

## Cuenca del Arroyo Chapaleofú: agriculturización y efecto del insecticida clorpirifos sobre una especie no blanco

### Chapaleofú Stream Basin: agriculturization and effect of the chlorpyrifos insecticide on a non-white species

Paula Rocío Pená-Gómez<sup>1,2\*</sup>,  
Rocío Fernández-San  
Juan<sup>1</sup>,  
Ailin Somoza<sup>2</sup>,  
Patricia Vazquez<sup>2</sup>,  
Agustina Cortelezzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable. Paraje Arroyo Seco s/n, Tandil. CP. 7000. Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Centro de Estudios Sociales de América Latina. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Paraje Arroyo Seco s/n, Tandil, CP. 7000. Buenos Aires, Argentina.

\*Autor de correspondencia:  
paulapenadyga@gmail.com

#### Artículo científico

Recibido: 23 de septiembre  
2021

Aceptado: 25 de mayo 2022

Como citar: Pená-Gómez PR, Fernández-San Juan R, Somoza A, Vazquez P, Cortelezzi A (2022) Cuenca del Arroyo Chapaleofú: agriculturización y efecto del insecticida clorpirifos sobre una especie no blanco. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2): e3131. DOI: 10.19136/era.a9n2.3131

**RESUMEN.** La agriculturización es un causante de transformación en los territorios. El actual modelo de agricultura predominante, basado en la aplicación de plaguicidas para mantener el cultivo saludable y sin competencia, no solo afecta a la especie objetivo sino también a aquellas no blanco, impactando en la biodiversidad local y el funcionamiento de los ecosistemas. El objetivo del presente estudio fue analizar los cambios en los usos del suelo en la Cuenca Alta del Arroyo Chapaleofú y determinar la toxicidad del clorpirifos sobre una especie no blanco. Para esto, se compararon imágenes clasificadas supervisadas de los años 1989 y 2019 del partido de Tandil (Buenos Aires, Argentina) y se realizó la evaluación de la Concentración Letal 50 (CL<sub>50</sub>) del insecticida clorpirifos sobre el molusco *Physa acuta*, a 96 horas de exposición. Se detecta un 74.35% de avance de las tierras destinadas a actividades agrícolas, lo que evidencia el proceso de agriculturización. El molusco *Physa acuta* tiene una CL<sub>50</sub> de 0.55 mg L<sup>-1</sup>, presentando al mismo tiempo efectos subletales, pese a tratarse de una especie tolerante al químico en cuestión. Debido a lo anterior, es necesario realizar más estudios que permitan determinar los efectos de los múltiples químicos utilizados en la actividad agrícola, considerando exposiciones más prolongadas y con especies más sensibles.

**Palabras clave:** Concentración letal 50, imágenes clasificadas supervisadas, *Physa acuta*, plaguicidas, usos de suelo.

**ABSTRACT.** Agriculturization constitutes a cause of transformation in the territories. The current prevailing model of agriculture, based on the application of pesticides to keep the crop healthy and without competition, not only affects the target species but also non-target species, impacting local biodiversity and the proper functioning of ecosystems. The objective of this work was to analyze changes in land use in the Upper Basin of the Chapaleofú Stream, and determine the toxicity of chlorpyrifos on a non-target species. For this, supervised classified images (years 1989 and 2019) of Tandil district (Buenos Aires, Argentina) were compared and Lethal Concentration 50 (LC<sub>50</sub>) of the insecticide chlorpyrifos on the mollusk *Physa acuta* at 96 hours of exposure was determined. A 74.35% advance of the land destined for agricultural activities was detected, which shows the process of agriculturization. *Physa acuta* has an LC<sub>50</sub> of 0.55 mg L<sup>-1</sup>, presenting at the same time sublethal effects, despite being a species tolerant to the chemical in question. Regarding the conclusions, more studies are required to generate information on the impact of the multiple chemicals used in agricultural activity, considering longer exposures and with more sensitivity species.

**Key words:** Land uses, lethal concentration 50, monitored classified images, pesticides, *Physa acuta*.

## INTRODUCCIÓN

Los sensores remotos poseen múltiples utilidades como la evaluación de las transformaciones ocurridas en la superficie terrestre, la cual requiere de información con adecuada resolución espacial y temporal (Vazquez *et al.* 2008). Los datos provistos por sensores remotos han demostrado su utilidad para caracterizar grandes territorios por su capacidad de relevar áreas extensas con cierta regularidad (Volante *et al.* 2015), permitiendo contribuir al entendimiento acerca de los cambios en los usos del suelo (Song *et al.* 2018). Su aplicación ha puesto de relevancia el proceso de agriculturización producido en la Región Pampeana Austral, área donde se hallan insertos los partidos y cuencas correspondientes al Sistema de Tandilia (Vazquez *et al.* 2020, Somoza *et al.* 2020, Sequeira *et al.* 2021). Estas herramientas han evidenciado el uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas en detrimento de usos ganaderos o mixtos. Dicho proceso se encuentra asociado con cambios tecnológicos, intensificación ganadera, expansión de la frontera agropecuaria y producciones orientadas al monocultivo; además de un incremento sostenido en la utilización de insumos químicos (Manuel-Navarrete *et al.* 2005). El informe más reciente de la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, asociación empresaria de la industria de fitosanitarios argentina, indica un aumento del 13% en el volumen de plaguicidas vendidos respecto al año anterior (CASAFE 2016).

