

## EL USO DE INSECTICIDAS EN CULTIVOS AGRÍCOLAS Y SU RIESGO POTENCIAL PARA LAS AVES EN LA REGIÓN PAMPEANA

JAIME BERNARDOS<sup>1</sup> Y M. ELENA ZACCAGNINI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> EEA Ing. Agr. Guillermo Covas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).  
Ruta Nacional 5 km 580, 6326 Anguil, La Pampa, Argentina. [jbernardos@anguil.inta.gov.ar](mailto:jbernardos@anguil.inta.gov.ar)

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Biológicos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).  
Los Reseros y Las Cabañas s/n, 1712 Castelar, Buenos Aires, Argentina.

**RESUMEN.**— El uso de insecticidas para el control de plagas en cultivos agrícolas de la Región Pampeana produjo 36 eventos documentados de mortandad de aves silvestres entre 1996 y 2000. Sin embargo, hay evidencias suficientes para pensar que este registro es muy incompleto y probablemente subestima la real magnitud del impacto. En la última década se evidenció un aumento en las dosis y las superficies tratadas por insecticidas. Los insecticidas más usados entre 1998 y 2002 fueron los piretroides, que superaron el 60% de la superficie tratada, mientras que en 2007 dicha superficie se redujo al 44.9%, con un aumento importante del uso de los organofosforados y los ester cíclicos. Este cambio en los principios activos empleados se reflejó en un aumento de más del 20% de la superficie con riesgo de mortandad aguda de aves entre 1998 y 2007. Esta tendencia podría revertirse por medio del desarrollo de programas de capacitación de aplicadores de agroquímicos en los cuales se considere el desempeño ambiental de cada principio activo y se genere una fuerte concientización sobre el compromiso de mantener un ambiente productivo sano.

**PALABRAS CLAVE:** *evaluación ecotoxicológica, insecticidas, mortandad, Región Pampeana, riesgo.*

**ABSTRACT.** INSECTICIDES IN AGRICULTURAL CROPS AND THEIR POTENTIAL RISKS FOR THE BIRDS OF THE PAMPAS REGION.— The use of insecticides for pest control in agricultural crops of the Pampa Region caused more than 36 documented events of wildbirds mortality between 1996 and 2000. However, there is enough evidence suggesting that these are very incomplete records which probably underestimate the real magnitude of insecticides impact on bird populations. There was an increase in insecticide doses and treated area during the last decade. Pyrethroids were the most used insecticides between 1998 and 2002, exceeding 60% of the treated area, while they were reduced to 44.9% of the treated area in 2007, with a significant increase in organophosphates and cyclic esters. This change in the active ingredients used resulted in a 20% increase in the area under bird mortality risk between 1998 and 2007. This trend might be reversed by the development of training programs for people doing agrochemical applications that consider the environmental performance of each active ingredient used, and by building a strong commitment to maintaining a healthy productive environment.

**KEY WORDS:** *ecotoxicological assessment, insecticides, mortality, Pampa Region, risk.*

*Recibido 9 junio 2010, aceptado 18 agosto 2011*

En los últimos 40 años los ecosistemas terrestres naturales se han transformado en tierras agrícolas en forma dramática (Viglizzo 2001). La agricultura intensiva se sustenta en la aplicación de tecnologías de insumos, entre los que se incluye a fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas, semillas mejoradas, maquinaria agrícola y vacunas (Viglizzo 2001), las cuales, en su conjunto, han conducido a una disminución de la biodiversidad en muchas

áreas del mundo (Tremblay et al. 2001). Las consecuencias ecológicas más directas sobre la biodiversidad, como resultado de los procesos de intensificación productiva y conversión de ambientes, son la pérdida de hábitat, de especies y de sus interacciones. Estas prácticas impactan sobre la resiliencia del ecosistema, degradan sus recursos biofísicos y generan extinciones locales o definitivas en muchas especies de la flora y la fauna nativas. No obs-

tante, estos efectos no son siempre comprendidos y valorados en los esquemas de producción asociados (Bohlen et al. 2009).

En Argentina, grandes superficies de tierras naturales, principalmente en las ecorregiones Pampeana y Gran Chaco, fueron sometidas a un continuo proceso de conversión que generó cambios estructurales y funcionales en sus ecosistemas (Bernardos et al. 2001, Oesterheld 2005) por medio de la remoción de hábitats naturales y el aumento del tamaño de los campos (Boutin et al. 1999, Uhart y Zaccagnini 1999). En particular, se produjo el reemplazo de pastizales naturales y bosques nativos por praderas artificiales y su posterior sustitución por cultivos anuales, junto con la incorporación de nuevas tecnologías que incrementaron la producción de alimentos y la economía local (Solbrig y Viglizzo 1999, de la Fuente y Suárez 2008). Estas nuevas tecnologías incluyen la siembra directa, conjuntamente con el incremento en el uso de fertilizantes, herbicidas e insecticidas (de la Fuente y Suárez 2008), los cuales generan importantes problemas ambientales e impactan sobre el mantenimiento de la biodiversidad (Chapin et al. 2000). El uso de agroquímicos para controlar plagas es una de las prácticas que contamina e impacta directamente el ambiente agropecuario. Los distintos principios activos utilizados no solo controlan las especies no deseadas para la agricultura, sino que también afectan a especies no blanco y sus hábitats, reduciendo la aptitud de los sistemas para conservar la biodiversidad y su funcionalidad ecológica (Hooper et al. 2002, Zaccagnini 2006, Lovell y Johnston 2009).

