marc_h07.pdf)

International Cotton Advisory Committee; 2013; Report of the Round Table for Biotechnology in Cotton. Disponible en

[https://www.icac.org/getattachment/tech/Cotton-Biotechnology/RoundTable\\_Report\\_Final.pdf](https://www.icac.org/getattachment/tech/Cotton-Biotechnology/RoundTable_Report_Final.pdf)

ISAA; 2015; International database of Biotech/GM crop approvals. Disponible en <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp>

Palau, H.; Senesi, S; Moggi, Luis; Ordóñez, I.; 2015; Impacto económico macro y micro de malezas resistentes en el agro argentino; ADAMA-FAUBA. Disponible en [http://www.adama.com/argentina/es/Images/Libro-Digital-ADAMA-FAUBA-150422\\_tcm41-61105.pdf](http://www.adama.com/argentina/es/Images/Libro-Digital-ADAMA-FAUBA-150422_tcm41-61105.pdf)

Qaim, M. y Cap, E.; 2002; Algodón Bt en Argentina: Un Análisis de su Adopción y la Disposición a Pagar de los Productores; Instituto de Economía y Sociología, INTA.

- Quirolo, M.E.; 2015; Costo de Producción de Algodón: área de Sáenz Peña, Chaco; inédito.
- Revista Agromercado; 1997; Costo de producción de algodón para Santiago del Estero (secano); Año 11, nº129; Editorial Agromercado.
- Traxler, G.; Falck-Zepeda, J.; The distribution of benefits from the introduction of transgenic cotton varieties; AgBioForum – Volume 2, Number 2 – 1999
- Trigo, E. y Cap E.; Diez años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina; ArgenBio; 2006. Disponible en [http://www.grupoceo.com.ar/Papers/PapersCEO\\_027.pdf](http://www.grupoceo.com.ar/Papers/PapersCEO_027.pdf)
- Trigo, E.; Quince años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina; ArgenBio; 2011. Disponible en [http://www.argenbio.org/adu/uploads/15\\_años\\_Estudio\\_de\\_cultivos\\_GM\\_en\\_Argentina.pdf](http://www.argenbio.org/adu/uploads/15_años_Estudio_de_cultivos_GM_en_Argentina.pdf)
- USDA Advisory Committee on Biotechnology and 21st Century Agriculture (AC21); 2012; Enhancing Coexistence: A Report of the AC21 to the Secretary of Agriculture November 19. Disponible en [http://www.usda.gov/documents/ac21\\_report-enhancing-coexistence.pdf](http://www.usda.gov/documents/ac21_report-enhancing-coexistence.pdf)
- Valorsoja.com; 2014; Crecen las importaciones argentinas de glifosato: los precios del herbicida cayeron 15% en el último año; disponible en <http://www.valorsoja.com/2014/09/24/crecen-las-importaciones-argentinas-de-glifosato-los-precios-del-herbicida-cayeron-15-en-el-ultimo-ano/#.VINbJHYrLcs>
- Wakelyn, P. J. y M. R. Chaudhry. 2010; Cotton: Technology for the 21st Century. Publ. International Cotton Advisory Committee, Washington, DC, USA
- Ybran R. y Lacelli, G.; Costo de producción del algodón en Reconquista, Argentina: Surcos estrechos y cosecha mecánica Javiyu. Campaña 2008-2009. Disponible en <http://www.buscagro.com/detalles/Costo-de-produccion-del-algodon-en-Reconquista--Argentina -S... 46255.html>
- Ybran, R.; 2013; Voces y Ecos Nº 30- Suplemento informativo económico; INTA Reconquista. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/suplemento-economico-voces-y-ecos-no30>

## Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente

*Dres. Virginia Aparicio y José Luis Costa*

*Investigadores de INTA, EEA Balcarce*

### Introducción

En Argentina, amplias porciones de la superficie con predominio de climas templados posibilitaron el desarrollo de suelos muy aptos para la producción agropecuaria. Nuestro sistema productivo está basado fundamentalmente en una combinación de **clima y suelo** que permiten producir materia prima y fibras. Además, el suelo cumple funciones como intervenir en la purificación del agua y la reducción de los contaminantes del suelo, la regulación del clima, la retención de carbono, entre otras, por lo que puede conceptualizárselo como un **reactor bio-físico-químico**, capaz de filtrar, depurar, y regular ciclos biogeoquímicos (Comerford, 2003; FAO, 2015).

En nuestro sistema productivo actual, donde han ganado aceptación los sistemas de siembra directa y los cultivos transgénicos resistentes a herbicidas, los plaguicidas constituyen un grupo de moléculas ampliamente utilizadas. Ante esta realidad surgen algunos interrogantes, entre ellos, cuál es el destino ambiental de los plaguicidas luego de ser aplicados y, si los mismos, podrán alterar las funciones del suelo.

## **El glifosato como objeto de atención en los interrogantes gubernamentales y científicos**

El alto consumo de plaguicidas, y especialmente de glifosato, ha despertado el interés de la comunidad científica y de la sociedad en general. En el año 2009, mediante el Decreto 21/2009, se creó en nuestro país la Comisión Nacional de Investigación sobre Agroquímicos que publicó, ese mismo año un extenso informe (Informe CONICET). La comisión evaluó la información científica vinculada a los efectos del glifosato sobre la salud humana y el ambiente, afirmando la escasez de datos sobre concentraciones de glifosato y productos de degradación en diferentes matrices ambientales de nuestro país. A su vez, sugirieron controlar sistemáticamente las concentraciones del herbicida en el ambiente y evaluar, en el largo plazo, los efectos que produce sobre especies vegetales y animales. Al mismo tiempo, se dieron a conocer malformaciones embrionarias debidas al glifosato, aunque el trabajo no hacía mención de la posibilidad de que el glifosato pudiera ocasionar cáncer (Paganelli et al., 2010).

Posteriormente, en el año 2015, la IARC (International Agency for Research on Cancer), realizó una importante revisión de la literatura científica publicada por los expertos mundiales en el tema, y reclasificó al glifosato como “probable carcinogénico para el ser humano” (Grupo 2 A), es decir, que existen pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos y pruebas suficientes de carcinogenicidad en animales de experimentación.

Esto desató un debate a nivel internacional donde, la EFSA (European Food Safety Authority) afirma que el glifosato es poco probable que suponga un riesgo carcinogénico para los humanos, siendo que la evidencia no apoya la clasificación con respecto a su potencial carcinogénico. Sin embargo, los argumentos en los que se apoya esta afirmación son resultados que no han sido publicados científicamente. Por su parte, 94 investigadores sostienen que la evaluación de la IARC, en la que se clasificó al glifosato como probable carcinogénico para los humanos, refleja con precisión los resultados de la literatura científica publicados sobre este herbicida (Portier et al., 2016). En defensa del trabajo de la IARC, 124 investigadores afirman que las monografías de la IARC han hecho, y siguen haciendo, las principales contribuciones a los cimientos científicos para las acciones de mejora de la salud pública. Los autores agregan que el debate y la crítica facilitan la auto-corrección y comprobación de la validez de la ciencia. Sin embargo, las críticas expresadas por una minoría respecto a las evaluaciones de algunos agentes “plaguicidas, en este caso”, pueden promover el menosprecio de un proceso que ha servido a la salud pública durante muchas décadas, por razones que no son compatibles con los datos científicos (Pearce et al., 2015). En ese sentido, 12 investigadores hicieron un exhaustivo trabajo de recopilación, para la cual consideraron toda la literatura disponible que describe los usos y mecanismos de acción del glifosato, su toxicidad en animales de laboratorio y estudios epidemiológicos. Concluyeron que, las

estimaciones de reguladores de ingestas diarias tolerables para el glifosato, en los EEUU y la Unión Europea, se basan en ciencia obsoleta, e invitan a revisar los umbrales de ingesta actuales (Myers et al., 2016).

### **Los caminos del glifosato y su detección en distintos compartimentos ambientales**

La aplicación agronómicamente correcta de un plaguicida (en este caso el glifosato) no asegura que su destino final sea la plaga a controlar. Desde el momento de la aplicación, los “caminos del glifosato” son varios y su masa se disipa en el ambiente, por ej: i.-, una parte suele quedar suspendida en el aire o adherida al material particulado de la atmósfera, y puede volver a caer al suelo tras una precipitación, o trasladarse a otras áreas donde no fue aplicado, por el efecto del movimiento de las masas de aire (erosión eólica), ii.- el agua de escurrimiento, ya sea por exceso de precipitaciones o riego puede provocar el traslado de la molécula a cursos de agua superficial, iii.- puede lixiviar a través del perfil de suelo hacia el agua subterránea e incluso puede ser absorbido por el cultivo y tener como destino, el grano o la fibra (nuestro producto final).

#### *Presencia de glifosato en aire y agua de lluvia:*

En el año 2011 se reportaron concentraciones de glifosato en aire, pero se desconocía el porcentaje de glifosato aplicado que se introduce en este compartimento ambiental, lo cual impide realizar balances de masas sobre lo que ingresa y se detecta en la atmósfera (Chang et al., 2011). Los

investigadores cuantificaron la concentración de glifosato en el agua de lluvia en tres Estados de EE.UU., durante dos años, y encontraron que los valores mínimos son del orden de 0,15 µg/l y los máximos de 0,2 µg/l (Chang et al., 2011). Más tarde, se reportaron concentraciones en suelo, agua superficial, agua subterránea y en el agua de precipitación, afirmando que la mayor parte del glifosato que está en el aire es removido por una precipitación superior a 30 mm, a la vez que estimaron que un 0,7% de lo aplicado es removido por las lluvias (Battaglin et al., 2014).

Si se toman las concentraciones de glifosato detectadas en el agua de lluvia publicadas por Chang et al. (2011) y se afectan esos valores por las lluvias promedio, se puede estimar cuántos kg de glifosato lloverían por ha. Este cálculo indica que entre 0,5 y 1,0 kg de glifosato por ha habrían precipitado en dichos Estados (Tabla 1).

**Tabla 1. Estimación de glifosato presente en el agua de lluvia**

| Localidad   | Año  | Glifosato (µg/L) | Lluvia (mm) | Glifosato (Kg/ha) |
|-------------|------|------------------|-------------|-------------------|
| Mississippi | 2007 | 0,2              | 443         | 0,89              |
|             | 2008 | 0,15             | 443         | 0,66              |
| Iowa        | 2007 | 0,2              | 545         | 1,09              |
|             | 2008 | 0,1              | 545         | 0,55              |
| Indiana     | 2004 | 0,14             | 661         | 0,93              |

Fuente: Elaboración propia en base a Chang et al., (2011)

En Argentina, existen reportes publicados en un congreso científico, con una media de 6,5 µg/l y una máxima de 67,3 µg/l (Alonso et al., 2014)

mientras que en la Estación Experimental Balcarce (EEA) de INTA, se están midiendo las concentraciones de glifosato en agua de lluvia (datos no publicados) en el orden de los reportados por Chang et al., (2011). Esta información es muy importante dado que, en algunas partes, como es el caso de Santiago del Estero, la población consume el agua de lluvia almacenada en aljibes. Los relevamientos realizados hasta el momento en áreas urbanas y rurales de las localidades de Bandera y Sachayoj permiten observar que, tanto glifosato como AMPA, su principal metabolito de degradación, aparecen en alrededor del 80% de las muestras y atrazina, en el 100% de las muestras (Mas et al., 2016). Las concentraciones promedio de glifosato y AMPA son más altas que para el resto de las moléculas presentes en el agua. Este resultado permite afirmar que, la población de estas localidades está incorporando en su dieta agua con un elemento probablemente carcinogénico, además de otros compuestos posiblemente carcinogénicos, como el 2,4-D, que también ha sido detectado. En el agua de lluvia almacenada en aljibes, en Pampa del Infierno (pcia. de Chaco) se detectó la presencia de varios plaguicidas, entre ellos glifosato y AMPA (Bonilla et al., 2017).

En cuanto a la detección de glifosato en material particulado, se ha trabajado en colaboración con un grupo de La Pampa, cuantificando la presencia de este herbicida a distintas alturas de muestreos, utilizando el sedimento obtenido en las parcelas de erosión eólica con muestreadores pasivos. Se encontró que la concentración de glifosato en las muestras

aumenta a medida que aumenta la altura de muestreo, lo cual se debe a que el material que se moviliza a mayor altura es el más fino. Este resultado preliminar, condujo al grupo de investigación a trabajar en túneles de viento y evaluar el enriquecimiento de las partículas de menos de 10 micrómetros con glifosato y AMPA. Los autores reportaron que el polvo respirable tenía 4 a 17 veces más glifosato y 4 a 9 veces más ácido aminometilfosfónico (AMPA) que las fuentes de emisión (suelo y fracciones de tamaño agregado). Esto indica que el glifosato y el AMPA se acumulan en el polvo respirable y que potencialmente puede ser una fuente de contaminación del aire en la región estudiada (Mendez et al., 2017).

#### Glifosato en suelo:

Cuando el glifosato ingresa al suelo, se producen procesos de adsorción y desorción. El glifosato adsorbido a los coloides del suelo puede disiparse por acción del viento (erosión eólica) o del agua (erosión hídrica) mientras que el glifosato desorbido queda disponible para ser degradado microbiológicamente o lixivarse, ante la presencia de agua. Estos procesos son muy dinámicos y dependen de diferentes condiciones y factores ambientales.

En cuanto a la cantidad de glifosato que se disipa, se ha reportado en condiciones experimentales para suelos de Paraná y Pergamino, que el 40% del glifosato está presente a los 60 días posteriores de la aplicación, mientras que en Manfredi llega al 20% (Okada et al., 2017); esto se debe a

que, de acuerdo a los estudios de retención, este último sitio fue el que menos retención presentó (Okada et al., 2016).

La distribución de glifosato y AMPA en profundidad para suelos bajo ensayos de larga duración de INTA, es mayor en los primeros centímetros (Aparicio et al., 2018). Esta información fue obtenida también en lotes bajo producción de cultivo (Lupi et al., 2015).

En relación a la translocación y distribución de glifosato por las plantas, aún no se cuenta con demasiados estudios. Sin embargo, en un trabajo realizado por Hetherington et al. (1999) se concluyó que los tejidos jóvenes de los brotes y raíces son grandes sumideros para la acumulación de este herbicida; y sugirieron que el glifosato entra en los cultivos transgénicos y se transloca aproximadamente entre el 25 y 40% de la dosis aplicada, dependiendo de la dosis.

Por otra parte, cuando se aplica glifosato, una parte queda retenida en el suelo y otra, en el cultivo o la maleza. En el suelo hay una alta probabilidad de mineralización; pero cuando lo que se está incorporado en el suelo proviene de material vegetal, está mucho más protegido, por lo cual la mineralización es mucho más lenta y tiende a perdurar más tiempo en el ambiente (Mamy et al., 2016). Esto sugiere que existe una gran posibilidad de que el cultivo envíe glifosato hacia horizontes sub-superficiales del suelo, lo cual explicaría su presencia en profundidad cuando también hemos mencionado que es fuertemente retenido en los primeros centímetros del suelo (Laitinem et al., 2007).

Presencia de glifosato en aguas superficiales y subterráneas:

Actualmente, se está trabajando en la cuenca del Arroyo Crespo, ubicada cerca de la EEA Balcarce. En ella se realizaron muestreos del agua subterránea y superficial, desde abril del 2015 hasta abril de 2016, y se detectaron concentraciones de glifosato en el orden de los 0,4 µg/L y 0,3 µg/L, respectivamente (Okada et al., 2017). Debido a que el agua subterránea es aportante al arroyo, es de esperar que las concentraciones sean similares. La parte alta de la Cuenca es meramente agrícola, a diferencia de la parte baja, que es ganadera. Al calcular la cantidad de glifosato que recibe la parte baja, que no utiliza este herbicida, se encontró que la externalidad que produce la parte alta sobre la baja es a razón de 0,2 g/ha/año de glifosato.

En el agua subterránea de Colonia La Suiza (partido de Lobería, prov. de Buenos Aires), se detectaron valores superiores a los permitidos por la Comunidad Económica Europea, que fija como valor máximo permitido por molécula 0,1 µg/l, y para la suma de moléculas 0,5 µg/l. Argentina no cuenta con una legislación que fije estos valores, por ello se toma como referencia los de la Comunidad Europea (Aranguren comunicación personal).

Adsorción de glifosato por las raíces:

En grano de soja producida orgánicamente, soja producida de manera convencional y soja genéticamente modificada, se reportó que había presencia de glifosato y AMPA en esta última (Bøhn, et al., 2014).

Además, se evaluó la incidencia del glifosato sobre la susceptibilidad de las plantas a tener enfermedades, y encontraron que, a menudo, las dosis recomendadas de glifosato son mayores a las realmente necesarias para el control de malezas (Johal et al., 2009). Dichos autores recomiendan el uso del herbicida en dosis tan pequeñas como sea necesario, y agregan que un enfoque tan simple no sólo puede reducir la predisposición a la enfermedad de los cultivos, sino que también puede beneficiar al agricultor y al medio ambiente.

### *Presencia de glifosato en alimentos y elementos de higiene personal*

Desde hace relativamente poco tiempo, se ha empezado a detectar glifosato en algunos alimentos y elementos de higiene personal. Tal es el caso de la detección de glifosato en miel, provenientes de distintas partes del mundo (Rubio et al., 2014) y, un grupo de investigación de la Universidad Nacional de La Plata informó sobre la detección de este herbicida en elementos de higiene personal, tales como algodones, gasas, toallitas femeninas, tampones e hisopos.

Un trabajo de monitoreo sobre muestras de orina humana, durante el periodo 2011 a 2015 permitió señalar que una porción significativa de la población está excretando glifosato por orina en cantidades superiores a los niveles permitidos por la Unión Europea (0,1 µg/l) en el agua de consumo (Conrad et al., 2017).

## Reflexiones finales

El concepto de eficiencia de uso de los insumos es ampliamente conocido en las prácticas agronómicas. Sin embargo, **no se ha incorporado el concepto de eficiencia en el uso de plaguicidas**. Argentina produce poco menos de una tonelada de grano por kg de ingrediente activo de herbicida empleados (Aparicio et al., 2015), lo que nos hace un país muy poco eficiente en el uso de estos insumos.

Los plaguicidas son herramientas en el sistema productivo que deben ser utilizadas con responsabilidad, luego de haber agotado otras alternativas de manejo agronómico para el control de plagas. Es muy importante trabajar a favor de una significativa reducción del uso de plaguicidas en la producción de materias primas (granos y fibras).