La expansión de la frontera agrícola basada en el paradigma industrial, pone de manifiesto una serie de problemáticas ambientales, como la deriva de los plaguicidas por escurrimiento superficial e infiltración a los cuerpos de agua subterráneos y las descargas directas de productos agrícolas por el lavado de equipos de aplicación en arroyos rurales (del Puerto Rodríguez *et al.* 2014). El aporte de plaguicidas a los cuerpos de agua superficial y subterránea son una amenaza constante para los organismos acuáticos que allí habitan. De acuerdo con Magdalena *et al.* (2010), la aplicación de plaguicidas se trata de un proceso ineficiente debido a que solo un poco porcen-

taje del químico entra en contacto con las plagas a combatir y el resto se acumula en los ecosistemas. Por ejemplo, el plaguicida clorpirifos ha sido detectado en cuerpos de agua pampeanos (Pérez *et al.* 2017). Además de ser uno de los plaguicidas más utilizados en el área de estudio, presenta alta toxicidad y gran capacidad de persistir en los sedimentos, por lo cual este compuesto representa una amenaza para los organismos acuáticos (Cappello *et al.* 2008). A pesar de la importancia de esta temática sobre la salud del ambiente (incluida la salud humana), el conocimiento de los efectos de los plaguicidas utilizados en la actividad agrícola sobre las especies acuáticas no blanco es escaso (Lepori *et al.* 2013).

Los invertebrados acuáticos son los organismos más utilizados para evaluar problemáticas ambientales tanto en campo como en laboratorio, por ser bioindicadores de contaminación acuática. Para evaluar el efecto de los plaguicidas sobre especies acuáticas no blanco, es decir, todos aquellos que no se encuentran dentro de las especies que se busca eliminar intencionalmente con las aplicaciones de dichos productos, se recurre a la utilización de ensayos de toxicidad. En el caso de las pruebas de laboratorio, éstas permiten determinar el potencial tóxico de un compuesto bajo condiciones controladas de exposición (Ronco y Díaz Báez 2004). De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la toxicidad aguda es la capacidad de una sustancia de causar daño biológico severo o muerte, luego de una sola exposición y en un breve plazo de tiempo (EPA 2021). Una medida común para expresar la misma es la Concentración Letal 50 (CL<sub>50</sub>), definida como aquella dosis que elimina a la mitad de los organismos bajo prueba, expresada en miligramos de la sustancia por litro de agua (mg L<sup>-1</sup>), o como partes por millón (ppm). La evaluación de toxicidad de compuestos plaguicidas sobre organismos acuáticos es fundamental en el contexto del avance del modelo agrícola industrial y el creciente uso de plaguicidas. El objetivo del trabajo fue analizar los cambios en los usos del suelo en la Cuenca del Arroyo Chapaleofú y determinar la toxicidad del clorpirifos sobre una especie no blanco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