Los distintos grupos biológicos son afectados en mayor o menor medida por el proceso de agriculturización e intensificación, y las aves son difícilmente excluibles de situaciones de riesgo asociadas a la aplicación de plaguicidas. Esto se debe a la importante amplitud trófica del grupo, su movilidad y detectabilidad, que son características que elevan la probabilidad para ser detectados en caso de que existan condiciones de riesgo ecotoxicológico. Dadas estas cualidades, se considera a las aves como excelentes indicadores de salud ambiental (Mineau 2002) y son utilizadas como centinelas de la calidad ambiental general (Zaccagnini 2006). Hasta el presente, los efectos del uso de insecticidas sobre las especies no blanco, en particular las aves, no

han sido profundamente documentados en Argentina, a excepción de los incidentes que involucraron al Aguilucho Langostero (*Buteo swainsoni*) y otras especies silvestres y que promovieron la prohibición del uso y comercialización del insecticida monocrotofós (Zaccagnini 2006). El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de los eventos de mortandad de aves a causa de la acción de insecticidas, así como evaluar el riesgo de mortandad de aves asociado al uso de insecticidas en agroecosistemas de la Región Pampeana.

## DOCUMENTACIÓN DE MORTANDADES DE AVES RELACIONADAS AL USO DE AGROQUÍMICOS

### *Aproximaciones metodológicas*

La investigación de incidentes de mortandad de vida silvestre puede ser abordada con diferentes estrategias. Una de ellas es la búsqueda activa de individuos, realizada por patrullas que recorren los campos en los días posteriores a la aplicación de agroquímicos en busca de animales muertos. Otra estrategia es la denominada búsqueda reactiva, en la cual las patrullas realizan la búsqueda guiadas por denuncias formales o informales de mortandad. Esta última estrategia es la más utilizada, dado que presenta un costo operativo menor comparado con la activa. En ambos casos es esencial el seguimiento de protocolos estandarizados de relevamiento que cubran cuidadosamente los aspectos legales y técnicos para que la documentación tenga valor para una evaluación ambiental (Uhart y Zaccagnini 1999). Un acercamiento indirecto al estudio de incidentes de mortandad de vida silvestre es la realización de encuestas a productores agropecuarios, indagando sobre los eventos de mortandad ocurridos y sobre la utilización de insecticidas como posible factor causal.

Las aproximaciones metodológicas descriptas requieren el hallazgo de las carcasas o cadáveres, razón por la cual es clave la permanencia de éstas en el campo para la correcta evaluación de la magnitud del incidente. El hallazgo de cadáveres se dificulta por la rápida tasa de desaparición de las carcasas en el campo, que está fuertemente influenciada por las características del ambiente, la época del año y la presencia de organismos carroñeros. Rivera Milán et al. (2004) encontraron en la

provincia de Entre Ríos que la tasa de supervivencia de cadáveres de pollos durante el verano fue de 0.69 para el primer día de exposición y de 0.04 para el quinto día. Por lo tanto, si el estudio se realizara a los cinco días de la intoxicación, se encontrarían alrededor del 4% de las aves muertas. En una evaluación de la magnitud del evento, si no se corrige la abundancia estimada en el campo se subestimaría el impacto real del efecto letal de un plaguicida.

#### *Mortandades documentadas de aves silvestres*

El estudio de incidentes de mortandad de vida silvestre por insecticidas a campo debería incluir el hallazgo y la denuncia precoz del hecho, debería estar involucrada una especie gregaria, conspicua o emblemática y se debería visitar el área de ocurrencia durante un período de tiempo breve al inicio del envenenamiento, a fin de reducir el efecto de la desaparición de carcasas. La mayor parte de los casos de mortandad de aves ocurre silenciosamente y sin que nadie pueda documentarlo, con lo cual no es difícil imaginar que los eventos documentados son solo una mínima expresión del problema (Mineau 2003). Las denuncias son promovidas por personas sorprendidas ante un hecho de magnitud, que es identificado y dimensionado plenamente si alguna de las especies involucradas es abundante y de hábitos gregarios. Entre 1996 y 2000 se han documentado en agroecosistemas de la Región Pampeana 36 casos como los descritos y todos ellos incluyeron, al menos, una especie gregaria o muy abundante como *Buteo swainsoni* o *Zenaida auriculata* (Tabla 1), aspecto que facilita el hallazgo y que facilita *a posteriori* la detección de otras especies menos conspicuas y abundantes (Hooper et al. 2002).

El uso de insecticidas organofosforados y de carbamatos explica la existencia de los casos documentados. Estas familias de insecticidas son ampliamente usadas contra las plagas de insectos en cultivos agrícolas. Pueden ser letales para las aves por intoxicación directa o indirecta. Los casos más extremos documentados ocurrieron en 1991 por el uso de paration en arroceras de Santa Fe (Mathern y Zaccagnini, datos no publicados) y por la aplicación de monocrotofos para el control de tucuras en pasturas y pastizales en la Región Pampeana. En los 36 incidentes de mortandad de aves documentados que involucraron el uso de

Tabla 1. Lista de especies afectadas en eventos de mortandad a causa de insecticidas en la Región Pampeana entre 1996 y 2000. La frecuencia se refiere al número de eventos en que la especie fue afectada.