## Bibliografía

- Alonso, L.L.; Ronco, A.E.; Marino, D.J. (2014). Niveles de Glifosato y Atrazina en aguas de lluvia de la Región Pampeana. Congreso SETAC Argentina. Neuquén 2014.C15.Pag 40. <http://congresosetacnqn.com.ar>
- Aparicio, V; Costa, J.L & De Gerónimo, E. 2018. Accumulation of Glyphosate and AMPA, “pseudo-persistent” pollutants in long-term experiments under no-till and conventional tillage. Vol. 20, EGU2018-1559, EGU General Assembly
- Battaglin, W. A., Meyer, M. T., Kuivila, K. M., & Dietze, J. E. (2014). Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in US soils, surface water, groundwater, and precipitation. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 50(2), 275-290.
- Bonilla Y, Arreghini S, Lobert F, Aparicio V, Serafini R, Iorio F, Korol S & Gallego A. 2017. Análisis de la calidad del agua de consumo en una población rural de la

- provincia de Chaco. Congreso Internacional Agua, Ambiente y Energia, Mendoza, Argentina
- Bøhn, T., Cuhra, M., Traavik, T., Sanden, M., Fagan, J., & Primicerio, R. (2014). Compositional differences in soybeans on the market: glyphosate accumulates in Roundup Ready GM soybeans. *Food chemistry*, 153, 207-215.
- Conrad, A; Schröter-Kermania, C; Wolfgang Hoppe, H; Rüthera, M; Pieper, S; Kolossa-Gehring, M. 2017. Glyphosate in German adults – Time trend (2001 to 2015) of human exposure to a widely used herbicide. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 220 (1): 8-16
- Chang, F. C., Simcik, M. F., & Capel, P. D. (2011). Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(3), 548-555.
- CNIA (2009). Comisión Nacional de Investigación sobre Agroquímicos. Decreto 21/2009. Informe: Evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente. Disponible en: <http://www.msal.gob.ar/agroquimicos/pdf/INFORME-GLIFOSATO-2009-CONICET>.
- Comerford N. (2003). Soil: Largest reactor on the planet? <https://soilsmatter.wordpress.com/2013/12/02/soil-largest-reactoron-the-planet/> Consulta Noviembre 2015
- Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. <http://faostat3.fao.org/home/E>. Consulta: Noviembre 2015.
- International Agency for Research on Cancer (IARC) <https://www.iarc.fr/>
- Johal, G. S., & Huber, D. M. (2009). Glyphosate effects on diseases of plants. *European Journal of agronomy*, 31(3), 144-152.
- Hetherington, P. R., Reynolds, T. L., Marshall, G., & Kirkwood, R. C. (1999). The absorption, translocation and distribution of the herbicide glyphosate in maize expressing the CP-4 transgene. *Journal of Experimental Botany*, 50(339), 1567-1576.
- Laitinen, P., Rämö, S., & Siimes, K. (2007). Glyphosate translocation from plants to soil—does this constitute a significant proportion of residues in soil?. *Plant and Soil*, 300(1-2), 51-60.

- Lupi, L., Miglioranza, K. S., Aparicio, V. C., Marino, D., Bedmar, F., & Wunderlin, D. A. (2015). Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina. *Science of the Total Environment*, 536, 687-694.
- Mamy, L., Barriuso, E., & Gabrielle, B. (2016). Glyphosate fate in soils when arriving in plant residues. *Chemosphere*, 154, 425-433.
- Mas, L; Aparicio, V; De Gerónimo. D & Costa, J. L. 2017. Pesticides in water sources from the East of Santiago del Estero, Argentina. EGU General Assembly
- Mendez, M.; Aimar, S; Aparicio, V; Ramirez Haberkon, N; Buschiazzo, D; De Gerónimo, E & Costa, J.L. 2017. Glyphosate and Aminomethylphosphonic acid (AMPA) contents in the respirable dust emitted by an agricultural soil of the central semiarid region of Argentina. *Aeolian Research* 29:23–29
- Myers, J. P., Antoniou, M. N., Blumberg, B., Carroll, L., Colborn, T., Everett, L. G., & Vandenberg, L. N. (2016). Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. *Environmental Health*, 15(1), 19.
- Okada, E., Costa, J. L., & Bedmar, F. (2016). Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. *Geoderma*, 263, 78-85.
- Okada, E, Costa J.L & Bedmar F. 2017. Glyphosate Dissipation in Different Soils under No-Till and Conventional Tillage. *Pedosphere*, en prensa
- Paganelli, A., Gnazzo, V., Acosta, H., López, S. L., & Carrasco, A. E. (2010). Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling. *Chemical research in toxicology*, 23(10), 1586-1595.
- Pearce, N., Blair, A., Vineis, P., Ahrens, W., Andersen, A., Anto, J. M., ... & Bertazzi, P. A. (2015). IARC monographs: 40 years of evaluating carcinogenic hazards to humans. *Environmental health perspectives*, 123(6), 507.
- Portier, C. J., Armstrong, B. K., Baguley, B. C., Baur, X., Belyaev, I., Bellé, R., ... & Budnik, L. T. (2016). Differences in the carcinogenic evaluation of glyphosate between the International Agency for Research on Cancer (IARC) and the European Food Safety Authority (EFSA). *Journal of epidemiology and community health*, jech-2015.

Rubio, F., Guo, E. & Kamp, L. (2015). Survey of glyphosate residues in honey, corn and soy products. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 5(1), 1.

**Salud humana, legislación y aprobación de plaguicidas en  
Argentina**

## Modelos productivos y salud

*Médicos Giovana Bonisoli, Damián Verzeñassi, Javier Albea y Gabriel*

*Kepl*

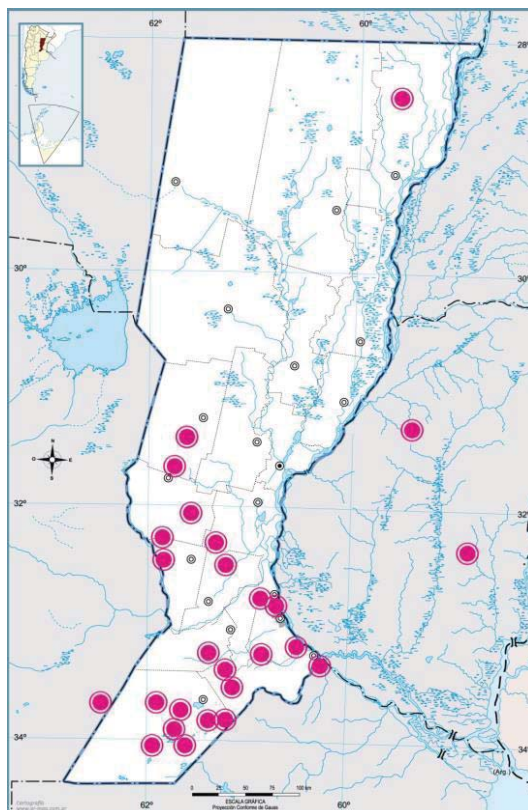
*Instituto de Salud Socioambiental de la Facultad de Cs Médicas*

*Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe*

Una buena salud necesita de una buena alimentación, pero para una buena alimentación hace falta una buena agricultura; no se puede tener una buena agricultura en un territorio que no es saludable. Ésta es una extraordinaria definición de salud, una extraordinaria definición de por qué y desde dónde encaramos la perspectiva de la salud.

La Facultad de Ciencias Médicas de Rosario, es parte de una Universidad Pública que asume el compromiso de devolverle a la comunidad lo que la comunidad aporta con sus impuestos para que la Facultad exista; se intenta formar profesionales que tengan un compromiso asumido con la salud. Nuestra estrategia docente fue instalar, como elemento de evaluación de los estudiantes universitarios, un dispositivo que nos permitiera trabajar en las comunidades de menos de 10.000 habitantes, y allí, empezar a construir los perfiles epidemiológicos.

Esta iniciativa comenzó en el año 2010, y en la actualidad hemos visitado 27 comunidades de menos de 10.000 habitantes, pertenecientes a las provincias de Entre Ríos, Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires (Figura 1).



**Figura 1. Comunidades relevadas**

Fuente: Elaboración propia

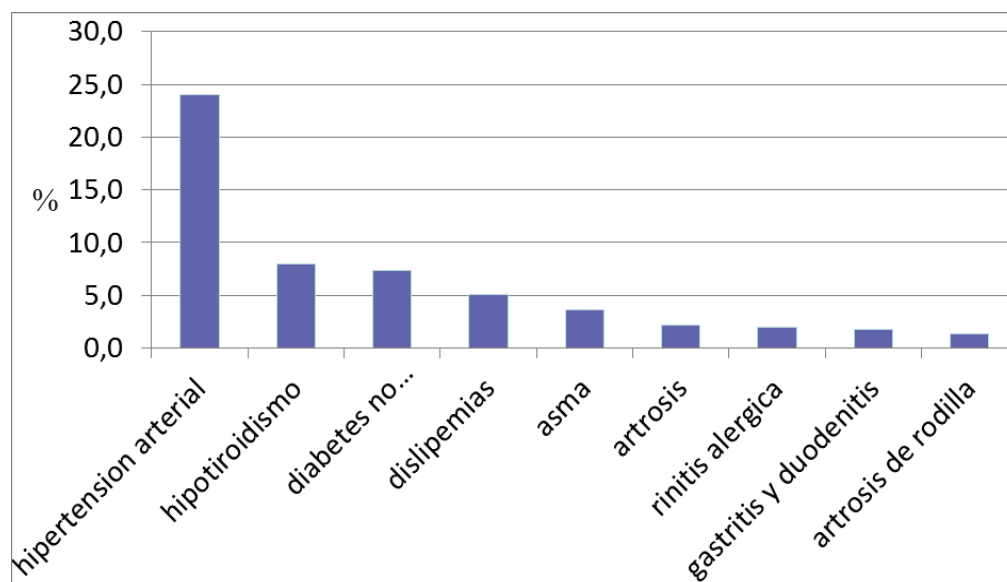
La actividad desarrollada en cada localidad relevada consistió en la instalación de un campamento sanitario mediante el cual se tomaron datos de morbo y mortalidad, como así también de enfermedades que expresaba la población en un período de diez años atrás hasta la actualidad, como así también de las condiciones socio-ambientales y sanitarias en las cuales

viven. Las encuestas estaban orientadas a los grupos familiares, siendo que hasta el momento se realizaron 96.874 encuestas, logrando un alcance de 151.799 habitantes.

Hemos establecido cuáles son los principales problemas de salud. La información relevada en esta iniciativa difiere de la generada por el Ministerio de Salud de la Nación sobre los principales problemas de salud en Argentina. Encontramos que, en estas localidades, los principales problemas de salud que se encuentran son la hipertensión (arterial) y la diabetes; seguidos por los problemas de la glándula tiroides y respiratorios, que no son los terceros y los cuartos problemas de salud más frecuentes en nuestro país.

Lo anterior llama la atención, entre otras cosas, porque una alteración de la glándula tiroides es una expresión de una alteración del sistema endócrino, lo cual significa que todo el sistema que regula el funcionamiento de nuestro cuerpo está alterado.

En el Figura 2 se muestran las principales patologías crónicas manifestadas por la población relevada.

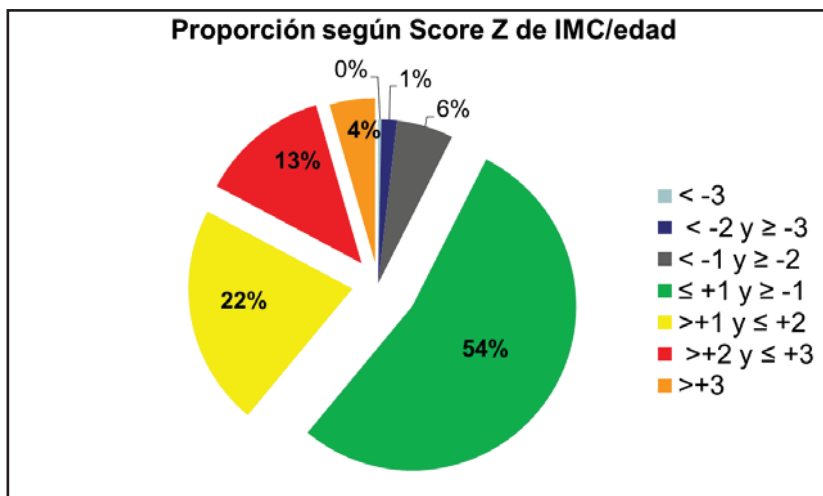


**Figura 2. Patologías crónicas**

Fuente: Elaboración propia

El Score o puntuación z, en pediatría, es un puntaje que indica qué tan lejos de la mediana de la curva de crecimiento se ubica una medición de índice de masa corporal dividido por la edad de un individuo (puntuación de desviación estándar). Las líneas de referencia de las curvas de crecimiento (etiquetadas 1, 2, 3, -1, -2, -3) son llamadas líneas de puntuación z; indican cuantos puntos arriba o debajo de la mediana (puntuación  $z = 0$ ) se ubica una medición. De esta forma se puede comparar el crecimiento de distintas poblaciones, en nuestro trabajo observamos que, los niños de esas localidades, están entre un 20 y un

30% en los grupos de sobrepeso u obesidad (Figura 3). Esto significa que tienen una alteración de su sistema metabólico.



**Figura 3. Obesidad y sobrepeso infantil sobre 10750 niños evaluados en edad escolar (3-12 años)**

Fuente: Elaboración propia.

Además, aparecen los problemas neurológicos en personas jóvenes (<50 años): Parkinson, Alzheimer, trastornos de memoria, etc. Estos problemas de salud están asociados a la exposición de determinados tipos de sustancias químicas y el cáncer. Por ejemplo, Moisan et al. (2015) encontraron una asociación entre la exposición ocupacional a pesticidas y la Enfermedad de Parkinson en hombres; Hu et al (2016) hallaron que la exposición a atrazina activaría señales químicas

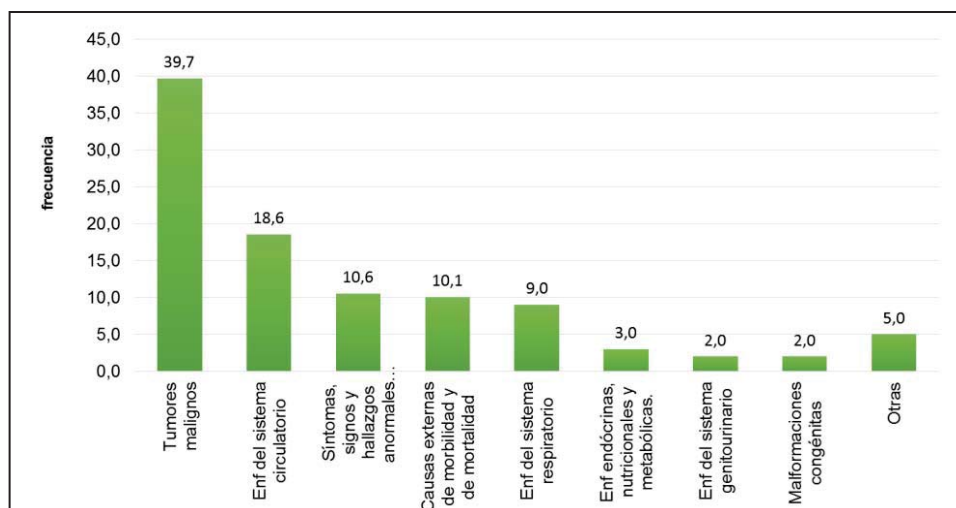
dependientes de STAT3, lo cual induciría la proliferación celular en las células RM1 en cáncer de próstata. Por su parte, Samsel et al (2015) analizaron el efecto del glifosato sobre el metabolismo del manganeso y arribaron a la conclusión de que el glifosato interfiere a través de varias formas, pudiendo derivar en hepatopatías, ansiedad, Enfermedad de Parkinson, autismo. Vale agregar que la deficiencia de manganeso reduce la movilidad espermática y la mineralización ósea, a la vez que otras enfermedades, como enfermedad inflamatoria del intestino, litiasis renal, colestasis y disfunción tiroidea pueden ser explicadas por la desregulación del uso del manganeso por el glifosato.

Asimismo, Samsel et al (2013) encontraron que el glifosato interfiere con las enzimas del citocromo P450 (CYP), actúa sinérgicamente con la disrupción de la biosíntesis de aminoácidos por la flora intestinal, así como en la alteración del transporte de sulfato en el suero. Como consecuencia, se pueden citar enfermedades asociadas a la dieta occidental como: desórdenes gastrointestinales, obesidad, diabetes, enfermedad cardíaca, depresión, autismo, infertilidad, cáncer y enfermedad de Alzheimer.

En ese sentido, si tomamos por ejemplo, los pueblos de las comunidades que hemos asistido y comparamos los datos obtenidos con los del Ministerio de Salud de la Nación, encargado de la publicación de las estadísticas referidas a la cantidad de casos nuevos de cáncer en la Argentina, cada 100.000 habitantes en el año 2008, 206 fueron

diagnosticados de cáncer. En el promedio de los pueblos, en el 2008, cada 100.000 argentinos hubiesen sido diagnosticados de cáncer 368,6, es decir 1,8 veces más. Encontramos en algunos pueblos incluso que, mientras para Argentina la tasa era 206 cada 100.000, en esos pueblos era 713,7 cada 100.000. Nos hemos preguntado “¿fue siempre igual?”. Entonces analizamos el total de casos de cáncer que había en dichas localidades en el momento de la visita; es decir, la prevalencia: el total de casos que existen, independientemente de cuando fueron diagnosticados. Luego nos preguntamos, en los últimos 15 años cuáles fueron los casos de cáncer que se diagnosticaron, y dividimos esos 15 años en tres periodos de 5 años: desde el año 1996 al 2001, desde el 2002 al 2006 y desde el 2007 al 2011 para realizar la consulta a la comunidad. Encontramos que en los últimos 5 años se diagnosticaron la misma cantidad de cánceres que se habían diagnosticado en los 10 años anteriores. Las principales causas de fallecimiento en los últimos 15 años, en 3 de los 23 pueblos visitados fue el cáncer, y le siguen, muy de lejos, las enfermedades cardiovasculares que son, en Argentina, la principal causa de muerte (Figura 4).

Cuando consideramos a cuántos metros viven las personas visitadas de territorios que son fumigados, vemos que las comunidades han quedado en un 70, 75 y hasta un 80% expuestas a menos de 1000 metros de las áreas de utilización de estas sustancias agrotóxicas.



**Figura 4. Causas de fallecimiento**

Fuente: Elaboración propia

En Argentina, desde la Universidad Pública y la carrera de Medicina estamos convencidos de que podemos contribuir, basados en el respeto por el hombre y la naturaleza, al desarrollo de profesionales criteriosos y sólidos que trabajen por y para una sociedad más justa, con acceso a alimentos saludables para todos.

## Bibliografía

Samsel A, Seneff S. 2015. Glyphosate, pathways to modern diseases III: Manganese, neurological diseases, and associated pathologies. Surg Neurol Int

2015; 6: 45. Available FREE in open access from:  
<http://www.surgicalneurologyint.com/text.asp?2015/6/1/45/153876>

Samsel, A., Seneff, S. Glyphosate's Suppression of Cytochrome P450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases. *Entropy* 2013, 15, 1416-1463.

Hu K, Tian Y, Du Y, Huang L, Chen J, Li N, Liu W, Liang Z, Zhao L. 2016. Atrazine promotes RM1 prostate cancer cell proliferation by activating STAT3 signaling. *Int J Oncol* 2016 May;48(5):2166-74. doi: 10.3892/ijo.2016.3433. Epub 2016 Mar 10.

Moisan F, Spinosi J, Delabre L, Gourlet V, Mazurie JL, Bénatru I, Goldberg M, Weisskopf G, Imbernon E, Tzourio C, Elbaz A. 2015. Association of Parkinson's disease and its subtypes with agricultural pesticide exposures in men: a case-control study in France. *Environ Health Perspect* 123:1123-1129; <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1307970>

## **La salud humana y el régimen legal de aprobación y control de plaguicidas**

*Dres. Aldo P. Casella y Ana Clara Del Zotto  
Facultad de Derecho y Ciencias Sociales y Política  
Universidad Nacional del Nordeste*

### **Competencia en aprobación y utilización de plaguicidas.**

#### **Normas nacionales sobre utilización y control**

En nuestro sistema jurídico-institucional, el comercio interjurisdiccional es materia federal y, por ello, es competencia de la Nación la aprobación y prohibición de productos fitosanitarios, el registro de los productos aprobados y la fiscalización del mercado para identificar violaciones a la normativa vigente, como en el supuesto de uso de productos prohibidos o no aprobados.