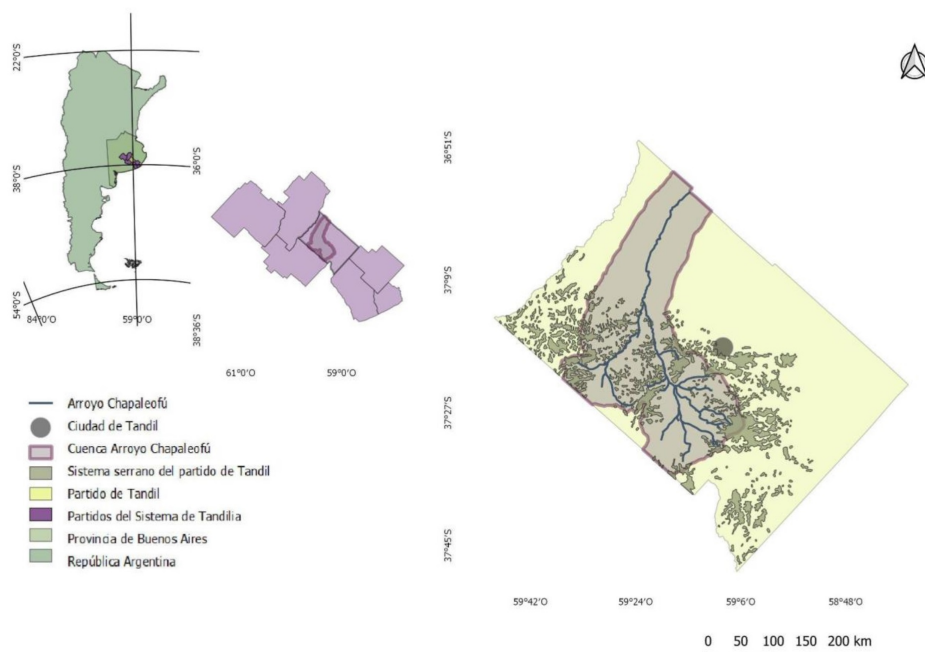
### Área de estudio

El área de estudio fue la Cuenca Alta del Arroyo Chapaleofú (Figura 1), la cual tiene una extensión de 1 484 km<sup>2</sup>. Se localiza en el partido de Tandil de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Este sistema hídrico, conformado por las sub-cuencas del A° Chapaleofú Grande y A° Chapaleofú Chico, tiene sus nacientes en el faldeo norte del sistema serrano de Tandilia, hasta el límite con el partido de Rauch. Las sierras septentrionales comprenden una cadena de cerros que alcanzan una altitud máxima de 500 metros. Los pedemontes se encuentran formados por loess de 1 a 2 m de espesor, depositados sobre una costra calcárea (Matteucci 2012). Además, las condiciones climáticas, sumado al aporte de materia orgánica y las características geoquímicas de los materiales sedimentarios, propiciaron el desarrollo de suelos con alto contenido de materia orgánica y nutrientes y horizontes subsuperficiales arcillosos (Burkart *et al.* 1999). Los anteriores rasgos, asociados a tierras bien drenadas, proporcionan a los suelos una excelente aptitud agrícola. La Cuenca del Arroyo Chapaleofú es una matriz productiva que ha ganado superficie agrícola en los últimos años, entre otras cosas, debido al aumento del uso de plaguicidas. Los productos aplicados en la matriz agrícola, como por ejemplo el clorpirifos, se han extendido hacia otras matrices ambientales como los cuerpos de agua superficial generando contaminación difusa y afectando la biodiversidad acuática representada principalmente por invertebrados.

### Usos del suelo

Para el análisis de las transformaciones en los usos del suelo se realizó una comparación de la clasificación supervisada de dos imágenes satelitales (Path/Row 225-86) adquiridas de la página del USGS (2019), de las cuales se obtuvieron valores de superficie y distribución de diversas clases de usos del suelo. La imagen correspondiente al año 1989 fue captada por el sensor TM del satélite Landsat 5, mientras que la imagen del 2019 fue obtenida por el sensor OLI del satélite Landsat 8. Para el

procesamiento de las imágenes se empleó el software ENVI Classic 5.3. Previamente se realizó el preprocesamiento de las imágenes satelitales para la clasificación, teniendo en cuenta que la señal recibida por los sensores se codifica en diferentes valores de niveles digitales. Pero estos valores no son comparables entre distintas bandas o en el tiempo. Además, es necesario considerar los efectos de la interacción de la radiación electromagnética con los objetos y la atmósfera (Pons *et al.* 2014). Previamente al análisis de la información provista por las imágenes se realizó una corrección radiométrica para obtener los valores de radiancia (Chander *et al.* 2007, Chander *et al.* 2009). Con esto valores, las imágenes se procesaron para obtener la reflectividad a tope de la atmósfera, considerando los efectos de iluminación derivados de la posición solar (ángulo de iluminación solar) y de la posición del sensor. Debido a que estos valores no consideran el efecto atmosférico, es necesario introducir un modelo de corrección atmosférica. El modelo simple de transferencia radiativa propuesto por Kaufman (1989), permitió conocer la energía que ilumina la superficie y la fracción reflejada para calcular la reflectividad de superficie. Posteriormente se procedió a realizar clasificaciones supervisadas, para ello se consideraron datos del área de estudio a través de puntos de GPS (Global Position System) obtenidos mediante trabajo de campo, mapas e informes técnicos, el visor de imágenes del software Google Earth Pro y referencias profesionales correspondientes a las clases a diferenciar. Los usos de suelo predominantes derivados de las clasificaciones supervisadas han devenido en las siguientes clases: agrícola, pastizales y pasturas, cuerpos de agua y urbana. A continuación, se proyectaron regiones de interés que definen las clases de uso de suelo distinguibles en el área de estudio. En tal sentido, las características espectrales de estas áreas son empleadas para entrenar un algoritmo de clasificación, el cual permite calcular los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio piloto, y luego evaluar cada nivel digital de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase (Posada *et al.* 2012). Se aplicó el algoritmo denominado Clasificador de Máxima Probabilidad. Los cambios en las diferentes clases de usos del suelo



**Figura 1.** Localización de la Cuenca del Arroyo Chapaleofú en el partido de Tandil, Sistema de Tandilia (Buenos Aires, Argentina).

a partir de calcular la superficie ocupada por cada año considerado, se determinaron observando los estadísticos, cuantificando y comparando las modificaciones de superficie de los mismos en la CuACh.

### Bioensayos

Para explorar las consecuencias del avance agrícola en la región, por el creciente uso de plaguicidas, se realizaron ensayos de laboratorio. Se seleccionó al plaguicida clorpirifos ( $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$ ) por ser el insecticida más empleado en la producción alimentaria del país (Montedoro y Butinof 2019); como insecticida de amplio espectro en cultivos de frutas, hortalizas, cereales y plantas ornamentales (Cocca *et al.* 2015) y para el control de insectos y artrópodos vectores de agentes patógenos en la ganadería (Watts 2012). De acuerdo a la clasificación toxicológica de la Organización Mundial de la Salud, el clorpirifos pertenece a la Clase II (producto moderadamente peligroso). Para comprobar los efectos que este insecticida puede generar sobre una especie no blanco y proyectar las consecuencias que puede provocar a largo plazo sobre la biota local,