Especie	Frecuencia
<i>Buteo swainsoni</i>	29
<i>Zenaida auriculata</i>	5
<i>Columba picazuro</i>	3
<i>Nothura maculosa</i>	3
<i>Athene cunicularia</i>	2
<i>Columbina picui</i>	2
<i>Myiopsitta monachus</i>	2
<i>Polyborus plancus</i>	2
<i>Sicalis flaveola</i>	2
<i>Agelaioides badius</i>	1
<i>Colaptes campestris</i>	1
<i>Colaptes melanochloros</i>	1
<i>Columba maculosa</i>	1
<i>Guira guira</i>	1
<i>Milvago chimango</i>	1
<i>Molothrus bonariensis</i>	1
<i>Paroaria coronata</i>	1
<i>Passer domesticus</i>	1
<i>Podager nacunda</i>	1
<i>Sturnella superciliaris</i>	1
<i>Tyto alba</i>	1
<i>Vanellus chilensis</i>	1
<i>Zonotrichia capensis</i>	1

insecticidas (e.g., Goldstein et al. 1996, 1999a, 1999b) se identificaron 6 plaguicidas: monocrotofos, clorpirifos, metamidofos, dimetoato, endosulfan y carbofurán (Zaccagnini 2006). Desde 2003 no se cuenta con información de eventos de mortandad de aves, aunque por medios informales se han obtenido referencias sobre la ocurrencia de eventos similares en varias provincias pampeanas.

#### *Percepción de las mortandades en los productores agropecuarios*

En la Encuesta Nacional Agropecuaria del año 2001 realizada en la Región Pampeana se incorporaron preguntas específicas respecto a la observación de mortandades de vida silvestre, que se repitieron en la encuesta RIAN-INTA de 2007 con el objetivo de desarrollar una aproximación indirecta a los eventos de mortandad. El área cubierta en 2001 incluyó a las provincias de Córdoba, La Pampa, Entre Ríos y Santa Fe, mientras que

en 2007 se anexó la provincia de Buenos Aires (Fig. 1). En ambos casos, la selección de productores fue probabilística, representando proporcionalmente las áreas agro-estadísticas y los estratos por el tamaño del establecimiento.

En 2001 el 17% de los productores encuestados observaron mortandades de fauna silvestre (no se especificaba por grupo biológico), en tanto que en 2007 registraron mortandades el 12% (Tabla 2). Esta disminución en los eventos de mortandad observados es consistente con lo observado a campo, donde se documentó un menor número de mortandades masivas. Sin embargo, esto no significa necesariamente que no hayan ocurrido, sino que al no existir un sistema de relevamiento más o menos formal se tiene escasa capacidad de conocer el estado de situación. Además, las mortandades podrían haber estado enmascaradas por otros factores productivos o ecológicos. Por ejemplo, Mineau (2002) sostiene que los eventos de mortandad por uso de agroquímicos tienen una relación directa con la presencia de organismos capaces de sufrir el daño y con las aplicaciones realizadas. En este sentido, Filloy y Bellocq (2007) sostienen que la mayoría de las especies en la Región Pampeana fueron afectadas negativamente por la producción agrícola, hecho que indicaría una menor presencia y abundancia de organismos susceptibles de sufrir el evento. Coincidentemente, Zaccagnini et al. (2011) describieron una asociación negativa entre la riqueza de especies de los grupos funcionales de aves granívoras, insectívoras y rapaces con la proporción de área con cultivos anuales. Resultados de investigaciones exploratorias a partir de datos del Monitoreo Regional de Aves en la Región Pampeana (INTA 2011) sostendrían la predicción de una disminución en la abundancia de aves de la región (Zaccagnini et al. 2010). No obstante, cuando se analizó con la misma base de datos la densidad de 20 especies focales sobre las que se estimó la abundancia a partir de un muestreo de distancia (Thomas et. al 2010), se observó que las especies individuales no presentaban una tendencia uniforme (algunas estarían disminuyendo, otras aumentando y otras no tienen un patrón claro). Probablemente esto se debe a que la serie de tiempo utilizada (ocho años) resultaría insuficiente para detectar cambios significativos en las poblaciones estudiadas a escala regional. Estudios realizados en Australia,

Tabla 2. Porcentaje de las unidades estadísticas de la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2001 y la encuesta RIAN-INTA de 2007 con observaciones de mortandades de vida silvestre.

Observaciones de mortandades	Encuesta	
	2001	2007
Se observó	17	12
No se observó	73	88
Más que en años anteriores	5	5
Menos que en años anteriores	2	4
Igual que en años anteriores	4	3
Sin especificar	7	0.1

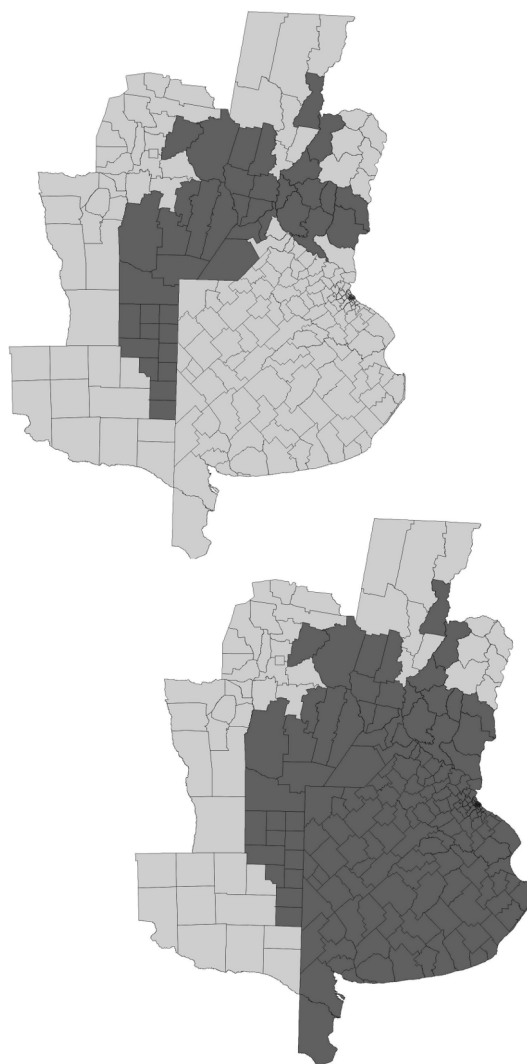


Figura 1. Área de la Región Pampeana argentina cubierta por la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2001 (arriba) y por la encuesta RIAN-INTA de 2007 (abajo).