Por su parte, las Provincias conservan el poder de policía y la regulación de la adecuada utilización de plaguicidas en sus territorios. En ejercicio de esa función, la legislación provincial es abundante. Entre las medidas que adoptan están la de establecer registros de operadores, de expendedores y profesionales autorizantes. Una herramienta recurrente es la determinación de distancias mínimas de fumigación a partir de la “línea agronómica” de pueblos y ciudades. La distancia puede depender de la modalidad aérea o terrestre de la aplicación, y de la clasificación toxicológica, lo que pone en evidencia la importancia de los criterios

adoptados al respecto por las normas nacionales.

Sin perjuicio de las competencias provinciales, la Resolución 500/2003 del SENASA, creó el “Sistema Federal de Fiscalización de Agroquímicos y Biológicos (SIFFAB)”. Considera que para lograr un control eficaz tanto de los productos como de los equipos aplicadores, a fin de velar por la salud poblacional y el medio ambiente es necesario instrumentar un Sistema de Fiscalización que sea federal, asegurando la trazabilidad de los productos, con acciones implementadas en conjunto y coordinadas con todos los participantes (Gobiernos Provinciales, SENASA, INTA, Profesionales, Cámaras Empresarias). Aunque deja claro que la legislación vigente en materia de productos fitosanitarios otorga al SENASA la responsabilidad de registrarlos, estima que mediante el Sistema se podrán mejorar sustancialmente las condiciones de manipuleo y utilización de productos fitosanitarios y fertilizantes a través de la instrumentación y fortalecimiento de las actividades de post-registro.

Vinculada a las etapas de utilización, recientemente se aprobó la ley 27.279 que establece los *presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de los envases vacíos de fitosanitarios*, en virtud de la toxicidad del producto que contuvieron, generando un Sistema de Gestión Integral de Envases Vacíos de Fitosanitarios. Cabe también destacar la ley 27.233 promulgada en diciembre de 2015, que declara de interés nacional la sanidad de animales y vegetales, la producción, inocuidad y calidad de los agroalimentos, los insumos agropecuarios

específicos y *el control de los residuos químicos y contaminantes químicos y microbiológicos en los alimentos*. La norma respalda las competencias y facultades del SENASA de establecer sistemas de control de sanidad y calidad de animales y vegetales y sus productos, subproductos y derivados en las etapas de producción, transformación y acopio, incluyendo en cuanto interesa a este informe a los fitosanitarios. A la vez, establece la *responsabilidad primaria e ineludible* de toda persona física o jurídica vinculada a la cadena agroalimentaria, y declara que la intervención de las autoridades sanitarias en cuanto corresponda a su actividad de control no *exime la responsabilidad directa o solidaria de los distintos actores de la cadena agroalimentaria respecto de los riesgos, peligros o daños a terceros que deriven de la actividad desarrollada*.

## **Los agroquímicos y el derecho a la salud como derecho humano**

El dictado del Decreto 21/2009, que creó la COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACION, para la investigación, prevención, asistencia y tratamiento en caso de intoxicación o que afecten, de algún modo, la salud de la población y el ambiente, con productos agroquímicos en todo el territorio nacional (art. 1), constituye un avance trascendente en relación a los compromisos del Estado Nacional en resguardo de la salud por eventuales consecuencias nocivas de la utilización de agroquímicos. Es así pues que *declara que en el problema está involucrado el derecho a la*

*salud como derecho humano*. En efecto, sus fundamentos invocan como punto de partida los casos denunciados por intoxicación con agroquímicos por fumigación de campos linderos al Barrio Ituzaingó de la ciudad de Córdoba, que salieron a la luz luego de haberse detectado determinadas enfermedades oncológicas y diversas patologías en los vecinos. De allí que, considera, resulta imperioso promover opciones seguras para el ambiente y todos los seres vivos en el uso de químicos, como en su caso en el reemplazo de ellos cuando su uso tiene consecuencias perjudiciales para la salud de las personas. Luego advierte que en la materia tienen competencias concurrentes la Nación y las provincias, y que de una primera lectura surge que cualquier acción que emprenda el Estado Nacional en esta temática podría – a priori- implicar gestionar, al menos parcialmente, en ámbitos jurisdiccionales ajenos a su competencia. Sin embargo, analizando en forma más profunda los derechos en juego, considera que a partir de lo dispuesto en los Tratados Internacionales de Derechos Humanos con jerarquía constitucional, se reconoce *el derecho a la preservación de la salud – como parte integrante del derecho a la vida – que asiste a todos los habitantes de la Nación con carácter de derecho fundamental*. De modo que el Estado Nacional debe garantizar ese derecho con acciones positivas y le corresponde velar por el derecho a la salud, sin desmedro de las atribuciones provinciales, justificando así la creación de la Comisión y las acciones que encomienda.

Invocando el mismo decreto, y con fundamento también en los

tratados y compromisos internacionales en salud y medio ambiente, el Ministerio de Salud por Resolución N° 900/2009 otorgó carácter permanente a la *Comisión Asesora sobre la Gestión Nacional de Plaguicidas de Uso Sanitario* creada por la Resolución 1141/2004. Asimismo, en el año 2010, por Resolución N° 276, el mismo Ministerio creó el *Programa Nacional de Prevención y Control de Intoxicaciones por Plaguicidas*. Incluye dentro de los plaguicidas alcanzados por el programa a los químicos de uso agrícola. Considera que los plaguicidas son tóxicos para el ser humano y el ambiente, y establece como objeto del Programa identificar y relevar factores de riesgo para la población y vigilar las intoxicaciones con plaguicidas en todo el territorio nacional, con el fin de proponer y desarrollar mejoras en actividad de prevención y control. Compromete promover estudios epidemiológicos sobre la incidencia de tumores y malformaciones congénitas y su posible asociación con la exposición a plaguicidas, y proyecta un subsistema de Vigilancia que incluirá dentro de su objeto de estudio las exposiciones o intoxicaciones causadas por plaguicidas prohibidos o restringidos, en condiciones de desvío de uso o uso inadecuados y las originadas por contaminaciones de alimentos, suelos y aguas.

## **Aprobación y registro. Procedimiento y criterios.**

### **Clasificación toxicológica**

La aprobación y registro de productos fitosanitarios de competencia nacional, está actualmente regido por la Resolución 350/99 de la entonces Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación, modificatoria de la resolución 440/98, que aprueba el “Manual de procedimientos, criterios y alcances para el registro de productos fitosanitarios en la República Argentina”. La aplicación es competencia del SENASA, y de acuerdo al artículo 1, el objeto del Manual es establecer los procedimientos, criterios y alcances para el registro, a fin de aprobar la venta y utilización de los productos fitosanitarios *previa evaluación de datos científicos suficientes que demuestren que el producto es eficaz para el fin que se destina y no entraña riesgos indebidos a la salud y el ambiente*. El otorgamiento del registro de un Producto Fitosanitario tiene como alcance permitir su comercialización de acuerdo con el Decreto N° 3489/58. Dicho Decreto-Ley de 1958, al que remite el Manual y que continúa vigente, sometió al contralor del Ministerio de Agricultura y Ganadería a la venta en todo el territorio nacional “de productos químicos o biológicos, destinados al tratamiento y destrucción de los enemigos animales y vegetales de las plantas cultivadas o útiles, así como de los coadyuvantes de tales productos”, estableciendo la clasificación de los productos y disponiendo la intervención y posterior comiso de toda partida de producto no inscripto. También incide en la autorización de empleo la

Ley 20418 de 1973 relativa a las tolerancias y límites administrativos de plaguicidas y subproductos de la agricultura y de la ganadería.

Determina el Manual los procedimientos necesarios para la obtención del Registro de Productos Fitosanitarios contemplando cuatro categorías. El registro de *sustancias activas* prevé en primer lugar las de *Grado Técnico Nuevas*, definidas como aquellas aún no registradas en el país, distinguiendo las etapas de *autorización de uso experimental* y de *inscripción definitiva*. Al establecer el procedimiento de registro de sustancias activas de *Grado Técnico Equivalentes* las caracteriza como aquellas cuya equivalencia ha sido demostrada respecto de otras ya registradas en el país, destinando un capítulo a la determinación de equivalencia. En cuanto al registro de *productos*, también distingue entre los *formulados en base a sustancias activas grado técnico nuevas* y los *formulados en base a sustancias activas grado técnico equivalentes*. Agrega seguidamente que los *coadyuvantes de formulación* utilizados (solventes, emulsionantes, adhesivos, estabilizantes, colorantes y toda otra sustancia componente de la formulación) deben ser los que integren el *listado de actualización permanente* establecido por la autoridad competente, aclarando que estará permitida la inclusión indistintamente a cualquier producto formulado de todo coadyuvante presente en el listado. Al referir las consideraciones generales, el Manual dispone que los requerimientos, tanto de Propiedades Físicas y Químicas, así como los Toxicológicos, Ecotoxicológicos y de Residuos, deben cumplimentarse a

través de datos provenientes de ensayos y estudios realizados sobre los Productos Fitosanitarios a ser registrados o sus equivalentes, los que pueden ser realizados por empresas, profesionales, Universidades, organismos registrantes nacionales, regionales e internacionales y Asociaciones idóneas.

Como definición importante, la norma declara que se adoptará como **clasificación toxicológica** la de la **Organización Mundial de la Salud** que conforma el Anexo del Manual, utilizando para tal fin la **toxicidad aguda** del producto. Adopta asimismo la **clasificación ecotoxicológica** en Anexo, aunque no menciona el criterio de clasificación. Considera como “información confidencial” a la identidad, composición, propiedades físicas y químicas, proceso de síntesis, proceso de formulación y otros secretos industriales y comerciales, pero exceptúa de la confidencialidad al nombre, contenido y origen de principios activos en productos formulados y de las empresas registrantes.

La aprobación de los Productos Fitosanitarios corresponde al Director de Agroquímicos, Productos Farmacológicos y Veterinarios, una vez emitidos todos los dictámenes técnicos sobre la documentación e información presentada. Si se trata de sustancias activas grado técnico y sus formulaciones a ser registradas por primera vez y no inscriptas en ninguno de los países listados en el Anexo I de la ley 24.766 (Estados Unidos, Japón y los países europeos), la aprobación se efectúa por acto resolutivo del SENASA.

## **Análisis de Riesgo de productos fitosanitarios registrados.**

### **Criterios. Finalidad**

El proceso de Análisis de Riesgo de productos registrados previsto en el Manual es de particular interés en la actualidad, ante la controvertida situación generada por el incremento en la utilización de plaguicidas y sus eventuales consecuencias para la salud humana. El propósito declarado del proceso es *ayudar a la Autoridad Competente a determinar si se debe iniciar con los procedimientos para **cancelar o reclasificar el registro de un producto fitosanitario**, cuando los usos autorizados de ese producto puedan causar efectos adversos, en las condiciones locales de uso, inaceptables tanto por la salud como para el ambiente.*

La iniciación de un *Análisis de Riesgo* del uso de un producto fitosanitario depende de la determinación, basándose en *evidencias significativas*, de que pueda verificarse alguna de las situaciones que enuncia. La enunciación es amplia, aunque no taxativa: que pueda *suponer un riesgo de lesión aguda seria no justificadas a humanos o a animales*, o un *riesgo de inducir en humanos un efecto oncogénico, genético hereditario, teratogénico, fetotóxico, reproductivo, o un efecto crónico o tóxico demorado, cuyo riesgo es de importancia en términos de riesgo a la salud o el número de humanos expuestos*; también, que pueda *producir residuos en concentraciones aguda o crónicamente tóxicas*. Alguna reserva merece el criterio utilizado cuando prevé como posibilidad de apertura del proceso, el que *suponga un riesgo para los humanos o el*

*ambiente que sea de magnitud suficiente para ameritar una determinación sobre si el uso del producto ofrece, como compensación, beneficios sociales, económicos, y ambientales que justifique su registro inicial o continuado, lo que aparenta subordinar derechos fundamentales al ambiente sano y a la salud a “compensaciones” económicas.*

Si bien no está expresamente contemplado, la iniciativa puede provenir de presentaciones de particulares, organizaciones, u otros organismos públicos o privados, aunque el Manual establece que la Autoridad Competente no iniciara un Análisis de Riesgo de un producto fitosanitario ya registrado hasta no tener suficientes antecedentes que justifiquen este procedimiento. Cuando establezca la necesidad de hacerlo lo comunicará a las empresas poseedoras de registros afectados. En el procedimiento, la autoridad competente determinará la presentación de información y estudios que deberán ser conducidos por las empresas, y serán elaborados por todas las empresas afectadas y/o empresas interesadas en participar en conjunto. No obstante, la autoridad competente es libre “para hacer encuentros y comunicaciones e investigaciones con Personas, Organizaciones Gubernamentales, Organizaciones no Gubernamentales, Cámaras de Productores Rurales, Cámaras de Productos Fitosanitarios y toda otra persona interesada en obtener información, intercambiar puntos de vista, explorar la situación o discutir aspectos regulatorios que atiendan a la decisión final.” La decisión final, puede determinar la *cancelación* de Registros, de algunos usos, la

*reclasificación* en función del riesgo, restringir la forma de aplicación, cancelar determinadas formulaciones o disponer toda otra modificación, restricción, no contemplada expresamente.

### **El principio precautorio y la salud humana. Aplicación en la utilización y registro de plaguicidas**

Es notorio que el impacto de la aplicación generalizada y masiva en la producción agrícola en los últimos años ha provocado cuestionamientos y posibles revisiones en torno a la aprobación, categorización y modalidades de utilización de plaguicidas, relacionados con la afectación del medio ambiente y la salud humana. El cuestionamiento incluye a todos los agroquímicos, aunque se destaca el relacionado con el glifosato, teniendo en cuenta el incremento de aplicación, que en 2007 ya se estimaba en 180 millones de litros y ha venido aumentando posteriormente. Esta situación derivó en conflictos locales, algunos de ellos judicializados, como el de Barrio Ituzaingó de Córdoba que dio pie a la creación de la antes referida Comisión Nacional de Investigación por Decreto 21/2009. La Comisión emitió un informe que en términos generales relativiza los posibles efectos negativos del glifosato en la salud humana, vinculándolos en todo caso con malas prácticas, e invoca carencia de información para determinarlo. El informe recibió varias críticas, pero igualmente advierte que el uso masivo y extendido del glifosato amerita una evaluación constante de corto, mediano y largo plazo,

referente a sus potenciales efectos nocivos sobre la salud humana y el ambiente. Luego, en el año 2010, se conoció el informe realizado por la Universidad Nacional del Litoral requerido en el fallo dictado en el caso “Peralta c/ Municipalidad de San Jorge y otros/Amparo” de la Cámara de Apelaciones en lo Civil y Comercial de la Ciudad de Santa Fe. Este informe, al evaluar los efectos en la salud humana, si bien considera que el glifosato presenta baja toxicidad por exposición oral, dérmica e inhalación, refiere efectos nocivos reportados en incidentes en su aplicación. Consigna que experimentaciones utilizando células humanas evidencian efectos tóxicos y mutagénesis a bajas dosis en células asociadas a la reproducción tales como células embrionarias o fetales y de placenta. Sugiere que dado el intensivo uso de herbicidas a base de glifosato, se hace necesario la realización de estudios de impacto sobre el ambiente y la salud humana, y que la exposición a bajas dosis, menores de las definidas como seguras, podrían tener efectos adversos, por lo que considera imprescindible continuar con las evaluaciones y analizar las consecuencias de la exposición a glifosato. Los posibles efectos sobre la salud humana tuvieron una nueva advertencia recientemente, cuando en marzo de 2015 la evaluación de la International Agency for Research on Cancer de la OMS, clasificó como probable cancerígeno para humanos (Grupo 2A) al herbicida glifosato.

Las críticas al informe de la Comisión creada por el Poder Ejecutivo consideraron que en el mismo subyacía una visión reduccionista y

fragmentaria, y que estaba ausente el “principio precautorio”. Sin embargo, parece más apropiada la Recomendación del Defensor del Pueblo de la Nación del 25 de enero de 2012, a resultas del Informe Especial sobre Agroquímicos y Discapacidad, que ante la incertidumbre sobre la relación causal entre utilización de glifosato y daños a la salud observados, considera de aplicación el “principio precautorio”. Efectivamente, señala que en atención a que el Informe de la Comisión refiere que no existen en la República Argentina suficientes datos sobre los efectos del glifosato en la salud humana, pero reconoce una intensificación del uso del producto y agrega que se requiere un largo plazo para evaluar y contar con una ponderación adecuada de los efectos del herbicida, *no hay más opción que la aplicación inmediata del Principio Precautorio, dado que los daños y la discapacidad sobreviniente, como resultado de la ausencia de medidas para aplicar ese Principio, activarían la responsabilidad de quien no lo previene.*

La recomendación se ajusta precisamente a este principio, que tiene en la incertidumbre su presupuesto fundamental. El Principio Precautorio, adoptando los precedentes de documentos internacionales, es enunciado en el art. 4 de la ley 25.675 de Política Ambiental Nacional, también denominada Ley General del Ambiente, de la siguiente manera: *“cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para*

*impedir la degradación del medio ambiente*". Este principio es invariablemente invocado en las reglamentaciones locales de utilización de agroquímicos, y también en resoluciones judiciales de amparo contra fumigaciones, especialmente en zonas periurbanas. Entre otros, puede mencionarse el antes referido caso de la localidad de San Jorge, Provincia de Santa Fe. Allí la Cámara de Apelaciones en lo Civil y Comercial de Santa Fe confirmó la aplicación del principio precautorio por el Juez de Primera Instancia al disponer la prohibición de fumigación a determinadas distancias de zonas pobladas, con amplias consideraciones acerca de la incertidumbre científica y los daños a la salud de los pobladores y al medio ambiente que lo justifican.

Esta invocación del **principio precautorio** plantea el interrogante sobre su aplicación cuando están en cuestión los daños a la salud humana por agroquímicos, pues el mismo es introducido como principio en la Ley General del Ambiente. Sin embargo, el daño ambiental se plantea como daño al ambiente "en sí mismo" y también como "daños a través del ambiente" a la salud de las personas o "daño indirecto" como lo caracteriza el fallo aludido. Es que, al menos en el daño con agroquímicos, es inescindible el daño al ambiente y el daño a la salud de las personas, sea por exposición o residuos. No puede tampoco omitirse que el art. 41 de la Constitución Nacional garantiza a los habitantes el goce del *derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano*, lo que trae implícito el resguardo a la salud. De modo que desde este punto de vista

no puede haber objeción a la aplicación del principio precautorio ante posibles daños a la salud humana por contaminación del ambiente con agroquímicos. Pero más allá de esta perspectiva superadora del interrogante, hoy se acepta que si bien el principio precautorio nace vinculado principalmente al derecho ambiental, ha extendido su aplicación a todos los ámbitos, como “nuevo standard jurídico de la era tecnológica” y, especialmente, “se aplica en todo aquello que supone resguardar derechos humanos (...) ante la hipótesis de que suceda lo peor, un daño irreversible en un plazo muy largo”. De modo que es inobjetable la vigencia del *principio precautorio* cuando se trata de adoptar medidas adecuadas en resguardo a la salud humana por la utilización de agroquímicos. Si es así en la etapa de utilización de agroquímicos, lo mismo puede afirmarse acerca de su aplicación en la aprobación y clasificación de los productos fitosanitarios. La aprobación, clasificación y los usos autorizados determinan luego la posibilidad y modalidades de utilización, e incluso condicionan las reglamentaciones provinciales y locales. Con mayor razón resulta aplicable en los procesos de Análisis de Riesgo, cuando han sido advertidos posibles daños a largo plazo por exposición crónica a bajas dosis. Como es sabido, teniendo en cuenta esas conclusiones de los últimos estudios y evaluaciones, se ha objetado la clasificación de glifosato por el criterio de dosis letal media aguda utilizada por la OMS y que adopta nuestra reglamentación de aprobación y registro. El principio precautorio puede ser un ineludible soporte para eventuales revisiones en la

clasificación, restricciones en forma de uso, particularizando en determinadas formulaciones.