se determinó la Concentración Letal 50 ( $CL_{50}$ ) a las 96 horas de exposición de la especie *Physa acuta* (no blanco). *Physa acuta* es un molusco de agua dulce nativo de Norteamérica que se ha adaptado y expandido en todo el continente (Ebbs *et al.* 2018). Este molusco invasor fue seleccionado para realizar los ensayos en laboratorio por ser una especie indicadora de calidad de agua utilizada en este tipo de experiencias (Sobrino-Figueroa 2016) y por su amplia distribución y abundancia en el área estudiada (Cortelezzi, *com per*). Para la realización del ensayo, individuos adultos de *P. acuta* se recolectaron del arroyo Chapaleofú ( $37^{\circ} 19' 12.0'' S$ ,  $59^{\circ} 19' 38.7'' O$ ) y se llevaron al laboratorio para su aclimatación. Los caracoles se colocaron en acuarios de 3 L de capacidad, a los que se agregó un litro y medio de agua de clorinada y filtrada, bajo régimen de aireación continua y fotoperíodo 8:16 L/O, durante siete días. Los acuarios se mantuvieron bajo condiciones controladas de temperatura ( $20 \pm 2^{\circ} C$ ), pH (6.8 - 7.5) y oxígeno disuelto ( $7.3 - 8 \text{ mg L}^{-1}$ ). La alimentación se realizó todos los días con alimento para peces. Luego de la aclimatación, se utilizaron cinco concen-

traciones diferentes de clorpirifos más un control con agua sin plaguicida. También se realizó un control sin plaguicida con acetona (DORWIL, pureza 99.5% PM:58.08), para evaluar posibles efectos adversos de este solvente presente en el compuesto Clorfox. En cada frasco se colocó 1.5 L de agua de clorinada, y se le agregaron 50  $\mu$ L de las diluciones de clorpirifos preparadas previamente para obtener las concentraciones finales de 0.4, 0.6, 0.8, 1 y 1.2 ppm ( $\text{mg L}^{-1}$ ). En el tratamiento control de acetona sólo se agregó 50  $\mu$ L de acetona. Se colocaron ocho individuos por frasco, los cuales se expusieron a estas concentraciones durante 96 h. Tanto la supervivencia como la mortalidad de los individuos de *P. acuta* se registraron todos los días para cada uno de los tratamientos. También se realizó un recambio diario del agua y de las soluciones de clorpirifos correspondientes a cada tratamiento. Para el cálculo de la  $CL_{50}$  y el análisis estadístico, se usó el programa PROBIT 1.5 mediante el método descrito por Finney (1971), trabajando con un límite de confianza de 95%. Por último, se comparó el valor obtenido en la  $CL_{50}$  para *P. acuta* con otras especies (moluscos, crustáceos anfípodos y otros invertebrados de agua dulce) por medio de la curva de distribución de sensibilidad de especies (SSDs). Los valores de  $CL_{50}$  para realizar la curva fueron obtenidos de la base de datos de la página ECOTOX (EPA 2020).

## RESULTADOS

El avance del uso agrícola en el área de la CuACh dentro de los límites del partido de Tandil es de un 74.35% en las últimas tres décadas (Tabla 1, Figura 2). Dicha expansión se dio en detrimento de la superficie ocupada por pastizales y pasturas destinados a la actividad ganadera que disminuyó el 48.90%. Por otro lado, si bien el uso del suelo asociado a la urbanización (localidades de María Ignacia, Estación Vela, Gardey y paraje La Porteña en el Partido de Tandil) presenta valores bajos en comparación a los usos agropecuarios, el incremento del uso urbano fue de 190.59%. El área ocupada por cuerpos de agua superficiales se mantiene constante representando para 1989 el 0.02% y para 2019 el 0.01% de la

superficie de la CuACh. Por lo que se pudo comprobar, en un período de tres décadas, transformaciones radicales en el uso y cobertura del suelo.

**Tabla 1.** Superficies obtenidas a partir de los estadísticos de las imágenes satelitales clasificadas supervisadas para cada clase de uso del suelo en cada año seleccionado (1989 Landsat 5 TM y 2019 Landsat 8 OLI) en la Cuenca del Arroyo Chapaleofú.

Clases	Año 1989 ( $\text{km}^2$ )	Año 2019 ( $\text{km}^2$ )
Agrícolas	540.40	942.20
Pastizales y pasturas	825.19	421.69
Urbanas	0.90	2.60
Cuerpos de agua	0.02	0.01

La evaluación del efecto del plaguicida clorpirifos sobre una especie de molusco no blanco, permitió observar algunos efectos que podrían resultar del cambio del uso del suelo y el consiguiente aumento de la aplicación de plaguicidas. A partir de la determinación de la  $CL_{50}$  sobre la especie *Physa acuta*, se obtuvieron valores a las 96 horas de exposición de 0.55  $\text{mg L}^{-1}$  (0.418 - 0.655). No se observaron efectos adversos ni mortalidad en ninguno de los controles realizados. Durante el ensayo se detectaron efectos subletales durante las primeras horas en los tratamientos de menor concentración de clorpirifos, como la puesta de huevos y la pérdida de la capacidad de adherencia a los acuarios. Al comparar la sensibilidad al clorpirifos durante 96 h de exposición entre diferentes especies de invertebrados se observa que *P. acuta* se encuentra entre las especies más tolerantes (Figura 3).