Gales e Inglaterra en sitios con procesos de agriculturización e intensificación similares a los ocurridos en Argentina presentan patrones semejantes de reducción de la diversidad y abundancia de aves (Attwood et al. 2009, Chamberlain y Fuller 2000).

## APLICACIÓN DE INSECTICIDAS Y SU IMPACTO SOBRE LAS AVES

### *Perfil de uso de insecticidas*

Conocer cuáles son los insecticidas aplicados para control de plagas agrícolas es relevante para tener una medida indirecta del efecto potencial sobre las especies no blanco. En particular, los principios activos de los grupos de los ester cíclicos, organofosforados y carbamatos son sumamente tóxicos para las aves y presentan un alto riesgo asociado de mortandad aguda (Mineau et al. 1999, 2001). Los dos últimos grupos son conocidos como inhibidores de la acetil-colinesterasa, deprimiendo la concentración de esta enzima en sangre y afectando al sistema nervioso.

El análisis de la superficie tratada por distintos tipos de insecticidas en la Región Pampeana muestra que el patrón de utilización fue similar en 1998 y 2002 para todos los cultivos presentes, con predominancia de los piretroides, que superaron el 60% de la superficie tratada (Zaccagnini 2006; Fig. 2). En 2007 se observó una reducción en el uso de los piretroides (Fig. 2), coincidente con lo hallado por Ortiz (2007) para el oeste de la provincia de

Buenos Aires y por Violini (2009) para el norte de la provincia de La Pampa. La reducción en la aplicación de estos principios activos fue compensada con un aumento de los organofosforados y los ester cíclicos, compuestos que aumentarían el riesgo de mortandad de aves.

Una de las causas que explicarían el cambio en el perfil de principios activos utilizados es el aumento de la superficie ocupada por el cultivo de soja. En 2002, el 34% de la superficie de las unidades estadísticas de la Encuesta Anual de Producción Agropecuaria estaba sembrada con soja, mientras que en 2007 el porcentaje se elevó al 74%. Además, si se considera la incorporación de nuevas tierras a la agricultura, los impactos esperados para las aves serían aún mayores por la pérdida de hábitat y el uso de agroquímicos. En el relevamiento de 2007 los piretroides representaron el 45% de la superficie fumigada tanto para el cultivo de soja como para los otros cultivos, siendo los ester cíclicos los segundos en importancia en soja y los organofosforados en otros cultivos. Independientemente de este cambio en la preponderancia de uso, entre ambos grupos de principios activos (ester cíclicos y organofosforados) se superó el 50% de la superficie fumigada para todos los cultivos (Fig. 3).

### *Modelo de evaluación del riesgo de mortandad de aves*

La existencia de gran cantidad de incidentes de mortandad de aves por agroquímicos a

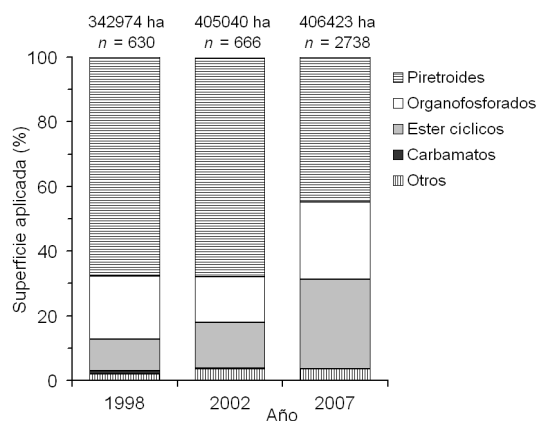


Figura 2. Porcentaje de la superficie tratada por distintos tipos de insecticida en la Región Pampeana argentina en 1998, 2002 y 2007.

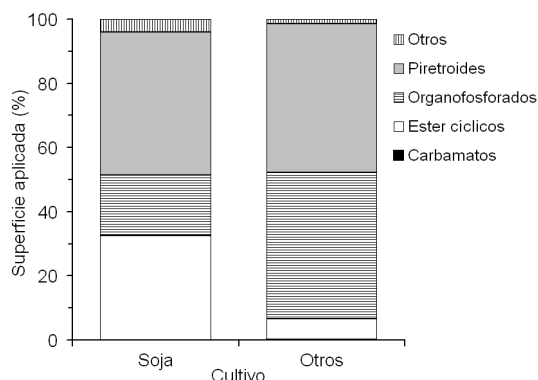


Figura 3. Porcentaje de la superficie tratada por distintos tipos de insecticida en cultivos de soja y en otros cultivos en la Región Pampeana argentina en 2007.

nivel mundial y la amplia literatura sobre toxicología en aves han permitido generar modelos de riesgo que ayudan a construir una ecotoxicología predictiva con buenas bases empíricas (Mineau 2002). Sobre esas bases es posible disponer de estimadores de riesgo de toxicidad aguda para la biodiversidad y construir herramientas para medirlos, lo que brinda una excelente oportunidad para monitorear *a priori* las decisiones de los productores, y, *a posteriori*, la calidad y sustentabilidad de la agricultura regional (Zaccagnini et al. 2004, Saluso et al. 2005, Bernardos et al. 2007).