**Manejo agronómico, manejo ecológico y Biorremediación**

## Agricultura extensiva: ¿Otro modelo es posible?

*Ings. Martín Zamora, Agustín Barbera, Natalia Carrasco, Raúl Perez.*

*Investigadores de INTA, Chacra Experimental de Barrow*

### Introducción

La Agroecología es una disciplina científica que define, clasifica y estudia los sistemas agrícolas desde una perspectiva más ecológica y socioeconómica. Ha surgido como un enfoque nuevo al desarrollo agrícola, más sensible a las complejidades de las agriculturas locales, al ampliar los objetivos y criterios agrícolas, para abarcar propiedades de sustentabilidad, seguridad alimentaria, estabilidad biológica, conservación de los recursos y equidad, junto con el objetivo de una mayor producción (Altieri y Nicholls, 2000).

En un ecosistema natural, la principal fuente de energía es el sol. Sin embargo, en los agroecosistemas debemos utilizar, además, energía de otras fuentes para sostener determinados procesos o evitar determinadas interacciones. Esta energía entra al sistema en forma de combustibles, siendo la energía necesaria para la fabricación de los insumos (plaguicidas, fertilizantes, etc.) o maquinarias (Sarandón, 2014). Es por este motivo que, el modelo agrícola moderno intensivo y altamente productivo, se basa y depende del uso de elevadas cantidades de insumos derivados del petróleo, en forma de aportes directos de combustibles e indirectos para la producción de agroquímicos, fertilizantes, maquinaria y

semillas (Gliessman, 2001). La eficiencia energética, entendida como unidades de energía cosechada por cada unidad de energía suministrada, ha sido analizada y cuestionada en diversos sistemas de producción (Ozkan y col., 2004; Sarandón y Flores, 2014).

La Agroecología va más allá de un punto de vista unidimensional de los agroecosistemas, y en lugar de centrar su atención en algún componente particular, enfatiza las **interrelaciones entre sus componentes y la dinámica compleja de los procesos ecológicos** (Vandermeer, 1995). Además, pone énfasis en la familia rural y la regeneración de los recursos naturales utilizados en la agricultura, proporcionando un sistema ágil para analizar y comprender los diversos factores que afectan a los predios. Proporciona también metodologías que permiten el desarrollo de tecnologías hechas cuidadosamente a la medida de las necesidades y circunstancias de los productores.

El enfoque agroecológico es **económicamente viable** porque se minimizan los costos de producción al aumentar la eficiencia del uso de los recursos localmente disponibles, es **socialmente activador** ya que requiere un alto nivel de participación, y contempla el **cuidado del medioambiente** debido a la baja o nula utilización de insumos químicos, resguardando los recursos naturales propios de los agroecosistemas y a que mediante un enfoque sistémico de manejo reduce las externalidades (salidas no deseadas).

La Agroecología utiliza principios que los productores adaptan a sus necesidades y realidades por medio de estrategias particulares. A diferencia del enfoque agronómico actual, basado en la difusión de paquetes uniformes de tecnologías, la Agroecología se centra en principios vitales como la biodiversidad, policultivos, el reciclaje de nutrientes, la cooperación e interacción entre los diversos cultivos, animales y suelo, además de la regeneración y conservación de los recursos naturales.

Los principios agroecológicos apuntan hacia la estabilidad del sistema (que habitualmente se pierde en los sistemas bajo monocultivo u homogéneos), aumentando el número de especies de plantas y la diversidad genética en el tiempo y el espacio, mejorando la biodiversidad funcional (enemigos naturales, antagonistas, etc.), la materia orgánica del suelo y la actividad biológica, la cobertura del suelo y la habilidad competitiva, buscando una disminución o eliminación de insumos tóxicos.

Los **objetivos** de esta experiencia fueron: (i) evaluar un sistema productivo extensivo de base agroecológica con el fin de ofrecer una alternativa al modelo predominante actual dependiente de insumos en el centro sur bonaerense, (ii) comparar ambos sistemas en aspectos productivos y económicos, y (iii) comparar la demanda de energía y la eficiencia energética de ambos sistemas.

## La experiencia en CEI Barrow (INTA-MAIBA)

En enero de 2011 se estableció un módulo agroecológico (AGROE) de 8 hectáreas dentro de un lote de producción de la Chacra Experimental Integrada (CEI) de Barrow, ubicada en el partido de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires, sobre un suelo Paleudol petrocálcico, con limitaciones en el perfil por presencia de un manto calcáreo que varía entre 0,3 y 0,6 m (Figura 1).



**Figura 1. Localización y área de influencia de la EEAI Barrow (A)**  
 (B) Módulo agroecológico en verde y lote de comparación realizando el manejo normal de la zona en rojo.  
 Fuente: Elaboración propia

Sobre dicho módulo se planificó un manejo agroecológico de cultivos extensivos mixtos, teniendo como ejes centrales los principios de la Agroecología; entre ellos, visión sistémica, aumento de biodiversidad, balance y ciclado de nutrientes, utilización de cultivos de cobertura y manejo integrado de plagas con el objetivo de disminuir progresivamente el uso de plaguicidas. El resto del lote fue considerado como segundo módulo (ACTUAL) que cuenta con el manejo agrícola mixto predominante o actual de la zona, con un uso intensivo de insumos (fertilizantes y plaguicidas). En la Tabla 1 se indican las rotaciones y secuencia realizadas en cada uno de los módulos.

**Tabla 1. Rotaciones y secuencias de cultivo en cada módulo**

|                                                                  |        | Módulos                           |               |
|------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------|---------------|
|                                                                  |        | AGROE                             | ACTUAL        |
| <b>Secuencias de cultivo y Fechas de siembra de cada cultivo</b> | jul-10 | Trigo candeal                     | Trigo candeal |
|                                                                  | feb-11 | Avena vicia                       | Verdeo avena  |
|                                                                  | oct-11 | Sorgo-soja                        | Soja 1ra      |
|                                                                  | jul-12 | Trigo multivarietal + Trébol rojo | Trigo         |
|                                                                  | mar-13 | Avena vicia con Trébol rojo       | Soja 2da      |
|                                                                  | nov-13 | Sorgo granífero                   | Soja 1ra      |
|                                                                  | ago-14 | Trigo multivarietal + Trebol rojo | Trigo         |
|                                                                  | mar-15 | Avena vicia con trébol rojo       | Avena         |

Fuente: Elaboración propia

## Manejo de los cultivos

Para el manejo en el módulo ACTUAL, se estableció un modelo productivo predominante en la zona y para el módulo AGROE, principios de la Agroecología utilizados fueron consensuados a través del accionar de un equipo interdisciplinario.

El sistema de labranza utilizado es de siembra directa pero evaluando y utilizando labranzas en caso de ser necesario. Un mayor detalle del manejo aplicado a cada cultivo dentro de cada módulo puede observarse en Carrasco y col., (2015).

Los resultados económicos son expresados en Costo Directo Total de cada cultivo; el Ingreso neto, calculado como Ingreso Bruto – gastos de comercialización; y el margen bruto calculado como la diferencia entre Ingreso Neto y Costo Directo Total. El valor de labores e insumos fueron obtenidos de la revista Técnica “AgroMercado” en las ediciones correspondientes, y de precios obtenidos en las cooperativas locales.

Se calculó la demanda energética en base a la energía asociada de los diferentes insumos (semillas, plaguicidas, fertilizantes, labores, etc.); la producción de energía en base a los rendimientos de los cultivos y la producción de carne; el balance energético como las diferencias entre las entradas y las salidas; y la eficiencia energética como la relación entre la energía producida y la demandada. Las entradas y salidas se convirtieron en unidades equivalentes = MJ (Megajoules), según diferentes citas bibliográficas (Flores y Sarandón, 2014; Hernánz et al., 1995) (Tabla 2).

**Tabla 2. Resumen comparativo de los dos módulos (AGROE y ACTUAL) del manejo realizado en 5 años**

|                          |            | AGROEC                                                                         | ACTUAL                                                                                        |
|--------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diversidad de cultivos   |            | 11 (Av/Vicia/Sgo/Sj/Mz/Trigo candeal/trigo pan/Trébol rojo/Alfalfa/Festuca)    | 4 (Av/Vicia/Sj/Trigo candeal)                                                                 |
| Uso de herbicidas        |            | 1 l/ha Glifosato - 1200 cc<br>MCPA - 80 cc dicamba - 700 cc Bromoxinil         | 27,5 l/ha - 1000 cc axial - 160 cc Dicamba + 18,4 g Metsulfuron - 500 cc 2,4-D -100 cc Tordon |
| Pasadas con Agroquímicos |            | 3                                                                              | 18                                                                                            |
| uso de inoculantes       |            | 9 veces (Micorizas, Pseudomonas, Bradyrhizobium japonicum, Rizobium melilotii) | 2 veces (Bradyrhizobium japonicum)                                                            |
| Fosforo                  | DAP        | 390 kg/ha                                                                      | 410 kg/ha                                                                                     |
|                          | afrechillo | 1500 kg/ha                                                                     | -                                                                                             |
| UREA                     |            | -                                                                              | 590                                                                                           |

Fuente: Elaboración propia

## Resultados Productivos

En la Tabla 3 se presentan las secuencias de cultivos utilizadas en los dos modelos evaluados, los productos logrados y los rendimientos obtenidos (grano y carne, ambos expresados en kg/ha). En algunos años hay coincidencia entre los productos obtenidos, posibilitando una comparación más sencilla entre ambos modelos productivos. De todas maneras, lo que se quiere comparar son los dos manejos o enfoques, independientemente que los cultivos año a año no sean los mismos.

**Tabla 3. Cultivos, producto y rendimiento, según secuencia y modelo productivo**

| Año            | Agroecológico               |          |                     | Actual        |          |                     |
|----------------|-----------------------------|----------|---------------------|---------------|----------|---------------------|
|                | Cultivo                     | Producto | Rendimiento (kg/ha) | Cultivo       | Producto | Rendimiento (kg/ha) |
| <b>2011</b>    | Avena-vicia                 | Carne    | <b>147</b>          | Avena         | Carne    | <b>100</b>          |
| <b>2011/12</b> | Sorgo-soja                  | Carne    | <b>163</b>          | Soja          | Grano    | <b>1200</b>         |
| <b>2012</b>    | Trigo candeal + Trebol rojo | Grano    | <b>2900</b>         | Trigo candeal | Grano    | <b>3600</b>         |
| <b>2013</b>    | Avena-vicia                 | Carne    | <b>305</b>          | Avena         | Carne    | <b>467</b>          |
| <b>2013/14</b> | Sorgo                       | Carne    | <b>94</b>           | Soja          | Grano    | <b>0*</b>           |
| <b>2014</b>    | Trigo candeal + Trebol rojo | Grano    | <b>3800</b>         | Trigo candeal | Grano    | <b>3800</b>         |
| <b>2015</b>    | Avena-vicia                 | Carne    | <b>305</b>          | Avena         | Carne    | <b>227</b>          |

\* Por falta de precipitaciones el cultivo de soja no prosperó.

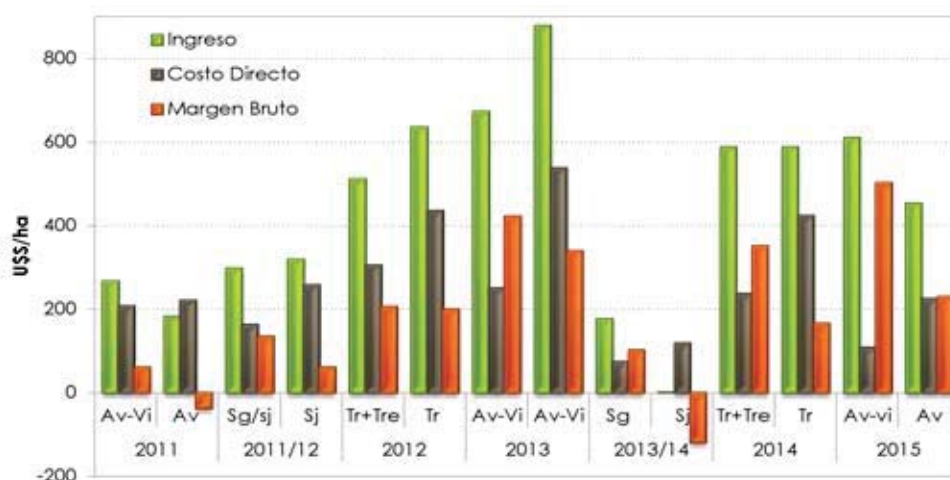
Fuente: Elaboración propia

En los primeros cultivos, el modelo ACTUAL o predominante manifestó mayores rendimientos de los cultivos y producción de carne que el modelo agroecológico. Sin embargo, los resultados económicos no siguieron la misma tendencia (ver más adelante “Resultados económicos”). Esto puede observarse desde el año 2011 hasta la avena-vicia 2013/14. Al avanzar la secuencia y el manejo propuesto en el modelo AGROE, los rendimientos se equipararon.

El modelo AGROE se mostró más estable, los resultados productivos y económicos así lo mostraron, y ante una falta de precipitaciones ocurridas durante la primavera y verano del 2013, se logró producción de carne e implantar el sorgo, mientras que en el modelo ACTUAL, la soja no logró desarrollarse (ni permitió su resiembra), lo que significó una pérdida económica para el productor.

## Resultados Económicos

En el Figura 2 se muestran los resultados económicos comparados entre los dos modelos productivos evaluados.

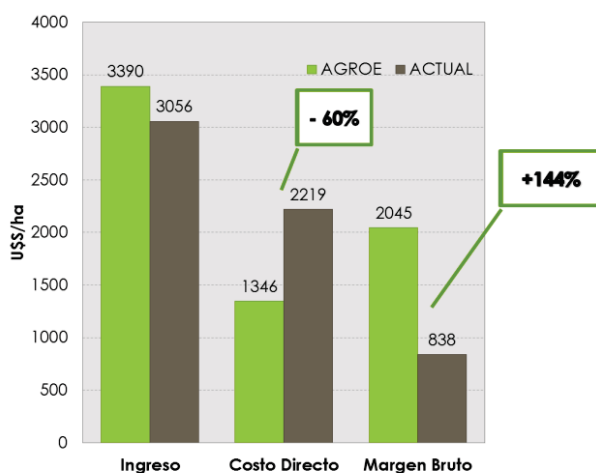


**Figura 2. Costo Directo, Ingreso Neto y Margen Bruto según sistema productivo (U\$/ha).** Dentro de cada año, las barras de la izquierda corresponden al manejo AGROE y las de la derecha al manejo ACTUAL.

Fuente: Elaboración propia

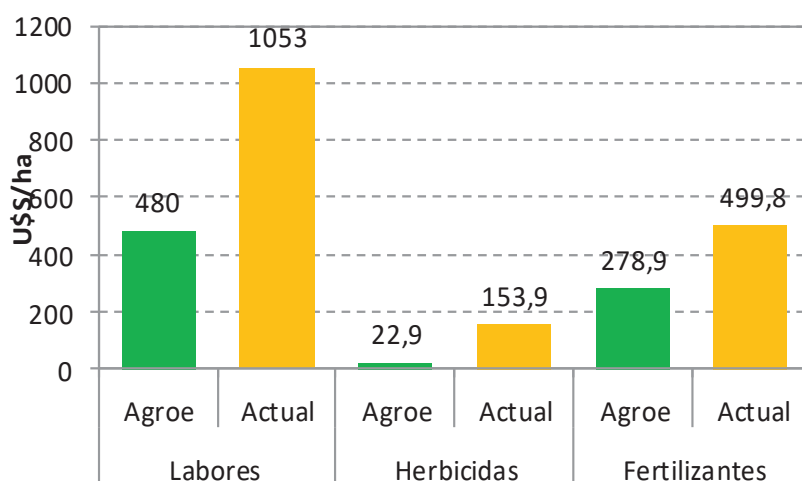
**El Costo Directo anual y total del modelo AGROE fue siempre menor que en el modelo ACTUAL.** Esto es de fundamental importancia para el productor ya que representa menores riesgos productivos en cada una de las campañas. El enfoque agroecológico permitió una reducción del 60% en el costo total acumulado en los 5 años, respecto del costo directo del modelo ACTUAL.

En general, con el modelo ACTUAL se obtuvo mayores ingresos netos. En cuanto al **margen bruto (ingreso neto-costos directos) en todos los años el modelo AGROE logró iguales o mejores resultados.** En el total acumulado de los 5 años evaluados, el margen bruto AGROE fue 144% más que el del modelo ACTUAL (Figura 3).



**Figura 3. Ingreso Neto, Costo Directo y Margen Bruto acumulado durante los 5 años (7 cultivos) según sistema productivo.** Fuente: Elaboración propia

Analizando los principales componentes del costo directo total de producción (Figura 4), el **modelo ACTUAL presentó un 119% más de costo de labores y un 572% superior de costo de herbicidas que el modelo AGROE**. En este último (AGROE), el uso de cultivos asociados (policultivos) como trigo con trébol rojo, avena con vicia y sorgo con soja contribuyeron a aumentar la biodiversidad espacial, fijar Nitrógeno simbióticamente del aire, disminuir el banco de semillas de malezas al lograr mayor cobertura, evitando dejar disponible luz, agua y nutrientes para el desarrollo de las malezas (ocupación de nichos y aumento de la competencia de las especies implantadas).