## DISCUSIÓN

Diversas investigaciones realizadas en cuencas con nacientes en el Sistema de Tandilia, como el caso del Arroyo Chapaleofú, reflejan el avance de la agricultura sobre otros usos del suelo (Vazquez et al. 2014, Vazquez y Somoza 2020). Dicha situación no es ajena a lo que ocurre en la Región Pampeana Argentina, donde la agriculturización condujo a un mayor empleo de plaguicidas, los cuales derivan en impactos ambientales diversos sobre los ecosistemas y la salud (Rositano 2020). La comparación en los



Figura 2. Distribución espacial de las clases de uso del suelo en la Cuenca del Arroyo Chapaleofú.

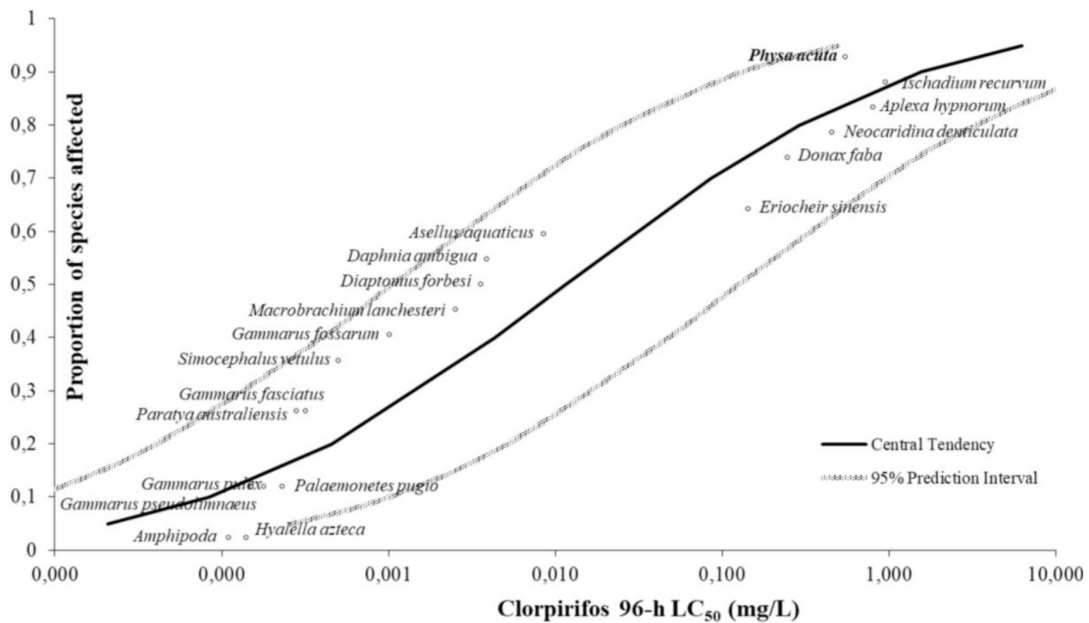


Figura 3. Distribución de sensibilidad de *Physa acuta* y otros invertebrados de agua dulce por exposición aguda (CL<sub>50</sub>-96h) a clorpirifos.

usos del suelo a partir de sensores remotos, permitió observar el proceso de agriculturización en la CuACh, a partir de productos Landsat, que han sido y con-

tinúan siendo de gran aplicación en diferentes análisis temporales (Sequeira y Vazquez, 2022, Somoza et al. 2021).

En 1989, la actividad ganadera en pastizales y pasturas ocupaba un 60% de la CuACh. Dicha actividad se llevaba a cabo en sistemas extensivos de baja productividad y bajo impacto ambiental, o semi-extensiva con rotación de cultivos (Frank y Viglizzo 2010, Auer *et al.* 2019). Así, los sistemas mixtos (agrícola ganadero) permitieron que los campos de la región mantuvieran y hasta aumentaran su calidad en nutrientes y materias orgánicas con ciclos de cultivos y pasturas prácticamente sin insumos externos (Pengue y Rodríguez 2018, Sarandón 2020, Andrade 2020). Por otro lado, en el 2019, los pastizales y pasturas se redujeron en un 48.90%, debido a los cambios tecnológicos introducidos, vinculados al proceso de agriculturización de la cuenca. La actividad agrícola se expandió aceleradamente a partir de la técnica de siembra directa en reemplazo de la labranza convencional, el aumento de escala, la simplificación del sistema de cultivo, una intensificación de la producción mediante un uso mayor de agroquímicos, propagación de monocultivos, incorporación de cultivos transgénicos y difusión del manejo diferencial por ambientes (Somoza *et al.* 2018). En relación a esto, es importante destacar la tendencia creciente hacia la especialización agrícola orientada a la producción del cultivo de soja. Teniendo en cuenta la evolución de la superficie sembrada en hectáreas, según la página oficial del Municipio de Tandil (2021), se evidencia el crecimiento exponencial que tuvo dicha leguminosa desde la campaña correspondiente a los años 1973/1974 con 40 ha, hasta la campaña 2018/2019 con 130 264 ha sembradas. Asimismo, es importante mencionar ciertas características de la actividad ganadera en el período analizado fomentadas por la competencia con la agricultura que indujo cambios de localización e intensidad de los usos ganaderos cárnicos y lácteos. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2019), a pesar de una disminución asociada a una fuerte caída en el número de explotaciones con ganado bovino se observa un stock que se mantiene, relativamente estable, una intensificación productiva y una mayor eficiencia de la misma. Por otro lado, en referencia a los cuerpos de agua superficiales, si se tiene en cuenta que el sistema fluvial del área de