Mineau (2002) desarrolló un modelo de probabilidad de mortandad de aves para plaguicidas modernos (no bioacumulativos) a partir de información proveniente de 181 estudios de campo en los cuales se registraron mortandades. El modelo se basó en las aplicaciones de agroquímicos inhibidores de la acetil-colinesterasa (por su baja persistencia en el ambiente) y, además, en los gremios de aves presentes. El modelo de riesgo se desarrolló por medio de una regresión logística para predecir la probabilidad de una mortandad de aves ( $P$ ) a partir de tres parámetros independientes: una variable que refleja la toxicidad aguda oral y la tasa de aplicación del plaguicida (dosis peligrosa 5%;  $HD5$ ), una variable que refleja la relación de toxicidad oral/dérmica (índice de toxicidad dérmica;  $DTI$ ) y la constante de la Ley de Henry. Los valores de  $HD5$  se calculan estimando la mediana de la dosis letal 50 en la cola izquierda de la distribución de sensibilidad de las especies de aves para cada plaguicida. El  $DTI$  es la relación entre la toxicidad oral y la toxicidad dérmica de un plaguicida para la especie. Hudson et al. (1979) mostraron la gran variación de los valores de  $DTI$  entre plaguicidas, sugiriendo una importante variabilidad de la toxicidad por exposición dérmica entre los mismos. Finalmente, la constante de la Ley de Henry es una medida de la volatilidad del plaguicida una vez que es aplicado sobre la superficie de una planta en una solución acuosa en forma de spray.

El resultado final del modelo es la probabilidad de mortandad de aves (que se considera como probabilidad de toxicidad aguda para un ave a causa de la exposición a plaguicidas) y se expresa en valores que varían entre 0 y 1, siendo 0 un riesgo nulo de mortandad y 1 la probabilidad cierta de que mueran todas las

aves. El modelo es válido para aplicaciones del plaguicida en forma de spray y supone la presencia de aves en o cerca del sitio de aplicación.

#### *Calculadora de Riesgo Ecotoxicológico para Aves*

Tomando todos los principios activos para los que existía información, y basado en el modelo de Mineau (2002), se desarrolló la Calculadora de Riesgo Ecotoxicológico para Aves, en sus versiones 1.0 (Zaccagnini et al. 2004), 2.0 (Bernardos et al. 2007) y una internacional en inglés. Este modelo ha sido descrito anteriormente como una herramienta de toma de decisión para colaborar con los productores, asesores y aplicadores, permitiéndoles predecir la probabilidad de que las aves que frecuentan el campo mueran por intoxicación oral o dérmica cuando se aplica un insecticida solo o en mezclas, en determinada dosis y concentración sobre una variedad de cultivos y pasturas. Además, a partir de la posibilidad de incorporar el costo de cada aplicación, es factible tomar decisiones que consideren tanto la información ecotoxicológica como la económica.

#### *Riesgo de mortandad aguda de aves asociado al uso de insecticidas*

En las encuestas oficiales realizadas a productores agropecuarios se incorporaron preguntas sobre el uso de agroquímicos para el control de plagas. En dichas encuestas se indagó sobre la plaga a controlar, el principio activo y la dosis empleada. En un estudio del riesgo potencial de mortandad aguda de aves utilizando los datos de las encuestas nacionales de 1998 y 2002, Zaccagnini (2006) estimó, en base al modelo de Mineau (2002), que el 71% de la superficie fumigada presentaba riesgo medio o nulo (Fig. 4). Luego de aplicar el mismo modelo a los datos de la encuesta RIAN-INTA de 2007, la superficie con riesgo medio o nulo disminuyó al 50.5% (Fig. 4). El aumento en el riesgo alto de mortandad aguda de aves registrado en 2007 se asocia a la merma en el uso de piretroides y su reemplazo por principios activos de mayor toxicidad, como los organofosforados y los ester cíclicos (Fig. 2).

El riesgo promedio ponderado de mortandad aguda de aves ( $R_{pp}$ ) es una estimación del

riesgo promedio por año o por cultivo. Para obtenerlo es necesario calcular el promedio de los riesgos de cada aplicación ponderado por la superficie aplicada, tal como se expresa a continuación:

$$R_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i * s_i}{\sum_{i=1}^n s_i}$$

donde  $r_i$  es el riesgo agudo de mortandad de aves para una aplicación  $i$  y  $s_i$  es la superficie donde se ha realizado la aplicación  $i$ .

Los valores obtenidos de  $R_{pp}$  (y sus intervalos de confianza del 5%) fueron de 0.097 (0.081–0.112), 0.070 (0.061–0.078) y 0.125 (0.120–0.131) para 1998, 2002 y 2007, respectivamente, con una tendencia ascendente y diferencias significativas entre años. Esto puede deberse a la acción conjunta de los insecticidas asociados al cultivo y la superficie sembrada del mismo. Los valores de  $R_{pp}$  asociados los tres cultivos más importantes mostraron una tendencia actual de aumento en el riesgo, aunque con una visible disminución en 2002 (Fig. 5) que podría ser debida a