**Figura 4. Detalle de los principales costos directos de producción. Total de la secuencia de cultivos en cada modelo productivo.** Fuente: Elaboración propia

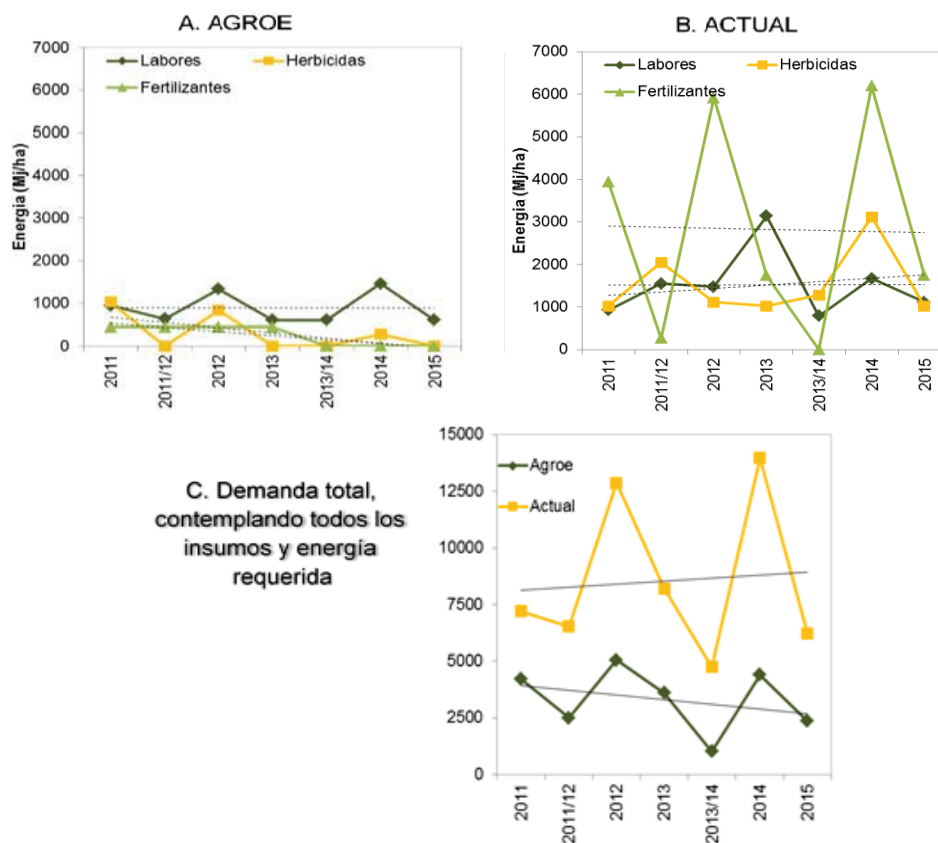
**El modelo ACTUAL mostró un 79% de aumento en el costo debido a la utilización de fertilizantes de síntesis química para la reposición de nutrientes.** El modelo AGROE basó la reposición de nutrientes en el uso de leguminosas para la fijación del nitrógeno y en el uso de suplemento de la molinería local (cáscara de trigo ó afrechillo) para balancear el P extraído (aunque en los primeros cultivos se utilizó P de síntesis química para elevar el contenido de P disponible en los suelos).

### **Demanda y eficiencia Energética**

Cuando se analizaron los principales insumos, se observó que las demandas energéticas de los fertilizantes y herbicidas de los cultivos del modelo AGROE disminuyeron con el tiempo, mientras que para el modelo ACTUAL tendieron al crecimiento.

En ambos modelos se mantuvo estable la energía demandada por las labores, sin embargo en todos los cultivos, el ACTUAL mantuvo siempre una demanda mayor (Figura 5A y 4B). Salvo en aquellas situaciones en que el cultivo fue soja, el modelo ACTUAL superó en 10 veces la energía insumida en fertilizantes.

**El modelo AGROE evolucionó hacia una menor demanda total de energía, mientras que en el ACTUAL la tendencia fue a un crecimiento** (Figura 5C).



**Figura 5. Evolución de la demanda de energía, según principales insumos**  
En líneas punteadas se muestran las tendencias.

Fuente: Elaboración propia

Para toda la secuencia, la **demanda energética en labores** fue un **72% mayor en el modelo ACTUAL**, un **372% mayor en la energía**

demandada por herbicidas y 10 veces mayor la utilizada por fertilizantes, que el modelo AGROE (Tabla 4).

**Tabla 4. Energía demandada total (en Mj/ha) en labores, herbicidas y fertilizantes según modelo productivo, para los 5 años de la rotación**

|               | AGROE | ACTUAL |
|---------------|-------|--------|
| Labores       | 6138  | 10662  |
| Herbicidas    | 2122  | 10620  |
| Fertilizantes | 1754  | 19786  |

Fuente: Elaboración propia

## Balance energético

El balance energético total mostró valores similares para los dos modelos productivos evaluados (Tabla 5). El modelo ACTUAL presentó mayores valores de energía producida, generalmente asociada a la mayor proporción de producción de granos, mientras que el modelo AGROE, la producción fue más equitativa entre producción de granos y carne. Siempre los cultivos forrajeros presentaron balances energéticos cercanos a cero, incluso levemente negativos.

La eficiencia energética global del modelo AGROE resultó ser superior al del modelo ACTUAL (Tabla 6). Los valores de eficiencia energética logrados en el ACTUAL son similares a los informados por Hernáiz et al., 1995. En cambio, en el modelo AGROE, se alcanzaron mayores eficiencias debidas principalmente a la mayor utilización de tecnologías de procesos, mayor diversificación productiva, el reemplazo de

ciertos insumos como los fertilizantes nitrogenados por funciones ecológicas tal como la fijación biológica de nitrógeno.

**Tabla 5. Balance de energía (Mj/ha) para cada uno de los cultivos y para cada uno de los modelos productivos evaluados**

| Año          | AGROE         |              |               | ACTUAL        |              |               |
|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
|              | E producida   | E insumida   | Balance       | E producida   | E insumida   | Balance       |
| 2011         | 1573          | 4196         | -2623         | 1070          | 7207         | -6137         |
| 2011/12      | 1744          | 2496         | -752          | 40200         | 6537         | 33663         |
| 2012         | 54259         | 5046         | 49213         | 67356         | 12863        | 54493         |
| 2013         | 3264          | 3601         | -337          | 4997          | 8205         | -3208         |
| 2013/14      | 1006          | 1013         | -8            | 0*            | 4746         | -4746         |
| 2014         | 71098         | 4392         | 66706         | 71098         | 13971        | 57127         |
| 2015         | 3264          | 2357         | 906           | 2429          | 6218         | -3789         |
| <b>Total</b> | <b>136207</b> | <b>23101</b> | <b>113105</b> | <b>187150</b> | <b>59747</b> | <b>127402</b> |

\* Cultivo de soja que no prosperó por falta de lluvias

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6. Eficiencia energética por cultivo y global, para los dos modelos evaluados**

| AÑO     | AGROE | ACTUAL |
|---------|-------|--------|
| 2011    | 0,37  | 0,15   |
| 2011/12 | 0,7   | 6,15   |
| 2012    | 10,75 | 5,24   |
| 2013    | 0,91  | 0,61   |
| 2013/14 | 0,99  | 0      |

| AÑO   | AGROE | ACTUAL |
|-------|-------|--------|
| 2014  | 16,19 | 5,09   |
| 2015  | 1,38  | 0,39   |
| Total | 5,9   | 3,13   |

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla 6, la eficiencia energética acumulada en los 5 años fue superior en el manejo agroecológico (AGROE) que en el manejo ACTUAL, inclusive teniendo este último mayor proporción de cultivos de cosecha con respecto a ganadería que el AGROE (la ganadería es menos eficiente energéticamente por una cuestión trófica). A su vez, se evidencia que a medida que la transición agroecológica iba sucediendo en el módulo AGROE, la eficiencia de la ganadería aumentó, llegando a valores mayores que 1 en el año 2015.

## Reflexiones finales

Este trabajo se basó en la comparación de dos modelos de producción extensiva: el de base agroecológica y uno de producción predominante de la zona que todavía mantiene a la ganadería, no siendo el planteo netamente agrícola difundido en los últimos años.

El modelo AGROE mostró rendimientos de grano y carne aceptables durante los primeros años y luego de estabilizarse, se lograron rendimientos similares a un sistema agrícola actual. Desde el inicio de la comparación, los costos directos fueron inferiores en el modelo AGROE, siendo más viable este tipo de producción para productores familiares de

menor capitalización. Por lo tanto, el productor asume menos riesgos. Esta experiencia nos permite demostrar que el margen bruto por cultivo y global fue mayor en el modelo AGROE, quedando enmascarado este resultado si sólo se observa el ingreso neto.

La demanda energética de los cultivos fue menor en el modelo AGROE, hecho que refleja la menor dependencia energética de este modelo. Desde el inicio de la experiencia, el modelo AGROE tuvo una tendencia a disminuir la demanda energética, principalmente por menor utilización de insumos como fertilizantes industriales y herbicidas, mientras que el modelo ACTUAL mostró tendencia a un aumento constante en la demanda de energía.

La producción de energía del modelo ACTUAL fue superior al AGROE. No obstante, el balance de energía fue similar en ambos modelos.

La eficiencia energética global del modelo AGROE fue superior al ACTUAL, básicamente sustentado en la mayor diversificación, el reemplazo de agroquímicos de síntesis industrial de alto costo (fertilizantes y herbicidas), por procesos o funciones ecológicas. Por otra parte, el rediseño de los sistemas productivos hacia la utilización de tecnologías de procesos promueve la sustentabilidad ambiental y la menor dependencia energética.

La visión parcial y cortoplacista del modelo ACTUAL basado en la búsqueda de altos rendimientos, ha elevado los costos productivos, la

dependencia de insumos de síntesis química de alto nivel energético y el riesgo de contaminación por agroquímicos. Por otra parte, el modelo AGROE basa sus principios en el fortalecimiento de los procesos biológicos, las interacciones de los diferentes componentes del sistema, el aumento de la biodiversidad, la disminución en utilizar productos de síntesis química, y por ende, en la energía insumida.

Para reponer nutrientes el modelo AGROE utiliza recursos generados en el establecimiento (como el nitrógeno fijado por las leguminosas) y/o en la zona (subproductos de la molinería).

El modelo de producción agroecológico tiene grandes oportunidades y potencialidades en la zona- así como en toda el área pampeana- debido a los graves problemas y consecuencias que ha traído el modelo de producción que se plasma en la actualidad. De esa manera, desde la CEI Barrow estamos trabajando con productores del área de influencia comenzando una transición agroecológica, así como lo vemos que sucede en otras zonas del país.

Si bien en este trabajo mostramos lo ocurrido en el módulo de CEI Barrow, para lograr replicarlo en otras situaciones hay que analizar nuevamente el sistema que queremos modificar, analizar los objetivos del productor en particular, y de qué manera se podrían implementar los principios agroecológicos aquí mencionados para lograr un correcto funcionamiento del agroecosistema. Nuestra intención está lejos de

proponer la aplicación de los mismos cultivos, técnicas o sistemas de siembra como si fuera una receta.

## Agradecimientos

Agradecemos a Laura De Luca, Leandro Pusineri, Eduardo Cerdá y Alejandro Hansson por su participación y apoyo en esta actividad.

## Bibliografía

- Altieri MA y CI Nicholls. 2000. Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Primera edición. Serie de textos básicos para la formación ambiental. PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México D.F. México. 250 pp.
- Carrasco, N, M Zamora, E Cerdá, L Pusineri, A Barbera, L De Luca y R Perez. 2015. Agroecología en cultivos extensivos en el Centro Sur Bonaerense. Manejo a campo y servicios ecosistémicos. V Congreso Latinoamericano de Agroecología (enviado para su aprobación). La Plata.
- Gliessman SR. 2001. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sustentable. Editora da Universidade. 380 pp.
- Hernández JL, VS Girón y C Cerisola. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. Soil & Tillage Res. 35:183-198.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. 2004. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. Renewable energy, 29 (1), 39-51.
- Sarandón, Santiago. 2014. El Agroecosistema: un sistema modificado. En: Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de los agroecosistemas sustentables (eds Santiago Sarandón y Claudia Flores). Capítulo 4. Editorial Universidad de La Plata. Pp 100-130.
- Sarandón SJ y CC Flores. 2014. La energía en los agroecosistemas. En: Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de los agroecosistemas

sustentables (eds Santiago Sarandón y Claudia Flores). Capítulo 7. Editorial Universidad de La Plata. Pp 190-210.

Vandermeer J. 1995. The ecological basis of alternative agriculture. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 201-224.

## Biorremediación de suelos con actinobacterias

*Dres. Marta A. Polti, Juliana M. Saez, Analía Alvarez y Claudia S. Benimeli*

*Investigadoras de CONICET, PROIMI-CONICET, Tucumán*

### Biorremediación

El término "tecnología de tratamiento" significa cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que altere la composición de una sustancia o contaminante peligroso o contaminante a través de medios químicos, biológicos o físicos para reducir la toxicidad, movilidad o volumen de los materiales contaminados (USEPA, 2007).

La biorremediación, la cual implica el uso de organismos vivos o parte de estos, para degradar, remover y/o transformar contaminantes ambientales, es una tecnología que presenta ventajas sobre los sistemas convencionales de tratamientos físicos y químicos de los contaminantes (Vidali, 2001; Castillo Rodríguez, 2005):

- Es un proceso natural y, por lo tanto, tiene una buena aceptación por parte de la población
- Permite la destrucción completa o transformación a sustancias inocuas de una gran variedad de contaminantes
- Evita la transferencia de contaminantes de una fase a otra en el medio ambiente y es un tratamiento seguro con un mínimo riesgo en la salud
- Se puede llevar a cabo en el sitio afectado, a menudo sin causar

una interrupción importante de la actividad normal del lugar

- Posee bajos costos de instalación y operación, es de fácil aplicación y tecnológicamente efectiva.

## **Clasificación de Biorremediación**

La biorremediación, según el tipo de organismo que participe en el proceso, puede clasificarse en:

- *Fitorremediación*: comprende el uso de la vegetación para el tratamiento de suelos, sedimentos y/o aguas contaminadas con tóxicos orgánicos e inorgánicos que pueden ser alcanzados por el sistema radical de las plantas, las cuales pueden secuestrarlos, degradarlos, inmovilizarlos o metabolizarlos (Schwitzguébel et al., 2009)
- *Biorremediación animal*: los animales pueden actuar como agentes descontaminantes, desarrollándose en medios con fuerte toxicidad y retener, por ejemplo, metales pesados mediante la actividad de microorganismos presentes en su sistema digestivo
- *Biorremediación microbiana*: implica el uso de microorganismos con la propiedad de acumular o metabolizar metales pesados o compuestos orgánicos. La utilización de microorganismos que transforman diferentes compuestos nocivos en otros de menor impacto ambiental ha experimentado un gran desarrollo reciente.

Aunque las bacterias son las más empleadas, también se han empleado algas, cianobacterias y levaduras.

Según el modo de aplicación, la biorremediación puede ser:

- *In situ*: el tratamiento se realiza en el lugar donde se encuentra la contaminación
- *Ex situ*: el tratamiento se realiza en una instalación fuera del lugar donde se encuentra la contaminación.

La efectividad de los procesos de biorremediación está sujeta a varios factores que interactúan de forma compleja, dependiendo de las características del medio y del contaminante, entre otras. Los factores se pueden dividir en tres grupos: físicos, químicos y medioambientales.

- ✓ Factores físicos: presencia de agua, disponibilidad del contaminante para los microorganismos, aceptores de electrones, entre otros
- ✓ Factores químicos: estructura química del contaminante
- ✓ Factores medioambientales: temperatura, humedad, pH, disponibilidad de nutrientes.

La forma en que estos factores promueven o inhiben la remoción y/o degradación depende, principalmente, de la naturaleza química del contaminante (Boopathy, 2000; Dhal et al., 2013).

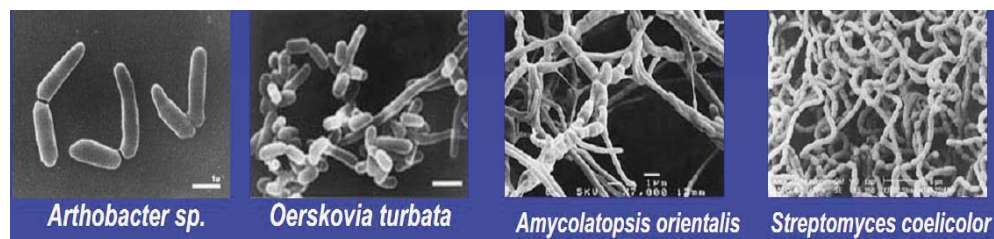
La humedad influye en la química de los suelos contaminados y afecta la cantidad de minerales disueltos, el pH y el potencial redox del suelo, modifican la movilidad de los contaminantes. Por ejemplo, debido a

su naturaleza hidrofóbica, la movilidad de los plaguicidas organoclorados (POs) disminuye con un aumento de humedad (Willett et al., 1998).

La temperatura afecta varios de los procesos involucrados en la acumulación de POs y metales pesados en el suelo. Este efecto puede ser directo, modificando la adsorción/desorción, la difusión, la volatilización y la degradación/reducción química del compuesto; o indirecto, aumentando la actividad microbiana del suelo, favoreciendo los procesos biológicos de remoción (Dhal et al., 2013; Navarro et al., 2013).

### **Actinobacterias**

Las actinobacterias constituyen un grupo de bacterias Gram positivas, que tienen en común un elevado contenido de bases G+C en su ADN (55-75 mol%), aunque ya se han descrito géneros con menor contenido de bases G+C (45-48 mol%) (Goodfellow et al., 2012). Este grupo es muy heterogéneo debido a que incluye un amplio espectro de microorganismos química, morfológica y fisiológicamente muy diferentes. La diversidad morfológica se manifiesta por una transición continua desde células coccas y baciliformes hasta hifas que se fragmentan y ramifican formando micelio aéreo con cadenas largas de esporas (Vobis, 1997) (Figura 1).



**Figura 1. Diversidad morfológica**

Las esporas se forman como consecuencia del agotamiento de los nutrientes y pueden sobrevivir la desecación prolongada. Esta habilidad de esporular es muy importante para su supervivencia en el ambiente; generalmente, están presentes en forma de esporos latentes y desarrollan su micelio solamente cuando ciertas condiciones ambientales son favorables, como por ejemplo la oferta de nutrientes, humedad, temperatura o interacciones fisiológicas con otros microorganismos (McCarthy and Williams, 1992). Su diversidad fisiológica se manifiesta por la producción de un gran número de metabolitos de importancia biotecnológica (antibióticos, enzimas, inhibidores enzimáticos, inmunomodificadores, etc.) (Goodfellow et al., 2012).

Además, dentro de sus características particulares, presentan un olor típico a tierra húmeda, debido a la producción de un metabolito llamado geosmina. Presentan actividad metabólica alta, producen pigmentos y enzimas extracelulares con las que son capaces de degradar materia orgánica de origen vegetal y animal (Ezziyyani et al., 2004).

El nicho ecológico de las actinobacterias es la zona aeróbica del suelo, donde forman un componente sustancial de la microbiota y viven en forma saprófita a expensas de una gran variedad de macromoléculas complejas. Están generalmente presentes en números de  $5 \text{ a } 6 \times 10^{10}$  UFC  $\text{g}^{-1}$  de tierra. En general, las condiciones óptimas para su crecimiento son pH neutro y temperaturas de 25 a 30°C, aunque también se encuentran representantes termotolerantes y termófilos. Estas bacterias son, en su mayoría, aerobias, aunque algunas pueden ser microaerófilas o anaerobias; son heterótrofas, por lo cual pueden utilizar fuentes de carbono simples y complejas (Goodfellow et al., 2012).

Las actinobacterias presentan una gran diferenciación morfológica, caracterizada por una organización de tipo filamentosa. En medios de cultivo sólidos, las cepas forman en general colonias compactas, constituidas por micelio, es decir, por una masa de hifas pertenecientes al microorganismo, diferenciándose en micelio aéreo y de sustrato (Vobis, 1997).

### **Rol de las actinobacterias en la biorremediación**

Las actinobacterias poseen muchas propiedades que las hacen buenas candidatas para su aplicación en procesos de biorremediación de suelos contaminados con contaminantes orgánicos, debido a que producen esporas resistentes a la desecación y enzimas extracelulares que degradan una gran variedad de compuestos orgánicos complejos.

Además, el crecimiento filamentoso favorece la colonización de partículas de tierra. Desde hace más de 20 años se estudia la interacción entre las actinobacterias y las sustancias acumuladas en el medio ambiente, como petróleo, gomas, plásticos, plaguicidas y metales pesados, entre otras (Goodfellow and Williams, 1983; Goodfellow, 1989; Benimeli et al., 2003; Albarracín et al., 2005; Polti et al., 2007; Alvarez et al., 2012; Alvarez et al., 2017). La literatura describe muchos casos de biorremediación llevados a cabo por actinobacterias pertenecientes al género *Streptomyces*. Estos microorganismos son muy apropiados para la inoculación de suelos debido a su diversidad metabólica, velocidad de crecimiento y colonización de sustratos semi-selectivos y su capacidad de ser manipulados genéticamente. Por otro lado, como los *Streptomyces* son habitantes naturales del suelo, su reincorporación al mismo no afectaría la microbiota bacteriana.

### **Biorremediación de plaguicidas**

En diversos estudios, a escala de laboratorio, se ha demostrado que las actinobacterias presentan capacidad para degradar diferentes plaguicidas, como lindano, clordano, metoxicloro, clorpirifos, diurón y pentaclorofenol (Fuentes et al., 2011; Karn et al., 2011; Briceño et al., 2012) y reducir la toxicidad de metales pesados (Camargo et al., 2004; Albarracín et al., 2005; Haferburg et al., 2007; Polti et al., 2007; Siñeriz et al., 2009). También, se demostró que los cultivos mixtos son más

apropiados para la remoción de compuestos tóxicos que los cultivos puros (Fuentes et al., 2011; Polti et al., 2014; Saez et al., 2015; Aparicio et al., 2017; Aparicio et al., 2018).

El lindano ( $\gamma$ -hexaclorociclohexano) es un plaguicida organoclorado, el cual fue utilizado intensivamente en todo el mundo con diversos fines. Sin embargo, actualmente su uso está prohibido o altamente restringido en la mayoría de los países ya que es considerado un carcinógeno potencial y se acumula en el medio ambiente causando severos problemas de contaminación.

El Ministerio de Salud y el Ministerio de Defensa de la Nación Argentina, actualizaron en el año 2005 las listas de sustancias químicas cuyo uso se halla restringido o prohibido en nuestro país. Respecto al lindano, su uso quedó restringido en medicina humana para el tratamiento de la escabiosis y la pediculosis, según la Resolución N° 133/91 del Ministerio de la Salud de la Nación. Sin embargo, debido a su persistencia y toxicidad, la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT), mediante la disposición 617/11, suspendió la comercialización y el uso, en todo el territorio nacional, de todas las especialidades medicinales que contengan lindano como ingrediente farmacéutico activo (Digón, 2013).

En razón de lo mencionado, en los últimos años se ha puesto especial énfasis en la biorremediación de plaguicidas. La capacidad metabólica de los microorganismos para degradar contaminantes, es una

alternativa potencial para contribuir a la disminución de sus niveles en el ambiente y depende en gran parte del grado de persistencia y de toxicidad de dichos contaminantes xenobióticos.

En el caso de los plaguicidas, la degradación microbiana es considerada el principal mecanismo responsable para su mitigación en ambientes contaminados. Con el objetivo de optimizar dicho proceso, se está estimulando cada vez más el desarrollo de herramientas pertinentes a la biorremediación, ya que ésta requiere un profundo estudio de los aspectos fisiológicos, bioquímicos y microbiológicos involucrados (Bazot, 2008).

Cuando un plaguicida es degradado microbiológicamente, este proceso se ve afectado por la población microbiana, el suministro de nutrientes, otras condiciones que afectan la actividad de los biodegradadores y la disponibilidad del plaguicida para la población microbiana (Bhatt y col., 2007). Algunos microorganismos del suelo son capaces de degradar plaguicidas para obtener nutrientes y energía, mientras que otros grupos de microorganismos pueden ser afectados negativamente por dichos tóxicos.

Se demostró que la degradación microbiana de plaguicidas en suelos es mediada por una fracción relativamente pequeña de la comunidad microbiana total del suelo (Bhatt, 2007). La presencia de este tipo de microorganismos en el suelo contaminado, así como la posibilidad de favorecer su desarrollo, puede ser muy conveniente cuando se piensa

en la biodegradación como una opción para el tratamiento de sitios contaminados (Alvarez, 2017).

## Estrategias de Biorremediación

### 1. Biodegradación de lindano por un consorcio definido de actinobacterias:

A pesar de que los cultivos puros han sido y seguirán siendo cruciales para la biorremediación, existe una fuerte necesidad de estudiar los cultivos mixtos de microorganismos, también llamados consorcios microbianos, para evaluar sus actividades de degradación en distintas condiciones para el tratamiento de ambientes contaminados. Los cultivos mixtos han demostrado ser aptos para la biorremediación, ya que su biodiversidad puede mejorar la supervivencia e incrementar el número de caminos catabólicos disponibles para biodegradar contaminantes.

Debido a estos antecedentes se planteó la formulación de un consorcio definido de actinobacterias, aislados a partir de ambientes contaminados, con capacidad para biodegradar lindano.

Para tal fin, se aislaron 11 cepas de actinobacterias de muestras de suelo extraídas de un depósito de plaguicidas organoclorados ubicado en una localidad de la provincia de Santiago del Estero. Se seleccionaron cuatro aislamientos en base a su capacidad para tolerar lindano y utilizarlo como fuente de carbono. Estos microorganismos y las cepas *Streptomyces* sp. M7 (con capacidad para remover lindano) y *Streptomyces coelicolor* A3

(cepa de colección), fueron utilizados para ensayos posteriores de actividad específica de dechlorinasa y de remoción del plaguicida, en cultivos puros y mixtos formados por dos, tres, cuatro, cinco y seis actinobacterias.

Los resultados demostraron que todas las actinobacterias estudiadas presentaron actividad específica de dechlorinasa (AED) al ser cultivadas individualmente en presencia de  $2 \text{ g L}^{-1}$  de lindano, como única fuente de carbono.

Al realizar los cultivos mixtos, se observó que la mayoría de ellos potenciaron su AED con respecto a los cultivos puros. Solamente cinco cultivos mixtos no mostraron incremento en la actividad. En cuanto a la remoción de lindano, los resultados mostraron que tanto los cultivos puros como los consorcios de actinomycetes fueron capaces de remover, en distinto grado, el plaguicida del medio de cultivo.

Los cultivos mixtos dobles, triples y cuádruples presentaron, en la mayoría de los casos, mayores porcentajes de remoción de lindano que los cultivos puros. Por el contrario, las combinaciones de cinco y seis actinomycetes no removieron eficientemente el plaguicida del medio, evidenciándose niveles de lindano residual elevados, incluso mayores a los obtenidos por los cultivos puros.

El consorcio formado por las cepas *Streptomyces* sp. A2, A5, A11 y M7, fue seleccionado como el más promisorio para la biodegradación de lindano ya que presentó el menor valor en la relación

entre la concentración de lindano residual y la actividad específica de decolorinasa.

Este estudio demostró que consorcios definidos de actinobacterias autóctonas son agentes potenciales para biorremediar ambientes contaminados con plaguicidas organoclorados (Saez, 2012).

2. Inmovilización de consorcios de actinobacterias para la degradación de plaguicidas organoclorados

Una técnica muy prometedora que ha estado ganando atención especial durante los últimos años es la inmovilización celular. Este método restringe la movilidad celular dentro de un espacio definido, reteniendo así la actividad catalítica y aumentando la estabilidad biológica y física de los microorganismos. Puede lograrse utilizando una variedad de matrices naturales y sintéticas, que pueden aliviar los desafíos fisicoquímicos, como el pH y la temperatura (Siripattanakul et al., 2008; Yáñez-Ocampo et al., 2009).

Las células inmovilizadas presentan varias ventajas sobre las células suspendidas libres, tales como una mayor retención de microorganismos en el reactor, una mayor viabilidad celular (semanas o meses), protección de las células contra la toxicidad, reutilización de las células y una separación más fácil entre sólidos y líquidos (Poopal y Laxman, 2009; Ahamad y Kunhi, 2011).

En consecuencia, la inmovilización de las células microbianas y las enzimas se aplica cada vez más en los procesos biotecnológicos para la

conversión química y la biorremediación, obteniendo una mayor biodegradación, una mayor tasa de dilución sin lavado en procesos continuos y tolerancia frente a altas concentraciones de compuestos tóxicos (Wang et al., 2004).

Considerando estos antecedentes, se estudió la degradación de lindano, utilizando consorcios definidos e inmovilizados de actinobacterias aclimatadas y estabilizadas.

Se evaluó la remoción de lindano, en medio de cultivo líquido, mediante el empleo de agar, alcohol polivinílico-alginato, bolsas de tela y tubos de silicona como soportes para la inmovilización de cultivos puros de *Streptomyces* sp. A2, A5, A11 y M7. Se seleccionaron las bolsas de tela para los estudios posteriores ya que proporcionaron los máximos valores de remoción de lindano en todos los cultivos puros y una diferencia estadísticamente significativa respecto al control abiótico.

Se inmovilizó el consorcio definido de actinobacterias en tres formas diferentes y se demostró que al encapsular las cuatro cepas juntas en bolsas de tela se obtuvo un 81% de remoción de lindano. Además, este soporte demostró ser apto para la inmovilización de las actinobacterias ya que el porcentaje de células liberadas fue despreciable y las células inmovilizadas fueron reutilizadas en dos ciclos adicionales de 96 h cada uno, sin desintegración del mismo (Saez et al., 2012).

Para la biorremediación de lodos se seleccionó un inóculo de  $10^7$  UFC mL<sup>-1</sup>, la concentración de lindano de 50 mg kg<sup>-1</sup>, y la proporción de

suelo/agua de 1:4. En dicho sistema de lodos, se obtuvo una remoción de lindano de  $31,5 \text{ mg kg}^{-1}$  (63%) a los 21 días de incubación y se reutilizaron eficientemente las células inmovilizadas en dos ciclos adicionales de 21 días cada uno, obteniéndose porcentajes de remoción de lindano de 65 y 71,4%.

Se demostró la capacidad del consorcio de degradar parcialmente el lindano en sistemas líquidos y lodos, mediante la determinación de iones cloruro liberados y la identificación de 1,2-diclorobenceno, 1,4-diclorobenceno y  $\gamma$ -pentaclorociclohexeno, tres metabolitos intermedios de la degradación del plaguicida (Saez et al., 2014).

Se sometió al consorcio de actinobacterias a un proceso de aclimatación, el cual demostró una mejora en la remoción de lindano en los sistemas líquidos. En el sistema de lodos diluidos, en cambio, la aclimatación del consorcio definido de actinobacterias no mejoró significativamente la remoción de lindano (Saez et al., 2015).

### 3. Biorremediación de suelo contaminado con lindano empleando actinobacterias y plantas de maíz

Las plantas juegan un papel esencial y reconocido en el tratamiento de suelos contaminados con compuestos inorgánicos como metales pesados y otros elementos traza, ya sea absorbiéndolos o induciendo su estabilización en el suelo a formas menos tóxicas. En el caso de los contaminantes orgánicos, ciertas especies pueden absorberlos y degradarlos en su interior o exteriormente en el suelo o incluso eliminarlos

del mismo al secuestrarlos y/o transportarlos a la parte aérea y promover su volatilización.

Según el criterio de Thangavel y Subhuram (2004), dependiendo del tipo de contaminante, de las condiciones del sitio y el nivel de remoción requerido, las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción, fitovolatilización y fitoestimulación).

La combinación de cepas de *Streptomyces* sp. con capacidad de remover POs, con plantas de maíz con la misma propiedad, se presenta como una alternativa atractiva de estudio debido a sus potenciales aplicaciones en procesos de biorremediación. En este contexto, se ensayaron técnicas de biorremediación de lindano, utilizando cultivos de actinobacterias inoculados en suelos implantados con maíz.

El análisis químico de los exudados radicales de maíz reveló su naturaleza rica en azúcares, proteínas, aminoácidos y compuestos fenólicos. Asimismo, se detectó una actividad dehalogenasa, la cual contribuiría a la declorinación del lindano por la planta (Álvarez et al., 2015).

Las cepas de *Streptomyces* sp. A2, A5, A11 y M7 crecieron en medio líquido en presencia de maíz como única fuente de carbono, registrando elevados porcentajes de remoción del plaguicida (94 a 82%, dependiendo de la cepa). *Streptomyces* sp. M7 presentó la menor concentración de lindano residual y mayor crecimiento, por lo que sería la

más adecuada para emplear en procesos de saneamiento de sistemas líquidos. Por su parte, la planta de maíz removió 89% de lindano al ser cultivada en el mismo medio, en condiciones axénicas. Los mecanismos de fitorremediación que habrían operado en este proceso serían múltiples: actividades dehalogenasas, emulsificantes y mecanismos de adsorción del plaguicida por la epidermis radical.

Cuando el consorcio se cultivó en suelo con plantas de maíz y lindano, el crecimiento y la remoción de lindano aumentaron conjuntamente entre los 7 y 14 días, por lo que la planta habría ejercido un efecto estimulante sobre las cepas de *Streptomyces*. A partir de entonces, el crecimiento permaneció casi constante a pesar del aumento pronunciado de la remoción del plaguicida (hasta 62% al final del ensayo), sugiriendo que en esa etapa, los mecanismos de remoción del contaminante serían de origen vegetal.

La disipación de lindano en medio líquido fue mayor (94 a 82%, cultivos puros) que en suelo (62%, cultivo mixto). Esto se debería a un mayor contacto entre el contaminante y los sistemas biológicos en líquido y/o a que los cultivos puros serían más adecuados para desarrollar sus actividades degradativas en suelo con plantas de maíz, en lugar del consorcio.

Al evaluar la toxicidad de suelos biorremediados a distintos tiempos, se observó un aumento progresivo del valor de los parámetros biológicos analizados en el bioindicador, sugiriendo que el proceso de

biorremediación avanzaba eficientemente con el tiempo. Este resultado es muy relevante, ya que indica que la toxicidad de los productos de degradación microbiana habría sido suprimida por parte de la planta de maíz.

4. Biorremediación de suelos co-contaminados con lindano y Cr(VI) por actinobacterias

Los ambientes co-contaminados con metales y compuestos orgánicos son difíciles de tratar, donde la toxicidad de los metales inhibe la actividad de los microorganismos degradadores de compuestos orgánicos. Los suelos expuestos durante mucho tiempo a una contaminación mixta de compuestos orgánicos y metales pesados, han mostrado comunidades microbianas estructurales y funcionales con la capacidad de adaptarse y crecer en estas condiciones adversas.

Debido a su potencial metabólico, se estudió la posibilidad de utilizar actinobacterias aisladas de ambientes co-contaminados con plaguicidas organoclorados y metales pesados, detoxificantes de metales y degradadores de compuestos orgánicos, que trabajen cooperativamente para la remediación de ambientes co-contaminados con Cr(VI) y lindano.

Se determinó la tolerancia a la mezcla de Cr (VI) y lindano en cinco actinobacterias: *Streptomyces* sp. A5, A11, M7 y MC1 y *Amycolatopsis tucumanensis* ABO. *Streptomyces* sp. A11 produjo la inhibición del crecimiento de *Streptomyces* sp. M7 y MC1, por lo que no fue utilizada en estudios posteriores. Se inocularon las actinobacterias seleccionadas en

muestras de suelo esterilizadas co-contaminados inmediatamente (en simultáneo), o después de 7 días (en desfase) con Cr (VI) y lindano. Se determinó que todas las actinobacterias y el consorcio fueron capaces de crecer en muestras de suelo contaminadas con ambos tóxicos y de remover Cr(VI) y lindano (Polti et al., 2014).

El consorcio formado por las cuatro actinobacterias provocó la mayor remoción de Cr(VI) en muestras de suelo esterilizadas, mientras que *Streptomyces* sp. M7 produjo la mayor remoción de lindano, por lo que fueron seleccionados para realizar ensayos en muestras de suelo no esterilizadas.

En muestras de suelo no esterilizadas, *Streptomyces* sp. M7 y el consorcio removieron más del 50% del lindano, mientras que *Streptomyces* sp. M7 produjo la mayor remoción de Cr(VI).

La estrategia más apropiada para la biorremediación de suelos co-contaminados con Cr(VI) y lindano fue la inoculación de los mismos con cultivos de *Streptomyces* sp. M7. Se estudiaron los efectos de diversos factores ambientales (físicos, químicos y biológicos) sobre la biorremediación de suelos contaminados con Cr(VI) y lindano, utilizando la actinobacteria *Streptomyces* sp. M7, con el objetivo de optimizar el proceso.

Se determinó la concentración óptima de inóculo de *Streptomyces* sp. M7 para la biorremediación de muestras de suelos contaminadas con Cr(VI) y lindano. Los suelos fueron contaminados con 25  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de lindano

y 50 mg kg<sup>-1</sup> de Cr(VI) y se inocularon con *Streptomyces* sp. M7: 0,5; 1,0; 2,0 y 4,0 g kg<sup>-1</sup> de suelo. Los frascos, con 200 g de suelo, se incubaron durante 14 días a 30 °C. Al final del ensayo se determinaron las concentraciones residuales de los contaminantes. La menor concentración de *Streptomyces* sp. M7 que permitió simultáneamente la mayor remoción de Cr(VI) y lindano fue de 1 gkg<sup>-1</sup>.

También se determinó la influencia de parámetros físicos y químicos sobre la biorremediación de muestras de suelo contaminadas con Cr(VI) y lindano, por *Streptomyces* sp. M7. La influencia de estos parámetros en la biorremediación de suelos se evaluó mediante diseños factoriales completos. Los factores y los niveles ensayados fueron: Temperatura: 25, 30, 35 °C; Humedad: 10, 20, 30 %; Concentración inicial de Cr(VI): 20, 50, 80 mg kg<sup>-1</sup>; Concentración inicial de lindano: 10, 25, 40 mg kg<sup>-1</sup>. El modelo elegido, con 4 factores (temperatura, humedad, concentraciones iniciales de Cr(VI) y lindano), resultó adecuado para el estudio de la biorremediación de suelos contaminados con Cr(VI) y lindano por *Streptomyces* sp. M7. Fue posible predecir el resultado de la actividad de la actinobacteria durante la biorremediación de un suelo co-contaminado, conociendo las condiciones iniciales del sistema. La mayor remoción de Cr(VI) por *Streptomyces* sp. M7 se produjo en condiciones de elevada temperatura y baja humedad. La mayor remoción de lindano por *Streptomyces* sp. M7 se produjo en condiciones de elevada concentración inicial de Cr(VI) y alta humedad. Se determinaron las condiciones óptimas

temperatura y humedad para la biorremediación de ambientes co-contaminados con diferentes concentraciones de Cr(VI) y lindano (Aparicio et al., 2015).

## Reflexiones finales

Las actinobacterias han demostrado capacidad para degradar plaguicidas en diferentes condiciones: en medio líquido, lodos y suelos, en forma libre e inmovilizada, como cultivos puros y consorcios, en asociación con plantas y en presencia de otros contaminantes. Estos microorganismos pueden ser empleados exitosamente en la recuperación de diferentes ambientes contaminados.