estudio se define por el aporte de precipitaciones, podemos inferir que el Arroyo Chapaleofú en los dos años seleccionados no se ha visto afectado de manera disímil, ya que los valores registrados en el partido de Tandil para 1989 fueron de 739.9 mm y para 2019 de 751.6 mm (INTA 2018). En el escenario planteado de una dinámica acelerada del proceso de agriculturización, el efecto de la deriva de plaguicidas, vinculado directamente con dicho proceso territorial, sobre especies que habitan los cuerpos de agua, es una amenaza concreta. En este sentido, en relación al ensayo de toxicidad realizado, las concentraciones de clorpirifos en el ambiente registradas a campo, suelen ser menores que los valores de  $CL_{50}$  empleados en este trabajo. En un arroyo de Arrecifes (Argentina), se reportaron pulsos de concentración de  $0.45 \mu\text{g L}^{-1}$  (Jergentz *et al.* 2005), mientras que Marino y Ronco (2005) determinaron concentraciones de clorpirifos entre  $0.4$  y  $10.8 \mu\text{g L}^{-1}$  en cursos de agua de Pergamino. Concentraciones mayores de este compuesto han sido detectadas en sedimentos del río Paraguay-Paraná de  $13.5 \mu\text{g kg}^{-1}$  (Etchegoyen *et al.* 2017), en tanto que para el arroyo Tapalqué se reportan concentraciones de  $4.2 \mu\text{g kg}^{-1}$  por Pérez *et al.* (2021). Por otro lado, Salvio *et al.* (2015) evaluaron el efecto de clorpirifos y de cipermetrina sobre *Scarites anthracinus* (Coleoptera), un predador de organismos considerados plagas de los cultivos, reportando que el clorpirifos es altamente tóxico, ya que en concentraciones ocho veces menor que la recomendada a campo, la población bajo estudio se redujo a la mitad. También Rafael *et al.* (2015) realizaron bioensayos con *Octolasion cyaneum* (Annelida), organismo que aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y mejora la estructura del suelo a través de bioporos que evitan la compactación del mismo, y reportaron que el clorpirifos produjo cambios morfológicos en un 33% de los organismos expuestos. Estos trabajos reflejan que la acción de los plaguicidas no se limita solo a los organismos denominados plaga en la agricultura, sino que también afecta organismos benéficos. En relación a los efectos subletales observados, estos fueron reportados también por Iannacone *et al.* (2002), pudiendo ser una respuesta

de dichos organismos frente al estrés producido por el químico en su ambiente. La tolerancia de *P. acuta* al clorpirifos, demostrada con la curva de sensibilidad, indica que el efecto de la deriva de estos contaminantes sobre especies con mayor sensibilidad que habitan los cuerpos de agua es una problemática de gravedad. Debido a esto, se requiere realizar estudios que permitan vislumbrar el efecto de los múltiples químicos utilizados en la actividad agrícola, considerando exposiciones más prolongadas y con especies más sensibles.

### CONCLUSIONES

El cambio de uso de suelo en el área de estudio durante las últimas tres décadas, permiten vislumbrar el avance espacial de tierras destinadas a actividades agrícolas sobre otros ecosistemas. Este proceso demanda insumos externos para su funcionamiento, como los plaguicidas, los cuales producen consecuencias ambientales negativas en detrimento de la biodiversidad, y en especial de las especies no blanco que habitan los cuerpos de agua.

En el caso de *Physa acuta*, fue afectada durante el ensayo a la menor concentración de clorpirifos tanto en la puesta de huevos como en su capacidad de adherencia al sustrato, por lo que el efecto de la deriva de estos contaminantes sobre especies sensibles que habitan los cuerpos de agua es una problemática que atenta sobre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. Esta información, sumada al conocimiento de la CL<sub>50</sub> de especies indicadoras, es fundamental para inferir el impacto de los plaguicidas sobre especies de menor tolerancia (especies sensibles a la contaminación) y por lo tanto, en el ecosistema.

### AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado mediante el proyecto PEIDYT "Cuencas urbanas afectadas por compuestos farmacéuticos de origen cloacal: experiencia de fitorremediación con macrófitas" 2021, del INSTITUTO MULTIDISCIPLINARIO SOBRE ECOSISTEMAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE (ECOSISTEMAS) (CIC - UNICEN).