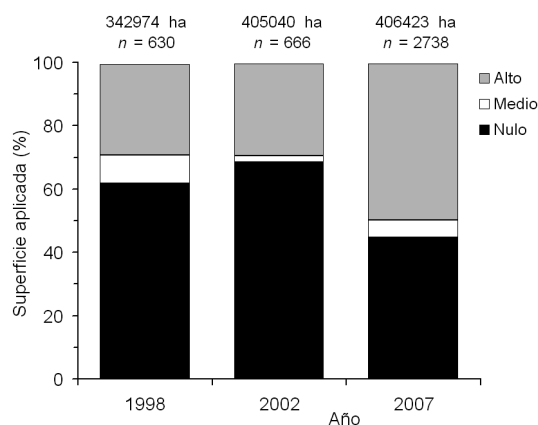


Figura 4. Porcentaje de la superficie tratada con insecticidas asociada a los principales cultivos de verano en la Región Pampeana argentina con riesgo potencial de mortandad aguda de aves alto, medio y nulo en 1998, 2002 y 2007. Se considera que una aplicación de agroquímicos en un lote presenta riesgo de mortandad aguda de aves alto si los valores superan el umbral de 0.1, riesgo medio si los valores están entre 0.1–0.05 y riesgo nulo si los valores son menores de 0.05.

la crisis económica sufrida en Argentina, que redujo al mínimo el uso de insumos agropecuarios (CASAFE 2011). El análisis particular del cultivo de soja muestra que el riesgo asociado es al menos el doble que el asociado a girasol y maíz para los tres períodos de tiempo considerados (Fig. 5). En el período estudiado la soja creció en superficie sembrada del 40% al 80% (Fig. 5). Este cultivo presenta el riesgo promedio más alto de todos los de verano y la mayor superficie cubierta, aspectos que potencian sus valores de riesgo agudo de mortandad de aves.

Como las estimaciones obtenidas surgen de encuestas oficiales de uso de agroquímicos realizadas a productores agropecuarios, puede haber errores asociados a las respuestas sobre el uso de los insecticidas y sobre las dosis utilizadas. Estos errores podrían ser par-

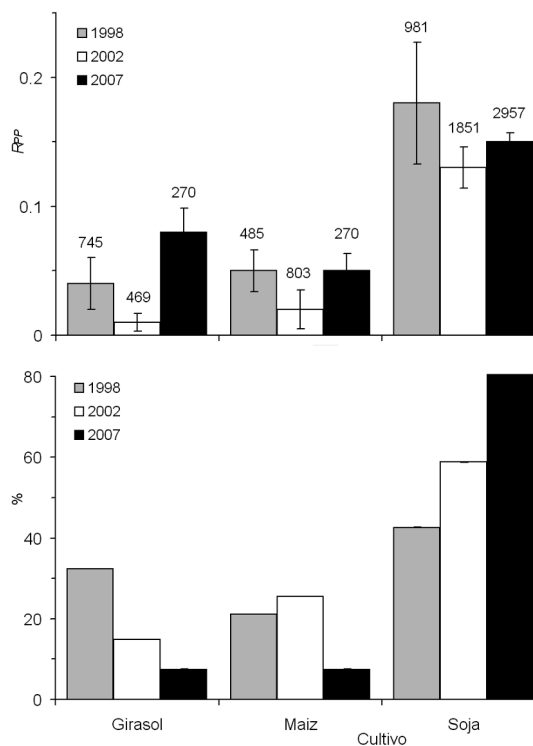


Figura 5. Valores de riesgo promedio ponderado de mortandad aguda de aves ( $R_{pp}$ ) y su intervalo de confianza del 5% asociado a los principales cultivos de verano en la Región Pampeana argentina (arriba; superficie sobre las barras en km<sup>2</sup>) y porcentaje de superficie cubierta por estos cultivos (abajo) en 1998, 2002 y 2007.

ticularmente importantes en los últimos años, ya que las aplicaciones son dejadas en manos de contratistas y los productores no cuentan necesariamente con información precisa sobre lo que se aplicó en sus cultivos. Para subsanar esta posible fuente de error, se implementó un relevamiento alternativo a las encuestas para validar los resultados, que consistió en entrevistar a los aplicadores de agroquímicos y obtener los datos de las aplicaciones realizadas en los libros de registro. Se aplicó este enfoque en estudios particulares para el oeste de la provincia de Buenos Aires (Ortiz 2007), el norte de La Pampa (Violini 2009), el norte de Córdoba (Caballero et al., datos no publicados) y para datos propios de Entre Ríos para 2005–2007 (A Orduna, datos no publicados). El valor de  $R_{pp}$  obtenido para la encuesta de 2007 fue de 0.125 (0.120–0.131) para toda el área de estudio, mientras que fue de 0.163 (0.147–0.178) para el norte de La Pampa, 0.183 (0.161–0.205) para Entre Ríos y 0.133 (0.121–0.145) para el norte de Córdoba. Las estimaciones de riesgo obtenidas de las encuestas a los aplicadores fueron levemente superiores a las halladas para la encuesta a productores de 2007, a excepción de la realizada en el norte de Córdoba, que no presentó diferencias estadísticamente significativas. Esto podría deberse, por un lado, a que el área de cobertura de la encuesta a productores es muy superior y podría disminuir la varianza y, por otro, a que es posible que se incurra en un error por olvido de lo aplicado y sus dosis por parte de los productores, a diferencia de los registros de los aplicadores.

La elección del insecticida a utilizar en el control de una plaga depende del insecto a controlar, del cultivo y del costo del producto químico. Es posible que haya varias opciones igualmente eficaces para el control de los insectos que tengan diferentes riesgos de mortandad aguda para las aves. Ortiz (2007) indagó las elecciones de principios activos realizadas por aplicadores para el control de una misma plaga y cultivo. En dicho estudio encontró una relación de 4:1 entre los riesgos de mortandad aguda de aves asociados a la elección realizada por los aplicadores. En este mismo sentido, R Colazo (com. pers.) afirma que la decisión de cuál principio activo utilizar es tomada por el aplicador basado principalmente en la confianza de control que le ofrece el producto.