## Bibliografía

- Albarracín, V.H., Amoroso, M.J., Abate, C.M. 2005. Isolation and characterization of indigenous copper-resistant actinomycete strains. *Chemie der Erde - Geochemistry* 65: 145-156.
- Alvarez, A., Benimeli, C., Saez, J., Fuentes, M., Cuozzo, S., Polti, M., Amoroso, M. 2012. Bacterial Bio-Resources for Remediation of Hexachlorocyclohexane. *International Journal of Molecular Sciences* 13: 15086-15106.
- Álvarez, A., Benimeli, C., Saez, J., Giuliano, A., Amoroso, M. 2015. Lindane removal using *Streptomyces* strains and maize plants: a biological system for reducing pesticides in soils. *Plant and Soil* 395: 401-413.
- Alvarez, A., Saez, J.M., Davila Costa, J.S., Colin, V.L., Fuentes, M.S., Cuozzo, S.A., Benimeli, C.S., Polti, M.A., Amoroso, M.J. 2017. Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere* 166: 41-62.

- Aparicio, J.D., Simón Solá, M.Z., Benimeli, C.S., Amoroso, M.J., Polti, M.A. 2015. Versatility of *Streptomyces* sp. M7 to bioremediate soils co-contaminated with Cr(VI) and lindane. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 116: 34-39.
- Aparicio, J.D., Benimeli, C.S., Almeida, C.A., Polti, M.A., Colin, V.L. 2017. Integral use of sugarcane vinasse for biomass production of actinobacteria: Potential application in soil remediation. *Chemosphere* 181: 478-484.
- Aparicio, J.D., Raimondo, E.E., Gil, R.A., Benimeli, C.S., Polti, M.A. 2018. Actinobacteria consortium as an efficient biotechnological tool for mixed polluted soil reclamation: Experimental factorial design for bioremediation process optimization. *Journal of Hazardous Materials* 342: 408-417.
- Benimeli, C.S., Amoroso, M.J., Chaile, A.P., Castro, G.R. 2003. Isolation of four aquatic streptomycetes strains capable of growth on organochlorine pesticides. *Bioresource Technology* 89: 133-138.
- Boopathy, R. 2000. Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource Technology* 74: 63-67.
- Briceño, G., Fuentes, M.S., Palma, G., Jorquera, M.A., Amoroso, M.J., Diez, M.C. 2012. Chlorpyrifos biodegradation and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol production by actinobacteria isolated from soil. *International Biodeterioration & Biodegradation* 73: 1-7.
- Camargo, F., Bento, F., Okeke, B., Frankenberger, W. 2004. Hexavalent chromium reduction by an actinomycete, *Arthrobacter crystallopoietes* ES 32. *Biological Trace Element Research* 97: 183-194.
- Castillo Rodríguez, F. 2005. Biotecnología ambiental. Tébar.
- Dhal, B., Thatoi, H.N., Das, N.N., Pandey, B.D. 2013. Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: A review. *Journal of Hazardous Materials* 250-251: 272-291.
- Ezziyyani, M., Perez, C., Requena, M., Ahmed, A., Candela, M. 2004. Evaluación del biocontrol de *Phytophthora capsici* en pigmento (*Capsicum annuum* L.) por tratamiento con *Burkholderia cepacia* *Anales de Biología* 26: 61-68.

- Fuentes, M., Sáez, J., Benimeli, C., Amoroso, M. 2011. Lindane biodegradation by defined consortia of indigenous *Streptomyces* strains. *Water, Air, & Soil Pollution* 222: 217-231.
- Goodfellow, M. 1989. Suprageneric identification of actinomycetes, in: Williams, S. (Ed.). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Williams and Wilkins, Baltimore, pp. 2333-2339.
- Goodfellow, M., Kämpfer, P., Busse, H.-J., Trujillo, M.E., Suzuki, K.-i., Ludwig, W., Whitman, W.B. 2012. *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*. Springer, New York.
- Goodfellow, M., Williams, S.T. 1983. Ecology of Actinomycetes. *Annual Review of Microbiology* 37: 189-216.
- Haferburg, G., Merten, D., Büchel, G., Kothe, E. 2007. Biosorption of metal and salt tolerant microbial isolates from a former uranium mining area. Their impact on changes in rare earth element patterns in acid mine drainage. *Journal of Basic Microbiology* 47: 474-484.
- Karn, S., Chakrabarti, S.K., Reddy, M.S. 2011. Degradation of pentachlorophenol by *Kocuria* sp. CL2 isolated from secondary sludge of pulp and paper mill. *Biodegradation* 22: 63-69.
- McCarthy, A.J., Williams, S.T. 1992. Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment — a review. *Gene* 115: 189-192.
- Navarro, S., Vela, N., Navarro, G. 2013. Review. An overview on the environmental behaviour of pesticide residues in soils.
- Polti, M.A., Amoroso, M.J., Abate, C.M. 2007. Chromium(VI) resistance and removal by actinomycete strains isolated from sediments. *Chemosphere* 67: 660-667.
- Polti, M.A., Aparicio, J.D., Benimeli, C.S., Amoroso, M.J. 2014. Simultaneous bioremediation of Cr (VI) and lindane in soil by actinobacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation* 88: 48-55.
- Saez, J.M., Álvarez, A., Benimeli, C.S., Amoroso, M.J. 2014. Enhanced lindane removal from soil slurry by immobilized *Streptomyces* consortium. *International Biodeterioration & Biodegradation* 93: 63-69.

- Saez, J.M., Aparicio, J.D., Amoroso, M.J., Benimeli, C.S. 2015. Effect of the acclimation of a *Streptomyces* consortium on lindane biodegradation by free and immobilized cells. *Process Biochemistry* 50: 1923-1933.
- Saez, J.M., Benimeli, C.S., Amoroso, M.J. 2012. Lindane removal by pure and mixed cultures of immobilized actinobacteria. *Chemosphere* 89: 982-987.
- Schwitzguébel, J., Kumpiene, J., Comino, E., Vanek, T. 2009. From green to clean: a promising and sustainable approach towards environmental remediation and human health for the 21st century. *Agrochimica* 53: 209-237.
- Siñeriz, M.L., Kothe, E., Abate, C.M. 2009. Cadmium biosorption by *Streptomyces* sp. F4 isolated from former uranium mine. *Journal of Basic Microbiology* 49: S55-S62.
- USEPA, U.S.-E.P.A. 2007. Treatment Technologies for Site Cleanup: Annual Status Report. in: Innovation, O.o.S.R.a.T. (Ed.), p. 290.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry* 73: 1163-1172.
- Vobis, G. 1997. Morphology of actinomycetes, in: Miyadoh, S. (Ed.). Atlas of Actinomycetes. Asakura Publishing Co, Japan, pp. 180-191.
- Willett, K.L., Ulrich, E.M., Hites, R.A. 1998. Differential Toxicity and Environmental Fates of Hexachlorocyclohexane Isomers. *Environmental Science & Technology* 32: 2197-2207.

## Plaguicidas en el Ambiente: La visión del Programa Nacional de Protección Vegetal

*Ing. Jorge Frana*

*Investigador de INTA, EEA Rafaela*

El INTA ha trazado un camino en la disciplina conocida en sus orígenes como Sanidad Vegetal. En la actualidad, el Programa Nacional de Protección Vegetal (PNPV) es un instrumento programático cuya Misión es contribuir al desarrollo de los territorios impulsando una mirada plural y transdisciplinaria que conduzca a un manejo integrado de los organismos perjudiciales de los cultivos. Quien esto escribe no desconoce sus limitaciones para narrar la semblanza de la disciplina, pero habilitado por transitar los últimos dos tercios de esta historia, siente el compromiso de traducir el legado de los primeros investigadores y extensionistas, quienes se encontraron con una problemática caracterizada por la dependencia de los plaguicidas en aplicaciones basadas en el calendario y a veces preventivas. Así, la reducción de la carga de plaguicidas siempre estuvo en la consideración de quienes le imprimieron un enfoque holístico basado en el conocimiento del ambiente, los ciclos biológicos de las especies plagas y sus factores abióticos y bióticos (enemigos naturales: nuestros amigos) de mortalidad. De esta forma, encontraron soluciones de impacto económico (Trossero et al. 2016) a través del **Manejo Integrado de Plagas (MIP)** en

los principales cultivos extensivos tradicionales dominantes de la extensa zona pampeana y específicos de las economías regionales.

A diferencia de otras prácticas agronómicas, el MIP no es una tecnología de insumos, sino que por incluir análisis de procesos biológicos y agronómicos en el contexto social, se enmarca en una filosofía, es decir, una forma conceptual de concebir el control de los distintos organismos perjudiciales que se presentan en los cultivos, e inclusive de aquellos que pueden afectar la salud de humanos y animales. Se entiende por plaga a toda especie de plantas (denominadas malezas que compiten por luz, agua y nutrientes con el cultivo), microorganismos (causantes de enfermedades en cultivos), invertebrados (generalmente insectos por su abundancia) y hasta los vertebrados (palomas, ratas, peludos) que compiten con los bienes que intenta producir el hombre.

Por definición, con las tácticas englobadas en la estrategia MIP se busca el máximo beneficio para el productor con un mínimo disturbio o riesgo para la sociedad y el ambiente. Como su nombre lo indica, el MIP se basa en el conocimiento de las plagas principales de los cultivos, su ciclo biológico y los factores de mortalidad natural, sus daños en función de las etapas fenológicas del cultivo, su forma de detectar las poblaciones mediante los muestreos sistemáticos y periódicos, y lo que es fundamental, no descansa en una alternativa de control, sino que integra y combina el uso de variedades resistentes, labores culturales como fecha de siembra y labranzas, permite actuar y trata de conservar a los organismos benéficos,

y deja como último resorte el uso de plaguicidas, siempre que estos sean selectivos, es decir que controlen la plaga pero no ocasionen alteraciones graves en el ambiente por la muerte de organismos no blanco.

El INTA suscribió a esta práctica y se tiene conocimiento de los esfuerzos y el éxito de quienes fueron pioneros en MIP en Argentina. Así, los Ings. Agrs. Jorge M. Barral (investigación) y Luis Zago (especialista en extensión) de la EEA Saenz Peña junto a Agustín Simonella de la AER Villa Angela desarrollaron el programa MIP en algodón entre los años 1960-1985 (Barral y Zago 1983) donde se logró reducir el número de aplicaciones de dos dígitos a uno, todo un logro reconocido internacionalmente. Por entonces también fue impulsado un curso MIP por INTA-FAO (1978) en la EEA Pergamino, donde la instrucción impartida por profesores nacionales y extranjeros, impactó a los investigadores y extensionistas de entonces, y cuyo pensamiento perdura en la actualidad. Luego, desde la coordinación del programa Sanidad Vegetal, liderado por el Ing. Rubén Parissi, surgieron varios proyectos enmarcados en el desarrollo y la implementación de programas MIP en cultivos extensivos (soja, girasol, maíz, sorgo, trigo y cereales de invierno, y alfalfa) de la pampa húmeda, arroz (Ing Manuel Trujillo), frutales en el Alto Valle de Río Negro (Ing. Julián Vermeulen) y vid, por citar algunos.

Muy a pesar de la generación de conocimientos disciplinarios y las buenas intenciones, la adopción del MIP fue baja. Tal vez, la carencia de lotes conducidos bajo los preceptos del MIP, con la respuesta económica

correspondiente, haya contribuido a esa baja adopción. Sin embargo, en tiempos recientes diferentes situaciones productivas de buenas prácticas agrícolas con bajo uso de plaguicidas salieron a la luz y comienzan a multiplicarse. De hecho, programas como la Red de Información de Interés Agronómico (RiiA), donde se escrutaron anualmente 48 lotes de producción de soja en el centro norte de la provincia de Santa Fe, evidenció el mal uso de los plaguicidas, siendo la mayoría de las veces aplicados sin los criterios que rigen la toma de decisiones basados en umbrales de tratamiento (Frana, 2005, 2008; J. Frana datos no publicados). Al mismo tiempo, el “caso Rafaela” donde se produce soja en aproximadamente 100 ha divididas por campaña alternativamente en dos lotes de siembra directa temprana y tardía desde 2005 al presente, mostró que la aplicación de los conceptos MIP, solo dos de 18 lotes necesitaron control con insecticidas y uno con fungicidas (Frana, 2015). Aun así, en el control de malezas no se ha logrado la reducción de herbicida, pero se interpreta que los cultivos de cobertura, como avena más vicia, con la terminación del ciclo con “rolo faca”, tendrían visos de practicidad, pero faltará considerar el aspecto económico que conduzca al cambio de comportamiento. Lejos de estar finalizado el análisis, los servicios ecosistémicos recibidos ocurrieron sin haber modificado el paisaje, que cuando ocurra, se verá incrementado.

En la actualidad, desde el PNPV se tiene una fuerte consideración a las bondades del MIP como una de las tantas Buenas Prácticas

Agrícolas, y por lo tanto, y con el objeto de lograr una mayor adopción, que en definitiva es la innovación en el territorio, se promueve la conformación de Consorcios de Manejo Integrado de Plagas (ConMIP) como la manera de aprender a hablar el mismo idioma, el del MIP, y consensuar la forma de abordar el manejo de las plagas que afectan los cultivos incorporando los saberes locales. Se interpreta que esos Consorcios pueden ser apoyados en el territorio con la demostración de áreas piloto MIP desarrollados y consensuados por los programas nacionales de cada cadena productiva. Por otra parte, la inocuidad de la producción es considerada mediante el análisis de los residuos de plaguicidas en lo cosechado en dichas áreas piloto. Es el reaseguro para la estrategia MIP propuesta y la producción agrícola de bajo impacto.

Por lo antes expuesto, el PNPV no desconoce que los plaguicidas son compuestos no deseados en el ambiente, pero la visión actual del programa centra su accionar en la adopción del MIP, convencidos de que es la alternativa a seguir en primera instancia para lograr cambiar la mentalidad de los actores involucrados en la protección de cultivos para que luego se traduzca, en el comportamiento y las acciones conducentes a producciones agropecuarias de bajo impacto y riesgo mínimo para la salud de la población y el ambiente.

## **Bibliografía**

Barral, J. M. y L. B. Zago. 1983. Programa para el Manejo Integrado de insectos y ácaros en algodón. INTA EERA Sáenz Peña, Chaco. Boletín 71. 32 p.

- Frana, J. E. 2008. La problemática de chinches en soja. La experiencia de la RiiA en el centro de Santa Fe. En: E.V. Trumper & J.D. Edelstein (eds.), Chinches fitófagas en soja. Revisión y avances en el estudio de su ecología y manejo. Ediciones INTA, Manfredi, pp. 021-030.
- Frana, J. 2015. MIP en soja, el caso Rafaela 2005-2015". En: Simposio INTA "Manejo Integrado de Plagas". IX Congreso Argentino de Entomología, Posadas (Misiones).
- Frana, J.; E. Astegiano; J. Villar; O. Hermann y H. Imvinkelried. 2005. Caracterización de manejo de plaguicidas en la región central de Santa Fe. Experiencia RiiA 2002-2003-2004. Pp. 78-84. En: Bogliani, M. y J. Hilbert (eds.). AplicAR eficientemente los agroquímicos. Ediciones INTA, ISBN 987-521-172-9. [Incluido en INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica Cultivos de Verano. Campaña 2005. Publicación Miscelánea N° 104, ISSN 0325-9137; Octubre 2005]
- INTA-FAO. 1978. Compendio del curso de perfeccionamiento en control integrado de plagas. Tomo I y II. INTA, Estación Experimental Regional Agropecuaria Pergamino.
- Trossero, M.; J. Frana y F. Massoni. 2016. Resultados preliminares sobre factibilidad económica de producción de soja de segunda con implementación de manejo integrado de plagas. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, Información Técnica Cultivos de Verano. Campaña 2016. Publicación Miscelánea 132, pág. 122-131.

## **Ambiente y producción: reflexiones sobre la evolución de las tecnologías**

*Dr. Jorge González Montaner*

*Coord. Agricultura zona Mar y Sierras y Litoral. AACREA.*

*Coord. Cursos de Posgrado FUNDACREA. Coord. Grupo Trigo AACREA.*

Propongo discutir el estado de algunas tecnologías dominantes y cómo apropiarnos de ellas como sociedad para transformarlas en ejes de relanzamiento del desarrollo rural, integrando tecnologías innovadoras a los sistemas de cultivo con impactos consensuados sobre el ambiente.

Recientemente, debatía con investigadores referentes en sistemas de cultivo del INRA (Francia), sobre su visión del rol estratégico del alimento en Europa (explicado por la seguridad alimentaria) y por qué esta noción justifica, según ellos, aislar el alimento de las negociaciones de libre comercio, permitiendo subvencionar producciones en ambientes que no pueden competir en mercados internacionales. Yo me oponía a este argumento señalando que era, al menos arbitrario y caprichoso, ya que la misma argumentación es válida, al menos para la energía o para la defensa, y hoy podríamos decir lo mismo, dado el nivel de globalización, hasta de los sistemas de comunicación. Un día sin alimento se puede soportar; y ¿un día sin Internet?

Así, yo podría decir que algunos sistemas europeos repiten desde que los conozco, al menos 30 años, una mirada que si bien pretende ser

innovadora, está anclada en una visión estática. Por ejemplo, si uno recorre el entorno rural francés encuentra un sinnúmero de agricultores y productores de leche que, mantienen sus sistemas productivos sin demasiado entusiasmo por modificarlo y mejorarlo pues existen políticas de proteccionismo a favor de ese sector productivo (Política Agrícola Común). También para nosotros es imperante mantener a los productores en el campo pero debemos esforzarnos en hacerlo generando actividades sustentables y acordes a los lenguajes que imperan en esta etapa postmoderna.

i.-Un ejemplo es el debate biotecnológico, el rechazo europeo es cultural y obedece al principio de precaución, basado en malas experiencias anteriores, dioxina, bancos de semen, etc., sin duda aceptables, pero también a una reacción a la gesta de Monsanto. El problema no es estar a favor o en contra de la biotecnología; el problema es saber cómo manejarla para nuestro provecho y nuestro fin como sociedad. La experiencia muestra que los grandes monopolios no compiten en problemáticas más locales. ¿Cómo utilizar estas herramientas en pos de lo que necesitamos y queremos como país? ¿Cómo responder a las problemáticas de los distintos cultivos?

Para competir con el desarrollo biotecnológico existente a nivel mundial, es necesario posicionarnos a esa altura para poder tener libertad y elección, teniendo la capacidad de utilizar la mejor calidad de información, la mayor cantidad de controles y las mejores herramientas. La revolución

generada por la edición génica debiera ser prioritaria en nuestra agenda. Necesitamos una fuerte presencia del Estado como inductor de nuevos desarrollos. En el futuro podemos imaginar grupos formados por el Estado, como son hoy los fisiólogos formados por F. Andrade (investigador de INTA), en distintos puntos del país apoyando programas de mejoramiento de empresas locales. Imaginemos por ej. las transformaciones que se pueden generar en calidad, de los cultivos dominantes que tienen potencial de rendimiento y adaptación zonal, agregándoles propiedades específicas...alimentos, por ejemplo, y generando industrias alrededor de ellos.

ii.- El despertar de la robótica y su interacción con el comportamiento de los procesos regidos por la fisiología de los cultivos es otra área estratégica para el desarrollo. Los grupos de fisiología vegetal, malezas y suelos por ej.; deberían tener adosados a ellos laboratorios de desarrollo de herramientas en el campo del monitoreo y sensado de la evolución de las propiedades de estos sistemas, para mejorar los sensores a nivel experimental y para crear nuevas herramientas de monitoreo y toma de decisiones en lo que a nutrición, sanidad y parámetros ambientales se refiere.

iii.- Las Plataformas de gestión de información. La entrada del agro en el lenguaje digital debe ser incentivada. Como concepto, pasar de gestionar lotes a gestionar ambientes definidos por propiedades comunes, con la posibilidad de seguir la evolución de su crecimiento y propiedades

en tiempo real. En breve, tendremos microsátélites o drones con relevamientos diarios, si así lo deseáramos, a escalas centimétricas. Debemos desarrollar los indicadores y sus modelos asociados que nos permitan mejorar el negocio y la sostenibilidad de los sistemas.

En el mercado, cada empresa multinacional trata de captar a sus clientes ofreciendo plataformas de gestión y esto es parte del juego; sin embargo, creo, y en eso estamos embarcados en CREA, en propender a la generación de plataformas libres de manejo de la información georeferenciada para que la información siga siendo del usuario y/o de los grupos.

Volviendo al principio, una pregunta que nos venimos haciendo es cómo hacer para que la gente quiera vivir en el campo, ya que necesitamos gente de calidad, gente con experiencia, gente que quiera aprender y vivir en el campo. El gran problema es que la gente se va del campo a las ciudades, y ésta es una tendencia global, que no sólo tiene que ver con la calidad de vida, sino también con la fuerte atracción de las ciudades como sitio cultural. Entonces, tenemos que trabajar en este tema tan fuerte como en tecnología.

Si logramos un campo diverso en su paisaje, en producciones de calidad, en rotaciones sostenibles monitoreadas con sensores adecuados...necesitaremos gente formada para manejar *in situ* la masa de información generada.

Muchas de las actividades ligadas al manejo de información no necesariamente requieren altos estudios, debemos aprovechar la facilidad digital de las nuevas generaciones para darles herramientas que los involucren en las redes de formación.

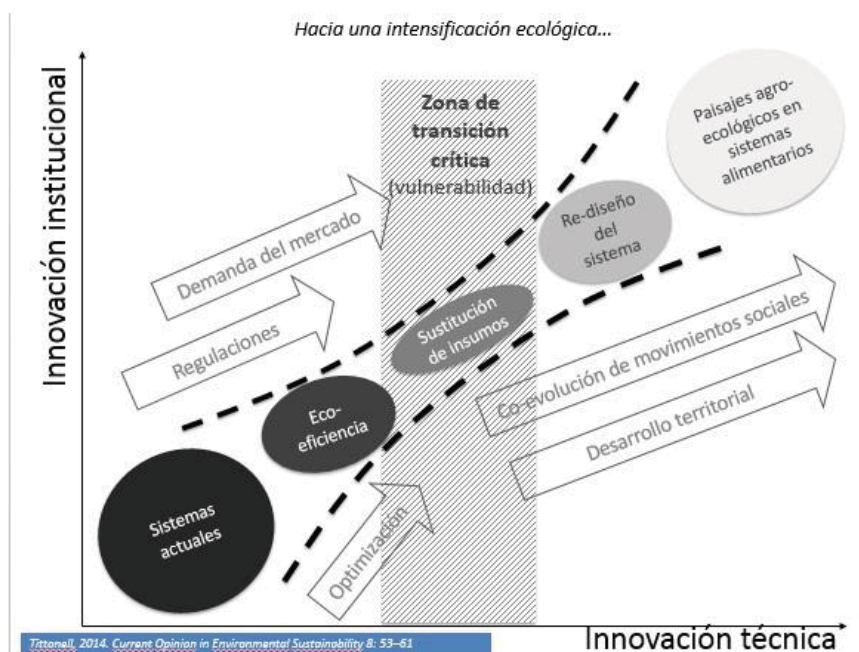
El futuro de las comunidades rurales depende de una serie de factores, entre ellos, la innovación y competitividad, la diversidad de personas, la energía en la gente, que sea un lugar agradable para vivir, y que haya muchos emprendimientos para que toda esa gente pueda vivir en un nivel de vida acorde a sus expectativas. Los caminos que tenemos que transitar para lograrlo son el de la innovación técnica e institucional. Un ejemplo de este concepto es presentado en el cuadro por Tiftonell 2014, haciendo hincapié en la intensificación ecológica, puede ser un modelo de debate (Figura 1).

Hoy en día estamos viendo cómo diseñar el paisaje, en cada lugar ver qué es lo mejor para evolucionar en la relación entre la sociedad, el ambiente y la producción. Estamos viendo la posibilidad de hacer esto con los distintos actores: INTA, grupos CREA, empresas.

El primer ejemplo que iniciamos es en Entre Ríos, donde se está desarrollando un proyecto de Grupos de Intensificación, el cual consiste en dos etapas:

La Etapas 1, es la de las tecnologías, para la cual se establecieron tres actividades: I. Coordinación y puesta en conocimiento de protocolos de tecnologías, híbridos / variedades / estructura / fecha de siembra /

nutrición / malezas. II. Fecha de puesta en común de información. III. Servicios compartidos: Red CREA usada por especialistas.



**Figura 1. El camino hacia la Intensificación Ecológica.**

Fuente: Titttonell 2014

La Etapla 2, que es la de los sistemas, está divida en tres sub-etapas:

- a) Análisis del conjunto de la información zonal en búsqueda de hipótesis sistémicas de análisis según ambientes. Se espera

determinar efectos de: *I.* Historia, antecesor, intensificación; *II.* Usos de agua y recursos; *III.* Utilización de insumos.

- b) Proyecto Grupos de Intensificación, con las siguientes actividades:
- I.* Campos de cada zona pioneros en intensificación agrícola o agrícola-ganadera según zona co-coordinados por un referente CREA y uno INTA, detectando campos por subzonas. Esta actividad incluye recorridas bimensuales a los establecimientos; *II.* Seguimiento de las variables biológicas y económicas, y de las externalidades, realizado por especialistas de INTA, Facultades y CREA.
- c) Ensayos de intensificación en EEA o campos CREA. En este proyecto, a cada Estación Experimental se le asignan 5 grupos de campos que van a generar variaciones en sus sistemas de producción: algunos serán agrícolas con cierta intensificación en determinados cultivos, otros tendrán que ver con actividades agrícola-ganaderos, pero la idea es hacer variantes que nos permitan discutir con la sociedad y ampliar el marco en el que podamos mostrar cosas que nos sirvan para aprender y para transferir. Algo importante es que tenemos que hacer cosas que motiven, pero que sean estrictamente ciertas; no podemos faltar al rigor científico, si no estaríamos muy fuera de lo que pretendemos como sociedad. La realidad es que debemos buscar la manera de que los resultados científicos lleguen a la gente, a los asesores, a

los que toman las decisiones; para ello, tenemos que salir del escenario meramente científico y llegar a esos actores.

Co-construir sistemas con todos los actores de la sociedad poniendo énfasis en las personas y en el respeto del ambiente.

El Estado debe bregar para achicar la brecha entre lo disponible y lo ejecutado, ejemplo evidente: el INTA desarrolló un sensor para la aplicación de agroquímicos tipo “weed seeker” ¿Qué esperamos para financiar que este desarrollo sea un kit a incorporar con créditos a xxx años y renovable en el tiempo?, para: -aumentar el trabajo en el campo, - resolver parte del dilema de los excesos de uso de herbicidas, -mejorar el ambiente...¿Dónde está la agencia que se ocupa de provocar la explosión de estos proyectos?

Nos vamos a seguir peleando o nos vamos a poner a trabajar, con todas las diferencias pero con toda la voluntad y la imaginación.

## Consideraciones finales

*Dres. Virginia Aparicio, José Luis Costa, Lic. Eliana S. Gonzalo Mayoral*  
*EEA INTA Balcarce*

Argentina, con predominio de **climas templados** que posibilitaron el desarrollo de **suelos aptos** para producir grano y fibra, es un país mundialmente reconocido por su rol de proveedor de productos primarios. Es importante comprender y valorar correctamente que nuestra posibilidad de desarrollo agropecuario se debe, en primer término, al ambiente (suelo – agua – clima – fauna y flora) y, debido a ello, se han realizado esfuerzos desde las instituciones públicas del estado, por estudiarlo y protegerlo mediante legislación adecuada.

El desarrollo tecnológico, incluyendo tecnologías de insumos y de procesos, aplicado al sistema agropecuario, ha brindado soluciones, pero también ha generado interrogantes respecto de su aplicación a gran escala. En la actualidad, contamos con unas pocas herramientas tecnológicas, mayoritariamente tecnologías de insumos, adoptadas sobre la mayor parte

de nuestro territorio nacional: **siembra directa** – **cultivos transgénicos** – **plaguicidas**, en lo que a producción primaria se refiere.

La adopción masiva de la **siembra directa** no implica un aumento de rendimiento de los cultivos extensivos, respecto de los sistemas convencionales. Este resultado, obtenido en varios ensayos de larga duración de INTA, fue corroborado por Pittelkow et al. (2015), quienes observaron una reducción anual de 5.1% en el rendimiento global de los cultivos bajo siembra directa. Por otra parte, como describe el Ing. Valeiro en su apartado, la rápida adopción de **cultivos transgénicos** (caso *algodón genéticamente modificado*) con la justificación de reducir el número de aplicaciones, produjo el resultado contrario.

Finalmente, el actual uso de **plaguicidas** para la producción de materias primas, nos ha conducido a una situación de vulnerabilidad. Transitando las páginas de éste libro, han podido observar como profesionales de diferentes instituciones del estado se ocupan de estudiar los efectos del uso de plaguicidas. Bajo las prácticas productivas actuales, el Dr. Carriquiriborde menciona que, existen escenarios de exposición aguda donde se inducen eventos de mortandades masivas de peces, en particular vinculados al endosulfán (gracias a estos y otros trabajos semejantes ha sido prohibido en Argentina). Además, las concentraciones de plaguicidas medidas en peces están indicando que los mismos están siendo expuestos y constituye un factor de estrés ambiental adicional que

podría aumentar la vulnerabilidad de estas poblaciones frente a la acción de otros factores de estrés (ej. enfermedades, predación, etc.).

En el año 2009 se creó la Comisión Nacional de Investigación sobre Agroquímicos (Decreto 21/2009) que, entre otras cosas, destacó la escasa información generada en el país sobre concentración de plaguicidas (glifosato, en este caso) en el ambiente; nueve años más tarde, podemos observar como el sistema de investigación respondió a esa demanda concreta con múltiples publicaciones que reportan concentraciones de plaguicidas en agua subterránea, agua superficial, suelo y sedimentos erosionables hídrica y eólicamente. En el año 2015, la IARC reclasificó al glifosato como “probablemente carcinogénico para el ser humano” (Grupo 2 A); esta decisión está vigente a la fecha y ha desencadenado múltiples debates y en varios ejes de discusión que van desde la defensa absoluta de esta herramienta de control de malezas, muchas veces con argumentos muy poco científicos, incluyendo la manifestación de preocupación sobre cómo se calculan las ingestas diarias tolerables para glifosato: según Myers et al., (2016), en los EEUU y la Unión Europea, estarían basados en ciencia obsoleta y estos autores recomiendan e invitan a revisar los umbrales de ingesta actuales.

En nuestro país, a partir de lo dispuesto en los Tratados Internacionales de Derechos Humanos con jerarquía constitucional, se reconoce *el derecho a la preservación de la salud – como parte integrante del derecho a la vida – que asiste a todos los habitantes de la Nación con*

*carácter de derecho fundamental.* En este contexto, el **Principio Precautorio**, adoptando los precedentes de documentos internacionales, es enunciado en el art. 4 de la ley 25.675 de Política Ambiental Nacional, también denominada Ley General del Ambiente, de la siguiente manera: *“cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente”.* Es inobjetable la vigencia del principio precautorio cuando se trata de adoptar medidas adecuadas en resguardo de la salud humana por la utilización de agroquímicos.

Profesionales del Instituto de Salud Socioambiental de la Facultad de Cs Médicas de la Universidad Nacional de Rosario, estudiando localidades de menos de 10.000 habitantes hallaron que los principales problemas de salud que se encuentran son la hipertensión (arterial) y la diabetes; sin embargo, luego de estos dos problemas de salud se incorporan los problemas de la glándula tiroides y los problemas respiratorios, que no son los terceros y los cuartos problemas de salud más frecuentes en nuestro país, según el Ministerio de Salud de la Nación. Nuestros niños, en esas localidades, están entre un 20 y un 30% en los grupos de sobrepeso u obesidad. Esto significa que esos niños están teniendo una alteración de su sistema metabólico. En algunos de esos pueblos, la tasa de cáncer es 713,7 cada 100.000 mientras para Argentina la tasa es 206 cada 100.000. Ávila Vazquez et al., (2017) reportó un entorno urbano severamente

contaminado por glifosato y otros plaguicidas e identificó altas frecuencias de cáncer, sugiriendo un vínculo entre la exposición ambiental al glifosato y el cáncer, aunque el diseño de trabajo fue exploratorio y de observación, incapaz de hacer afirmaciones causales directas. Sin embargo, los autores señalan que es necesario reconocer las asociaciones basadas en el análisis de las diferencias entre las variables de exposición y la alta prevalencia, incidencia y mortalidad del cáncer que deben verificarse con estudios específicamente diseñados para este fin.

En este contexto, es necesario reafirmar la recomendación de reducir la carga de plaguicidas aplicadas en el ambiente, que hemos realizado antes (Aparicio et al., 2015). Las alternativas de producción agropecuaria donde haya una mayor participación de los procesos biológicos y de los conceptos agronómicos que de las tecnologías de insumos, están siendo analizadas y adoptadas. Es necesario que el sector agropecuario comience a ejecutar un cambio de paradigma productivo, revalorizando el manejo integrado de plagas, los sistemas de producción agroecológicos e incluso, la adopción de tecnologías que reduzcan significativamente la utilización de plaguicidas. Muchas de estas propuestas, como pudieron observar en las páginas de este libro, han sido probadas por instituciones del estado y en colaboración con asociaciones de productores. Existen resultados que no sólo indican que es posible producir materias primas con una menor carga de plaguicidas, sino que ésto, además, beneficia económicamente al productor. En este sentido, se

ha demostrado, recientemente, que el bajo uso de plaguicidas raramente disminuye la productividad y la rentabilidad. Esto fue demostrado en un trabajo realizado en Francia, en el que se tomaron datos provenientes de 946 establecimientos comerciales no orgánicas cultivables con niveles contrastantes de uso de plaguicidas y que cubren una amplia gama de situaciones de producción (Lechenet et al., 2017). No se detectó ningún conflicto entre el bajo uso de plaguicidas y la alta productividad y alta rentabilidad en el 77% de las granjas y se **estimó que el uso total de plaguicidas podría reducirse en un 42% sin ningún efecto negativo sobre la productividad y la rentabilidad en el 59% de las granjas de la red nacional**. Esto correspondió a una reducción promedio de 37, 47 y 60% del uso de herbicidas, fungicidas e insecticidas, respectivamente. El potencial para reducir el uso de plaguicidas pareció mayor en los establecimientos con un alto uso de plaguicidas en la actualidad que en aquellos con bajo uso de plaguicidas. Estos resultados demuestran que la reducción de plaguicidas ya es accesible para los agricultores en la mayoría de las situaciones de producción de Francia. Esto implicaría cambios profundos en la organización del mercado y la balanza comercial (Lechenet et al., 2017).

El sistema productivo argentino cuenta con una **combinación favorable de suelos y climas**. Además, contamos con **capital humano con conocimiento** (en el que está incluido desde el *productor* con su experiencia, el *asesor privado* con su formación biológica y el *asesor*

*público* que genera información y evalúa alternativas) y las **instituciones públicas y privadas**, comprometidas en resguardar la salud pública, la salud ambiental, la descontaminación de áreas afectadas y la producción de materias primas, en un contexto de equidad social.

En el mundo, y en Argentina, se ha generado mucha información científica vinculada a los plaguicidas en el ambiente y la salud; vivimos tiempos en los que esa información debe ser nuestro insumo para tomar decisiones responsables.

## Bibliografía

- Aparicio V, De Gerónimo D, Hernández Guijarro K, Pérez D, Portocarrero R, Vidal C. 2015. Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. Ediciones INTA, ISBN 978-987-521-665-5. 73 p.
- Ávila-Vazquez, M; Maturano, E; Etchegoyen, A; Difilippo, F & Maclean, B. 2017. Association between Cancer and Environmental Exposure to Glyphosate. International Journal of Clinical Medicine. 8, 73-85
- Lechenet M, Dessaint F, Py G, Makowski D & Munier-Jolain N. 2017. Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. NATURE PLANTS 3, 17008 (2017) | DOI: 10.1038/nplants.2017.8 | [www.nature.com/natureplants](http://www.nature.com/natureplants)
- Myers, J. P., Antoniou, M. N., Blumberg, B., Carroll, L., Colborn, T., Everett, L. G, & Vandenberg, L. N. (2016). Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. Environmental Health, 15(1), 19.
- Pittelkow, C.M., Linquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., Van Groenigen, K.J., Lee, J., VanKessel, C., 2015. When does no-till yield more?: A global meta-analysis. FieldCrops Res. 183, 156–168.

## **Agradecimientos**

Por su colaboración para el desarrollo del taller “Plaguicidas en el Ambiente” a: - Keren Hernandez Guijarro, Claudia Vidal, Rocío Portocarrero, por moderar los paneles de debate; - Gloria Kaspar, Jorge Barreto, Mariela Villaruel y Santiago Santini, por colaborar aspectos comunicacionales; - Laura Erquiaga, Natalia Gulle, Luis Alonso, Agustín Mosca, Aldo Dosanto y Beatriz Cabral, por la logística; - Julieta Thounnon Islas, Eduardo De Gerónimo, Martín Mansilla y Leonardo Salleses, por su interpretación musical, - al FONCyT (RC 0108) y el INTA (PE 1134044) por financiar el taller; - a los disertantes y a los 140 participantes por su asistencia y compromiso en el debate.

Por su colaboración en el armado de éste libro, a Laura Lima (Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional), Verónica Duran (Área de Comunicación Visual – GeCom) y María del Carmen Sanchez (Registro de Publicaciones Centro Documental) realizadas con amabilidad y vacación de servicio.



Taller "*Plaguicidas en el Ambiente*" (foto grupal de participantes)  
Area de Investigaciones en Agronomía, EEA INTA BALCARCE  
Noviembre, 29 y 30

En esta publicación se recopilan las conferencias magistrales y principales reflexiones que tuvieron lugar en el marco del Taller "Plaguicidas en el Ambiente", efectuado los días 29 y 30 de noviembre de 2016, en la EEA INTA Balcarce.

Al igual que en el taller, esta publicación tiene por finalidad abordar de manera integral el impacto de los agroquímicos en el ambiente. Las contribuciones tratan los temas de gestión ambiental, ecotoxicología, biorremediación, leyes ambientales, salud y regulaciones del uso de los plaguicidas.

Este documento surge como una iniciativa del equipo de gestión del Proyecto Nacional "Destino ambiental y degradación de los plaguicidas agregados al suelo" de INTA.



Ministerio de Agroindustria  
Presidencia de la Nación