### LITERATURA CITADA

- Andrade FH (2020) Los desafíos de la agricultura global. Primera Edición Ampliada. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA. 249p.
- Auer A, Maceira N, Mikkelsen C (2019) El proceso de agriculturización en territorios con diferente matriz ecológico-productiva. El caso de la cuenca Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande* 72: 27-53.
- Burkart R, Bárbaro NO, Sánchez RO, Gómez DA (1999) Eco-regiones de la Argentina. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires, Argentina. 43p.
- CASAFE (2016) Mercado Argentino de productos fitosanitarios, año 2016. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Buenos Aires, Argentina. 1p. <https://www.casafe.org/publicaciones/datos-del-mercado-argentino-de-fitosanitarios/>. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021.
- Chander G, Markham B, Barsi JA (2007) Revised Landsat-5 thematic mapper radiometric calibration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 4: 490-494.
- Chander G, Markham BM, Helder DL (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 113: 893-903.
- Cocca CM, Ventura C, Núñez MA, Randi AS, Venturino A (2015) El organofosforado clorpirifos como disruptor estrogénico y factor de riesgo para el cáncer de mama. *Acta Toxicológica Argentina* 23: 142-152.



- Del Puerto Rodríguez AM, Suárez Tamayo S, Palacio Estrada DE (2014) Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y epidemiología* 52: 372-387.
- Ebbs ET, Loker ES, Brant SV (2018) Phylogeography and genetics of the globally invasive snail *Physa acuta* Draparnaud 1805, and its potential to serve as an intermediate host to larval digenetic trematodes. *BMC evolutionary biology* 18: 103-120.
- INTA (2018) Grupo Agrometeorología, Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP). Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. <https://inta.gob.ar/paginas/agrometeorologia-balcarce>. Fecha de consulta: 14 de septiembre de 2021.
- Etchegoyen M, Ronco A, Almada P, Abelando M, Marino D (2017) Occurrence and fate of pesticides in the Argentine stretch of the Paraguay-Paraná basin. *Environmental Monitoring and Assessment* 189: 63. DOI: 10.1007/s10661-017-5773-1.
- Finney DJ (1971) *Probit Analysis*. 3rd ed. Cambridge University Press. London, UK. 333p.
- Frank F, Viglizzo E (2010) Evaluación ecológica: ejemplo de estudio en las pampas de Argentina. *Revista de la Cátedra Unesco sobre Desarrollo Sostenible de la UPV/EHU* 4: 79-89.
- Iannacone J, Caballero C, Alvaríño L (2002) Empleo del caracol de agua dulce *Physa venustula* Gould como herramienta ecotoxicológica para la evaluación de riesgos ambientales por plaguicidas. *Agricultura Técnica* 62: 212-225.
- Jergentz S, Mugni H, Bonetto C, Schulz R (2005) Assessment of insecticide contamination in runoff and stream water of small agricultural streams in the main soybean area of Argentina. *Chemosphere* 61: 817-826.
- Kaufman YJ (1989) The atmospheric effect on remote sensing and its correction. In: Asrar G (ed) *Theory and applications of optical remote sensing*. Wiley, New York. pp: 336-428.
- Lepori ECV, Mitre GB, Nassetta M (2013) Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 25-43.
- Magdalena JC, Fernández D, Di Prinzio A, Behmer S (2010) Pasado y presente de la aplicación de agroquímicos en agricultura. En: Magdalena JC, Castillo HB, Di Prinzio A, Homer Bannister I, Villalba J (ed) *Tecnología de aplicación de agroquímicos. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)*. Argentina. pp: 17-25.
- Manuel-Navarrete D, Gallopín G, Blanco M, Díaz-Zorita M, Ferraro D, Herzer H, Laterra P, Morello J, Murmis MR, Pengue W, Piñeiro M, Podestá G, Satorre EH, Torrent M, Torres F, Viglizzo E, Caputo MG, Celis A (2005) Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. *Serie Medio Ambiente y Desarrollo* N° 118. United Nations Publications. Santiago de Chile, Chile. 65p.
- Marino D, Ronco A (2005) Cypermethrin and chlorpyrifos concentration levels in surface water bodies of the Pampa Ondulada, Argentina. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 75: 820-826.
- Matteucci S (2012) Ecorregión Pampa. En: Morello J, Matteucci SD, Rodriguez A, Silva M (ed) *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. pp: 391-446.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2019) Datos agricultura, ganadería y pesca. Datasets. Existencias bovinos. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/c19a5875-fb39-48b6-b0b2-234382722afb/archivo/1b920477-8112-4e12-bc2c-94b564f04183>. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021.