## CONSIDERACIONES FINALES

El riesgo de mortandad aguda de aves a causa del uso de insecticidas en la Región Pampeana es importante, abarcando aproximadamente el 50% de la superficie sembrada. Además, la superficie con riesgo ha aumentado en la última década, tal como se muestra en la figura 4. De mantenerse la tendencia creciente en la intensificación agrícola, asociada al mayor uso de insecticidas, es de esperar que el riesgo siga en aumento, a menos que cambie sustancialmente el uso de los principios activos. Con la expansión de la agricultura a regiones extrapampeanas basada en el uso de los mismos paquetes tecnológicos de control de insectos plagas, es de esperar la aparición de nuevos eventos de mortandad de aves, los cuales podrán ser correctamente documentados si se implementa un sistema de búsqueda de evidencias siguiendo los protocolos estandarizados (Uhart y Zaccagnini 1999) o bien si se sensibiliza a los productores y aplicadores, instándolos a que informen a las autoridades competentes en control de uso de agroquímicos, contribuyendo a disminuir los riesgos por medio del reemplazo de principios activos.

Siempre existen posibilidades de mejorar el desempeño ambiental de la agricultura. En particular, es factible disminuir el riesgo asociado al uso de insecticidas por medio del monitoreo de plagas permanente en el cultivo (mejorando el momento y dosis de aplicación) y también a partir de la implementación de la agricultura de precisión, que involucra el uso de pulverizadoras de dosis variable. Además, se puede mejorar la selección del principio activo utilizado para el control de plagas por medio de la elección de productos con la misma eficiencia y un mejor desempeño ambiental. Por ejemplo, se podrían utilizar las capacidades de la Calculadora de Riesgo Ecotoxicológico (Zaccagnini et al. 2004, Bernardos et al. 2007) para seleccionar la opción con mejor desempeño tanto en relación al riesgo de mortandad de aves como a su costo y decidir sobre la base de la relación entre el costo de aplicación y el beneficio ambiental. A su vez, para el cultivo de soja se desarrolló una guía de opciones de control químico de plagas que aporta umbrales de daño sobre los cuales tomar la decisión de control e informa sobre las probabilidades de



riesgo ecotoxicológico para aves. De este modo, un aplicador puede tomar la decisión de control con el menor costo y riesgo, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad en los campos cultivados (Saluso et al. 2005). Para esto es necesario el desarrollo de programas de capacitación para aplicadores de agroquímicos con información sobre las opciones de control de plagas posibles, el desempeño ambiental de cada principio activo y una fuerte concientización sobre el compromiso de mantener un ambiente productivo sano y biodiverso, que son los estándares aceptados mundialmente como aquellos que contribuyen a la sustentabilidad de los agroecosistemas en su sentido más amplio.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por la financiación parcial de este estudio (USFWS proyectos 1997–2003, NMBCA proyecto 2003–2005), a la Universidad Nacional de La Pampa y, en particular, a la Est. Cristina González (INTA-EEA Oliveros) con quien se diseñó la encuesta y análisis de datos preliminares de 1998 y 2002, a Pierre Mineau (Environment Canada, National Wildlife Research Centre) por su acompañamiento teórico y metodológico, y a dos revisores anónimos cuyos comentarios sobre el manuscrito ayudaron a mejorarlo.

#### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ATTWOOD SJ, PARK SE, MARON M, COLLARD SJ, ROBINSON D, REARDON-SMITH K Y COCKFIELD G (2009) Declining birds in Australian agricultural landscapes may benefit from aspects of the European agri-environment model. *Biological Conservation* 142:1981–1991
- BERNARDOS J, VIGLIZZO E, JOUVE V, LÉRTORA F, PORDOMINGO A Y CID F (2001) The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine pampas. *Agricultural Systems* 69:215–234
- BERNARDOS JN, ZACCAGNINI ME, MINEAU P, DECARRE J Y DECARLI RA (2007) *Calculadora de Riesgo Ecotoxicológico para Aves 2.0*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires
- BOHLEN P, LYNCH S, SHABMAN L, CLARK M, SHUKLA S Y SWAIN H (2009) Paying for environmental services from agricultural lands: an example from the northern Everglades. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:46–55
- BOUTIN C, FREEMARK KE Y KIRK DA (1999) Farmland birds in southern Ontario: field use, activity patterns and vulnerability to pesticide use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 72:239–254
- CASAFE (2011) *Mercado argentino de productos fitosanitarios 2010*. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, Buenos Aires (URL: <http://www.casafe.org/estad/Mercado2010.htm>)
- CHAMBERLAIN DE Y FULLER RJ (2000) Local extinctions and changes in species richness of lowland farmland birds in England and Wales in relation to recent changes in agricultural land-use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 78:1–17
- CHAPIN FS III, ZAVALETA ES, EVINER VT, NAYLOR RL, VITOUSEK PM, REYNOLDS HL, HOOPER DU, LAVOREL S, SALA O, HOBBIE S, MACK M Y DIAZ S (2000) Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405:234–242
- FILLOY J Y BELLOCQ MI (2007) Patterns of bird abundance along the agricultural gradient of the Pampean region. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 120:291–298
- DE LA FUENTE EB Y SUÁREZ S (2008) Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecología Austral* 18:235–252
- GOLDSTEIN M, LACHER TE, WOODBRIDGE B, BECHARD M, CANAVELLI SB, ZACCAGNINI ME, COBB G, SCOLLON EJ, TRIBOLET R Y HOOPER M (1999a) Monocrotophos-induced mass mortality of Swainson's Hawks in Argentina, 1995–96. *Ecotoxicology* 8:201–214
- GOLDSTEIN MI, LACHER TE, ZACCAGNINI ME, PARKER ML Y HOOPER MJ (1999b) Monitoring and assessment of Swainson's Hawks in Argentina following restrictions on monocrotophos use, 1996–97. *Ecotoxicology* 8:215–224
- GOLDSTEIN M, WOODBRIDGE B, ZACCAGNINI ME, CANAVELLI SB Y LANUSSE A (1996) Assessment of mortality incidents of Swainson's Hawks on wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 30:106–107
- HOOPER M, MINEAU P, ZACCAGNINI ME Y WOODBRIDGE B (2002) Pesticides and international migratory bird conservation. Pp. 737–753 en: HOFFMAN DJ, RATTNER BA, BURTON GA JR Y CAIRNS J JR (eds) *Handbook of ecotoxicology*. Segunda edición. Lewis Publishers, Boca Raton
- HUDSON RH, HAEGELE MA Y TUCKER RK (1979) Acute oral and percutaneous toxicity of pesticides to mallards: correlations with mammalian toxicity data. *Toxicology and Applied Pharmacology* 47:451–460
- INTA (2011) *Monitoreo regional de aves*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires (URL: <http://www.inta.gov.ar/>)
- LOVELL ST Y JOHNSTON DM (2009) Creating multifunctional landscapes: how can the field of ecology inform the design of the landscape? *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:212–220
- MINEAU P (2002) Estimating the probability of bird mortality from pesticide sprays on the basis of the field study record. *Environmental Toxicology and Chemistry* 21:1497–1506
- MINEAU P (2003) Avian species. Pp. 129–156 en: PLIMMER JR, GAMMON DW Y RAGSDALE NN (eds) *Encyclopedia of agrochemicals. Volume 1*. John Wiley & Sons, Nueva York