- Montedoro FD, Butinof M (2019) Percepción poblacional de riesgo de exposición a plaguicidas en una localidad de la Pampa Húmeda Argentina. *Revista de Salud Ambiental* 19: 136-147.
- Municipio de Tandil (2021) Superficie sembrada por campaña. Datos de la dirección de estadística local perteneciente a la municipalidad de la ciudad de Tandil. Buenos Aires, Argentina. [http://indicadores.tandil.gov.ar/indicadoresmt/web/index.php/indicador/8\\_aea\\_sup\\_sembrada\\_campania](http://indicadores.tandil.gov.ar/indicadoresmt/web/index.php/indicador/8_aea_sup_sembrada_campania). Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021.
- Nogar ML, Jacinto GP (2013) Nuevas funciones y fragilidades ambientales en la Pampa Argentina: el caso de los asentamientos de rango menor en Tandil. *Nadir: Revista Electrónica Geografía Austral* 5: 1-13.
- Pengue W, Rodríguez A (2018) Las transformaciones urbano-rurales en la Argentina: Conflictos, consecuencias y alternativas en los albores del milenio. En: Pengue W, Rodríguez A (eds) *Agroecología, ambiente y salud: Escudos verdes productivos y pueblos sustentables*. Fundación Heinrich Böll, Oficina Regional para Cono Sur. Buenos Aires y Santiago de Chile. pp: 13-31.
- Pérez DJ, Iturburu FG, Calderon G, Oyesqui LAE, De Gerónimo E, Aparicio VC (2021) Ecological risk assessment of current-use pesticides and biocides in soils, sediments and surface water of a mixed land-use basin of the Pampas region, Argentina. *Chemosphere* 263: 128061. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128061.
- Pons X, Pesquer L, Cristóbal J, González-Guerrero O (2014) Automatic and improved radiometric correction of Landsat imagery using reference values from MODIS surface reflectance images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 33: 243-254.
- Posada E, Ramírez Daza HM, Espejo Delgado NC (2012) Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 154p.
- Rafael SE, Salvio C, Manetti PL, Clemente NL, López AN (2015) Susceptibilidad de *Octolasion cyaneum* (annelida: oligochaeta, lumbricidae) expuesta a clorpirifos en condiciones de laboratorio. *Ciencia del Suelo* 33: 173-181.
- Ronco A, Díaz-Báez MC (2004) Interpretación y manejo de resultados. En: Castillo Morales G (ed) *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas: estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. IMTA. México. pp: 141-148.
- Rositano F (2020) Desarrollo sustentable de sistemas agrícolas en la Región Pampeana (Argentina): factores ambientales y productivos que determinan la provisión de servicios de los ecosistemas. En: Durand PB, Gelabert C (comp.) *Aportes de los objetivos de desarrollo sostenible para una agricultura sustentable en la Argentina: Una mirada social desde la universidad*. 1a ed. Editorial Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. pp: 121-140.
- Salvio C, Manetti PL, Clemente NL, López AN (2015) *Scarites anthracinus* (coleoptera: carabidae): efecto tóxico de clorpirifos y de cipermetrina en bioensayos de laboratorio. *Ciencia del Suelo* 33: 11-17.
- Sarandón SJ (2020) Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. EDULP. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Libros de Cátedra. Buenos Aires, Argentina. 429p.
- Sequeira N, Vazquez P (2022) Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central* 68: 383-412.
- Sequeira N, Vazquez P, Sacido M, Daga D (2021) Zonificación agroecológica del partido de Benito Juárez (Argentina): agriculturización y consecuencias ambientales en un sector de la Región Pampeana Argentina. *Investigaciones Geográficas* 76: 285-307.

- Sobрино-Figueroa (2016) Toxic effects of emerging pollutants in juveniles of the freshwater gastropod *Physa acuta* (Draparnaud, 1805). *American Malacological Bulletin* 33: 337-342.
- Somoza A, Vazquez P y Zulaica L (2018) Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para la gestión ambiental rural. *Revista RIA* 44: 3.
- Somoza A, Vazquez P, Zulaica L, Sacido B (2020) Dinámica espacio-temporal de usos del suelo en sistemas ecológicos de la región pampeana austral, Argentina: Agriculturización en el Partido de Tandil. *M+A Revista Electrónica de Medio Ambiente de la UCM* 21: 82-101.
- Somoza A, Vazquez P, Zulaica L, Sacido M (2021) Zonificación agroecológica del partido de Tandil (Argentina): aportes para gestión de servicios ecosistémicos. *Cadernos de Geografía* 45: 107-126.
- Song Xiao-Peng, Hansen Matthew C, Stehman Stephen V, Potapov Peter V, Tyukavina Alexandra, Vermote Eric F, Townshend John R (2018) Global land change 1982-2016. *Nature* 560: 639-643.
- Tomas M, Farenga M, Bernasconi MV, Martínez G, Massone H, Cabria F, Calandroni M, Dillon G, Mazzanti D, Pastoriza E, Pilic T, Espinosa A, Lanari ME, López MT, López J, Salgado P (2005) Atlas digital del Partido de Balcarce, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista Cartográfica* 80-81: 91-102.
- EPA (2020) Ecotox Knowledgebase. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021.
- EPA (2021) Glosario ambiental bilingüe. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/espanol/glosario-ambiental-bilingue>. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021.
- USGS (2019) Science for a Changing World. US Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Fecha de consulta: 18 de febrero de 2019.
- Vazquez P, Rivas R, Usunoff E (2008) Análisis multitemporal de la disponibilidad de agua en el suelo. *Revista Ciencia* 3: 47-58.
- Vazquez P, Somoza A (2020) Cuenca hidrográfica agropecuaria y evolución de los servicios ecosistémicos en la región sur pampeana argentina. *Papeles de Geografía* 66: 103- 122.
- Vazquez P, Zulaica L, Ferreyra V (2014) Expansión agrícola e impactos territoriales en la Cuenca Superior del Arroyo Languayú (Partido de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina). *Revista Geografía en Cuestión* 7: 177-202.
- Volante J, Mosciaro J, Morales-Poclava M, Vale L, Castrillo S, Sawchik J, Tiscornia G, Fuente M, Maldonado I, Vega A, Trujillo R, Cortéz L, Paruelo J (2015) Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 41: 179-191.
- Watts, M (2012) Clorpirifos: Un posible COP a nivel global. Red de acción de pesticidas en norteamérica. Santiago de Chile, Chile. 46p.