- MINEAU P, BARIL A, COLLINS B, DUFFE J, JOERMAN G Y LUTTIK R (2001) Pesticide acute toxicity reference values for birds. *Reviews of Environmental Contamination & Toxicology* 170:13–74
- MINEAU P, FLETCHER MR, GLASER L, THOMAS N, BRASSARD C, WILSON L, ELLIOTT J, LYON L, HENNY C, BOLLINGER T Y PORTER S (1999) Poisoning of raptors with organophosphorus and carbamate pesticides with emphasis on Canada, U.S. and U.K. *Journal of Raptor Research* 33:1–37
- OESTERHELD M (2005) Los cambios de la agricultura argentina y sus consecuencias. *Ciencia Hoy* 15:6–12
- ORTIZ B (2007) *Estudio del riesgo de mortandad aguda en aves por el uso de plaguicidas en sistemas agrícolas de la provincia de Buenos Aires*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa
- RIVERA MILÁN FF, ZACCAGNINI ME Y CANAVELLI SB (2004) Field trials of line transect surveys of bird carcasses in agroecosystems of Argentina's Pampas region. *Wildlife Society Bulletin* 32:1219–1228
- SALUSO A, DE CARLI R, ZACCAGNINI ME, BERNARDOS J, DECARRE J Y CÁCERES C (2005) *Guía práctica para el control químico de artrópodos plaga en soja considerando el riesgo de toxicidad aguda para las aves*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires
- SOLBRIG OT Y VIGLIZZO EF (1999) *Sustainable farming in the Argentine Pampas: history, society, economy and ecology*. David Rockefeller Center for Latin American Studies, Harvard University, Cambridge
- THOMAS L, BUCKLAND ST, REXSTAD EA, LAAKE JL, STRINDBERG S, HEDLEY SL, BISHOP JRB, MARQUES TA Y BURNHAM KP (2010) Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47:5–14
- TREMBLAY A, MINEAU P Y STEWART RK (2001) Effects of bird predation on some pest insect populations in corn. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83:143–152
- UHART M Y ZACCAGNINI ME (1999) *Manual de procedimientos operativos estandarizados de campo para documentar incidentes de mortandad de fauna silvestre en agroecosistemas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires
- VIGLIZZO EF (2001) *La trampa de Malthus. Agricultura, competitividad y medio ambiente en el siglo XXI*. EUDEBA, Buenos Aires
- VIOLINI S (2009) *Evaluación del riesgo de mortandad de aves por el uso de pesticidas en el noreste de la provincia de La Pampa*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa
- ZACCAGNINI ME (2006) ¿Por qué monitoreo ecotoxicológico de diversidad de aves en sistemas productivos? Pp. 69–89 en: LARREA E (ed) *INTA expone 2004. Volumen III*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires
- ZACCAGNINI ME, BERNARDOS J, MINEAU P, CÁCERES C, SALUSO A Y CALAMARI N (2004) *Calculadora de Riesgo Ecotoxicológico para Aves. Versión 1.0*. INTA, USFWS, NBMCA y CWS, Buenos Aires
- ZACCAGNINI ME, CANAVELLI SB, CALAMARI N Y SCHRAG AM (2010) Regional bird monitoring as a tool for predicting the effects of land use and climate change on Pampas biodiversity. Pp. 39–52 en: DALLMEIER F, FENECH A, MACIVER D Y SZARO R (eds) *Climate change, biodiversity, and sustainability in the Americas. Impacts and adaptations*. Smithsonian Institution Scholarly Press, Washington DC
- ZACCAGNINI ME, THOMPSON J, BERNARDOS J, CALAMARI N, GOIJMAN A Y CANAVELLI SB (2011) Riqueza, ocupación y roles funcionales potenciales de las aves en relación a los usos de la tierra y productividad de agroecosistemas: un ejemplo en la ecoregión pampeana. Pp. 185–219 en: LATERRA P, JOBBAGY EG Y PARUELO JM (eds) *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires