

Residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos en aguas subterráneas de bebida en las zonas rurales de Plottier y Senillosa, Patagonia Norte, Argentina

Organophosphate and carbamate pesticide residues in drinking groundwater

in the rural areas of Plottier and Senillosa, North Patagonia, Argentina

Sánchez, Victoria Guadalupe^{1*}; Gutiérrez, César Argentino²; Gomez, Diego Sebastian^{1,3}; Loewy, Miriam¹; Guiñazú, Natalia^{1,3}

¹LIBIQUIMA, Depto. de Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400, Neuquén (8300), Argentina. ²INTA, AER Centenario, Neuquén, Argentina. ³Depto. de Ciencias del Ambiente, Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400, Neuquén (8300), Argentina.

*vickyzsanchez@gmail.com

Recibido: 14 de septiembre de 2015

Aceptado: 17 de febrero de 2016

Resumen. Plottier y Senillosa son dos localidades contiguas que forman parte del área de producción agrícola del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Patagonia Norte. Entre los plaguicidas más utilizados predominan las familias de neonicotinoides, carbamatos y organofosforados. El conocimiento de los niveles de estos compuestos en aguas superficiales y subterráneas se ha convertido en un tema de interés social debido a su posible impacto en el ambiente y la salud. El objetivo del presente trabajo fue determinar niveles de residuos de plaguicidas en agua subterránea utilizada para bebida en zonas rurales de Plottier y Senillosa. Se analizaron carbamatos: propoxur, carbofuran, pirimicarb, carbaril y organofosforados: clorpirifos, dimetoato, metidation, fenaminfos, triazofos, fosmet y metil azinfos, por cromatografía gaseosa (GC), en seis sitios de muestreo, durante la época de aplicación y no aplicación de insecticidas. No se detectaron residuos de los plaguicidas estudiados por el método analítico utilizado. El límite de detección fue 0,010 µg/L para organofosforados y 0,030 µg/L para carbamatos. Estos resultados indican que las buenas prácticas agrícolas aplicadas en la zona así como las características fisicoquímicas del suelo, su espesor y el contenido de materia orgánica y las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas estudiados son factores que contribuyen favorablemente a la calidad del agua de bebida de la población rural.

Palabras claves: Plaguicidas; Organofosforados; Agua subterránea; Patagonia Norte.

Abstract. Plottier and Senillosa are two adjoining towns that belong to the agricultural production area of Upper Valley, Río Negro and Neuquén, North Patagonia. Among the most widely used pesticides, neonicotinoids, carbamates and organophosphates are predominant. The levels of these compounds in surface and groundwater have become a topic of public concern, since the possible impact on health and environment. The aim of this study was the determination of pesticide residue levels in drinking groundwater in the rural areas of Plottier and Senillosa. Carbamates: propoxur, carbofuran, pirimicarb, carbaryl and organophosphate: chlorpyrifos, dimethoate, methidathion, fenaminfos, triazophos, phosmet, azinphos methyl, were analyzed by GC in six sampling sites during insecticide application and non-application season. No pesticide residues were detected by the analytical method used. The detection limit for organophosphates was 0.010 µg/L and 0.030 µg/L for carbamates. These results indicate that good agricultural practices, the physicochemical characteristics of the soil, its thickness, the content of organic matter and the physicochemical properties of pesticides studied are factors that positively contribute to the drinking water quality in the rural population.

Keywords: Pesticides; Organophosphates; Groundwater; North Patagonia.

Introducción

En Argentina, la mayor producción de frutas de pepita (manzanas y peras) se ubica en Patagonia Norte con el 78 % de la producción total, registrándose la mayor concentración de frutales en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, lo cual tiene un peso gravitante en las economías de estas provincias y en las

exportaciones del sector agrícola argentino. La plaga principal de los frutales de manzana y pera es el lepidóptero *Cydia pomonella* (carpocapsa) (Rossini y col. 2015). El control de la carpocapsa, así como el de otras plagas de la región que afectan a hortalizas, tales como la araña roja, el pulgón, el trips,

entre otros, requieren la implementación de prácticas agrícolas que incluyen el uso de un gran volumen de plaguicidas (Cichón y col. 2015). Si bien la utilización de plaguicidas representa un beneficio directo al productor, al garantizar un mayor rendimiento y calidad, la liberación de plaguicidas también entraña riesgos de toxicidad en el ambiente y la salud humana (González y col. 2010; Fantke y col. 2011; Ondarza y col. 2014). Ha sido demostrado que la población rural residente en lugares de aplicación intensiva de plaguicidas se encuentra expuesta a estas sustancias (Bulgaroni y col. 2013).

Entre las familias de insecticidas más utilizadas en esta región para el control de la carpocapsa, predominan los neonicotinoides (ej. tiacloprid, acetamiprid), carbamatos (ej. carbofuran, pirimicarb) y algunos organofosforados (OFs) (ej. clorpirifos, metidation y metil azinfos) (Cichón y col. 2013). El insecticida más empleado en las actividades agrícolas de la República Argentina es el principio activo clorpirifos que pertenece a la familia de los organofosforados (Kleffmann & Partner SRL 2012). El blanco de acción primario de clorpirifos es la enzima acetilcolinesterasa (AChE). Esta enzima es inactivada por plaguicidas organofosforados y carbamatos, dando como resultado la acumulación del neurotransmisor acetilcolina en las sinapsis y uniones neuromusculares. Como consecuencia se producen contracciones rápidas de los músculos voluntarios e involuntarios, conduciendo a parálisis y hasta la muerte, en el caso de exposición a elevados niveles de estas sustancias (Cotton y col. 2015).

Los plaguicidas son xenobióticos liberados intencionalmente al ambiente en grandes cantidades para el control de plagas (Tosi y col. 2009). Atendiendo a su movilidad, una vez que son aplicados pueden contaminar el aire, el suelo y el agua. El agua es una vía muy importante a través de la cual se extienden por el ambiente, pudiendo ser desplazados horizontalmente, por escorrentía superficial, o verticalmente a través de la zona no saturada por lixiviación, alcanzando de este modo el agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el plaguicida puede quedar adsorbido, y/o sufrir transformaciones químicas o microbianas, así como degradación, proceso que reduce o elimina la presencia de dichos compuestos en el ambiente (Pitarch Arquimbau 2001). La contaminación de las aguas superficia-

les y subterráneas, producto de la actividad agrícola es una problemática que afecta a la salud pública y ambiental, siendo motivo de preocupación en todo el mundo (Chau y col. 2015). En este sentido el riesgo que implica la exposición a xenobióticos es un tema en tratamiento en el Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de los Productos Químicos como se indica en su informe de 2012 (Organización Mundial de la Salud (OMS) / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2013). La preocupación de estos organismos genera la necesidad de monitorear la calidad de las fuentes de agua de bebida, aplicando metodologías analíticas capaces de determinar plaguicidas a niveles trazas con un nivel de fiabilidad aceptable (Martínez Vidal y col. 2004).

Plottier y Senillosa son dos localidades contiguas que se encuentran próximas a la Capital Neuquina y están asentadas sobre la margen norte del río Limay en el departamento Confluencia (*Figura 1*) (Gutiérrez 2009). Senillosa posee una población estimada de 8500 habitantes, mientras que en Plottier viven aproximadamente 35000 personas (Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010). Si bien originalmente ambas localidades se estructuraron en torno al modelo frutihortícola desarrollado en el oasis irrigado del Río Limay, con el tiempo fueron perdiendo estas características. La creciente urbanización, estimulada por los gobiernos locales y provinciales, reconfiguró los espacios rurales y favoreció la expansión de proyectos inmobiliarios residenciales en grandes extensiones suburbanas ganadas a las áreas productivas. La extensión de la urbanización avanza sobre zonas agrícolas ubicadas en el ejido de Plottier mayoritariamente y en menor grado en Senillosa. En general, no ha existido una política clara de planificación, tanto en lo que se refiere a la expansión urbana, como al uso del suelo. Con lo cual uno de los conflictos que se plantea es la competencia entre el uso urbano y las áreas agrícolas (Plan de Ejecución Metropolitano Neuquén 2013). Todo lo cual conlleva a una convivencia entre la vida urbana y rural con los riesgos que esto implica (Rovedatti y col. 2006, Gunier y col. 2013, FAO 2015). Dado que en estas localidades se continúa utilizando agua proveniente de perforaciones para consumo humano y que aún poseen zonas de intensa actividad agrícola, el conocimiento de los niveles de plaguici-

das presentes en aguas subterráneas cobra relevancia.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la presencia de residuos de plaguicidas, organofosforados y carbamatos, en aguas subterráneas utilizadas como fuente de agua de bebida en zonas rurales ubicadas en las localidades de Plottier y Senillosa.

Materiales y métodos

Los análisis de residuos de insecticidas incluyeron los compuestos más tóxicos incorporados en el cronograma de aplicación recomendado por INTA Alto Valle para la producción de frutales de pepita de uso permitido (Cichón y col 2015). Como así también, otros plaguicidas de uso actualmente prohibido como metil azinfos y carbofuran (Resolución SAGyP 10/91) que podrían provenir de la utilización clandestina. Se analizó la presencia de los siguientes principios activos; de la familia de los carbamatos: propoxur, carbofuran, pirimicarb, carbaril y de la familia de los organofosforados: clorpirifos, dimetoato, metidation, fenaminfos, triazofos, fosmet y metil azinfos. Además, se determinaron *in situ* el pH y la conductividad eléctrica del agua con un equipo multimétrico de campo (Lutron, YK-2001PH).

Todos los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Cromatografía del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Químicas y Medio Ambientales (LIBIQUIMA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.

Toma de muestra

Las muestras de agua (1L) se obtuvieron por bombeo de perforaciones de entre 6 y 8 metros de profundidad, pre-existentes en los sitios muestreados. El agua se dejó correr por 2-3 minutos, se recogió en botellas de vidrio color caramelo y se almacenó a 4 °C para su transporte. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron procesadas dentro de las 48 horas a fin de evitar la degradación de los plaguicidas.

Extracción en fase sólida y análisis cromatográfico

Las muestras de agua (volumen: 1L) se retiraron de la heladera para que alcancen temperatura ambiente y se procedió a filtrarlas para eliminar la arena y partículas en suspensión. La filtración se llevó a cabo con un equipo Milli-

pore de filtración con vacío, de acero inoxidable. Los filtros utilizados fueron de fibra de vidrio sin ligante (Millipore AP, 47 mm). Se realizó la extracción en fase sólida de las muestras filtradas utilizando columnas C18 (Strata X 33 Phenomenex, 200 mg/6 mL), conduciendo las muestras a través del cartucho a una velocidad de flujo de 5 mL/ minuto con una bomba peristáltica multivía. Los cartuchos, fueron acondicionados previamente con 6 ml de metanol seguidos de 6 mL agua, calidad HPLC. Una vez concluido el paso de las muestras, los cartuchos se secaron al vacío en el Vacuum Manifold (20 mmHg) por 10 minutos y posteriormente con corriente de nitrógeno. Los plaguicidas se eluyeron con 2 mL de hexano seguido por 4 ml de diclorometano. Estos extractos se secaron bajo corriente de N₂ y finalmente se resuspendieron en 250 µL de hexano (método EPA 3535^a modificado). Se adicionaron a las muestras 25 µL de estándar interno (Sulfotep 1,085 mg/L) y se analizaron por cromatografía gaseosa utilizando un GC, Agilent 6890 equipado con detector de nitrógeno-fósforo (NPD), columna capilar HP5 (30 m x 0,250 mm x 0,25 µm), gas portador: N₂, Volumen de inyección: 2 µL. El límite de detección (LD) y de cuantificación (LC) fue de 0,020 y 0,060 µg/L respectivamente, para plaguicidas organofosforados en general. En el caso de clorpirifos LD: 0,014 – LC: 0,050 µg/L y para metidation: LD: 0,010 – LC: 0,030 µg/L. En el caso de carbamatos LD: 0,030 – LC: 0,110 µg/L.

Las cuantificaciones se realizaron por el método de standard interno. Los standards de plaguicidas utilizados fueron Chemservice (pureza > 99 %). Las soluciones de trabajo se prepararon por dilución secuencial a partir de las soluciones stock preparadas en concentraciones de 200 mg/L. Los solventes utilizados fueron marca UVE, calidad plaguicida.

Control de calidad analítico

Con cada set de muestras se analizó un blanco de reactivos. El método utilizado fue validado previamente con resultados de recuperación entre el 80 y el 115 %. Los coeficientes de variación fueron menores al 15 %. No se observó efecto matriz y la linealidad se evaluó en base al coeficiente de determinación obtenido en el rango de trabajo (R²>0,99).

Cronograma y sitios de muestreo

El área de muestreo se caracteriza por estar rodeado de zonas áridas y posee un clima

templado con baja humedad, precipitaciones inferiores a los 250 mm/año, alta heliofanía y fuertes vientos coincidentes con la aplicación de plaguicidas.

Se colectaron dos muestras de agua de cada pozo en 6 chacras actualmente en producción, ubicadas a ambos márgenes de la Ruta Nacional N° 22 (Figura 1, sistema de georreferenciamiento POSGAR'94). Las coordenadas de los puntos de muestreo se tomaron con un equipo Garmin GPS 76 y se muestran en la Tabla 1. Las chacras estudiadas poseen superficies de entre 2 y 15 hectáreas y las más antiguas se encuentran en producción desde el año 1990, siendo la más reciente del año 2004. La producción es variada e incluye fruta de pepita (manzana y pera), frutos finos

(cereza, frambuesa y frutilla) y hortalizas (tomate, zapallo, maíz, verduras de hoja, papa y cebolla). El plaguicida más utilizado, según información recabada entre los productores, resultó ser clorpirifos en distintas denominaciones comerciales.

Las muestras se colectaron durante dos eventos de muestreo en el año 2014, el primero previo a la aplicación de plaguicidas (muestras correspondientes al control temporal) en septiembre y otro posterior al período de aplicación de plaguicidas los organofosforados y carbamatos en diciembre. Si bien el cronograma de aplicación en la fruticultura continúa hasta febrero los agroquímicos que se emplean a partir de diciembre son de otras familias químicas de menor toxicidad y menor tiempo de carencia.

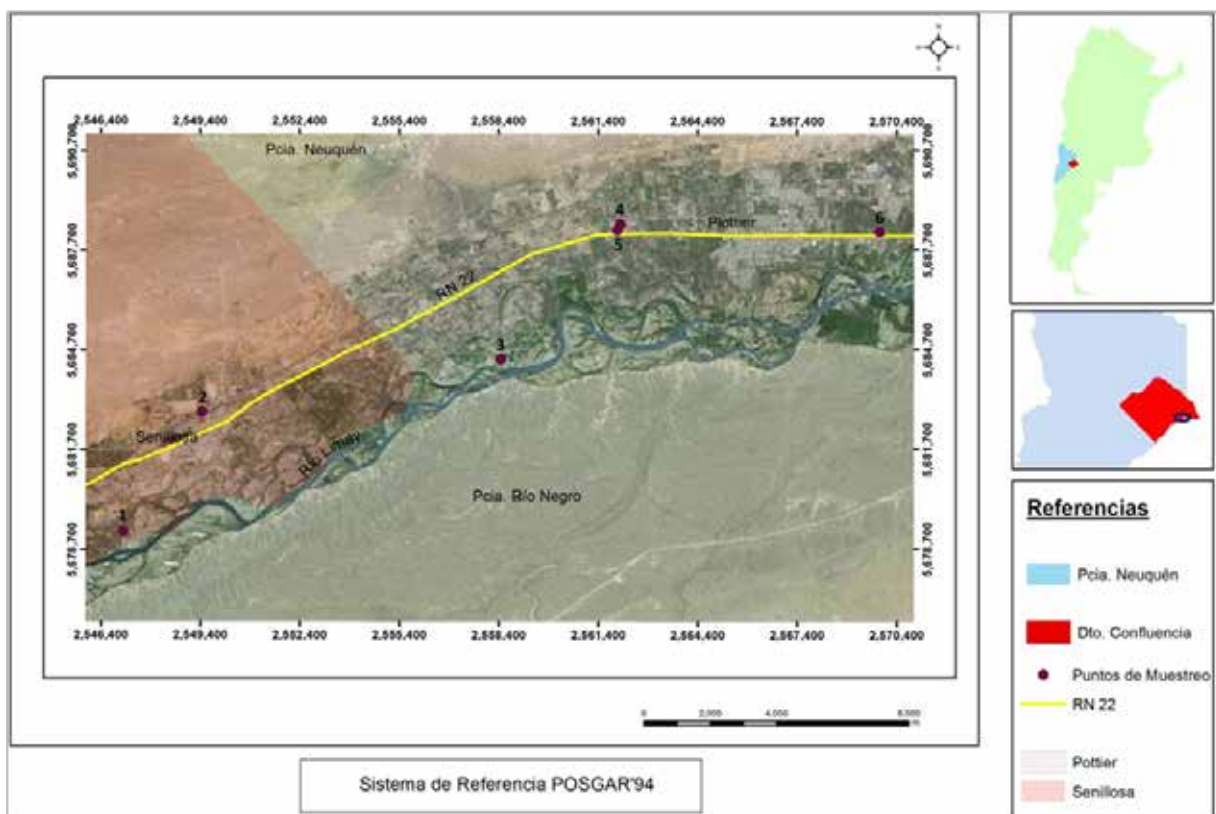


Figura 1. Sitios de muestreo georreferenciados (ArcGIS 10).

Análisis estadístico

Se realizó una Prueba *t* para comparar muestras de baja y de alta conductividad. Se utilizó la prueba correspondiente a varianzas desiguales, luego de haber comprobado a través de una prueba *F* la desigualdad de varianzas (Microsoft Excel 2007).

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran las coordenadas de los puntos muestreados, los valores de pH y conductividad eléctrica determinados en las muestras de agua. Puede observarse que los valores de pH son levemente ácidos en todos los casos. La conductividad eléctrica

ca es variable, destacándose valores altos en los pozos 2 y 5, lo cual podría estar indicando diferencias en la profundidad de los po-

zos, o en el origen de la recarga. Se observó una mayor conductividad en los pozos 2 y 5 ($p < 0,01$).

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo, valores de pH y conductividad eléctrica de las muestras de agua analizadas.

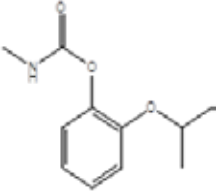
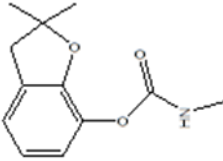
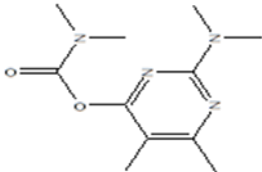
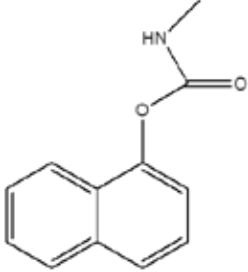
Coordenadas de los puntos de muestreo		Septiembre 2014			Diciembre 2014	
		Profundidad del pozo (m)	pH	Conductividad (mS)	pH	Conductividad (mS)
1	S 39° 02' 11.8" W 68° 27' 22.9"	7	6,58	0,28	6,87	0,36
2	S 39° 00' 15" W 68° 25' 44.7"	6	6,55	0,87	7,10	0,77
3	S 38° 59' 21.8" W 68° 19' 31.0"	8	6,39	0,18	6,84	0,17
4	S 38° 57' 09.3" W 68° 17' 02.3"	8	6,42	0,28	6,79	0,33
5	S 38° 57' 15.2" W 68° 17' 06.1"	6	6,67	0,59	6,73	0,64
6	S 38° 57' 14.8" W 68° 11' 37.3"	7	6,32	0,22	6,83	0,26

En las *Tablas 2 y 3*, se muestra la clasificación de los principios activos estudiados según su toxicidad aguda (OMS). Todos ellos, se encuentran incluidos en el grupo de moderadamente peligrosos (II) y altamente peligrosos (Ib); debido a que son sustancias neurotóxicas, disruptores endócrinos y/o que pueden generar problemas de desarrollo en el sistema reproductivo. Además, en estas tablas, se indican los valores de referencia correspondientes a los plaguicidas carbamatos y organofosforados estudiados, cuya presencia en el agua de consumo puede afectar a la salud según lo establecido por OMS y por la CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment).

Otro parámetro incluido en las *tablas 2 y 3*, es el índice GUS (*groundwater ubiquity score*). Por su capacidad de movilidad en el suelo, los plaguicidas se clasifican en lixiviables $GUS > 2,8$; de transición $GUS 1,8 - 2,8$ y no

lixiviable $GUS < 1,8$ (Gustafson 1989). Como se puede ver en la *Tabla 2*, dentro del grupo de los carbamatos, sólo propoxur posee un elevado índice de lixiviación, manteniéndose tanto el carbofurano, el pirimicarb y el carbaril en valores intermedios. Por otra parte, todos los OFs estudiados poseen índices de lixiviación bajos a excepción de triazofos que posee un valor intermedio (*Tabla 3*). El parámetro GUS, es un indicador basado en las propiedades fisicoquímicas de la sustancia (vida media y Koc) y no tiene en cuenta las condiciones locales del ambiente, la tasa de aplicación de campo, el momento de aplicación o formulación y el tipo de riego aplicado. A pesar de estas desventajas y en concordancia con GUS, nuestros resultados no muestran niveles detectables de los principios analizados, inclusive clorpirifos a pesar de que fue el principio activo más aplicado, según auto reporte. En nuestro estudio no se

Tabla 2. Estructura y propiedades de carbamatos. Residuos en aguas subterráneas utilizadas para consumo doméstico.

Estructura química	Propiedades	Valor de ref. (µg/L)	Septiembre 2014	Diciembre 2014	LD ^b del analito (µg/L)
	Propoxur C ₁₁ H ₁₅ NO ₃ MM ^c : 209,25 GUS ^d : 3,73 Toxicidad ^e : II	^a no es probable su presencia en agua de consumo	ND ^f	ND	0,030
	Carbofurano C ₁₂ H ₁₅ NO ₃ MM: 221,26 GUS: 2,28 Toxicidad: Ib	7 ^a	ND	ND	0,030
	Pirimicarb C ₁₁ H ₁₈ N ₄ O ₂ MM: 238,29 GUS: 2,73 Toxicidad: II	---	ND	ND	0,030
	Carbaril C ₁₂ H ₁₁ NO ₂ MM: 201,22 GUS: 2,02 Toxicidad: II	90 ^g	ND	ND	0,030

^aValores de referencia en agua potable OMS: Guías para la Calidad del Agua Potable – 3ra edición, 2008.

^bLímite de detección (LD).

^cMasa molecular (g. mol⁻¹).

^{d-e}GUS potencial de lixiviación/OMS toxicidad aguda: Pesticide Properties Database (PPDB)-IUPAC.

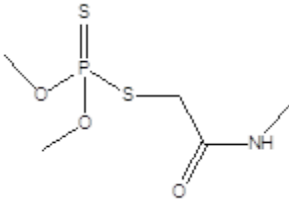
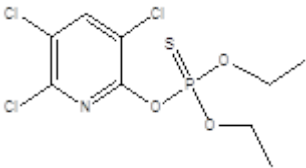
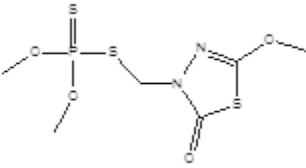
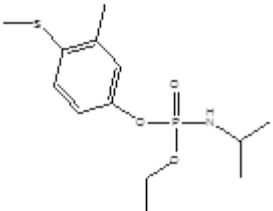
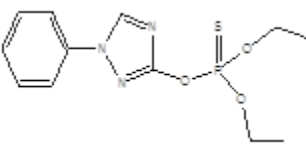
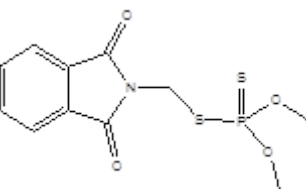
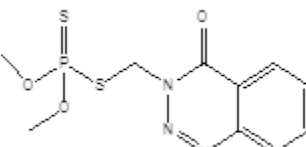
^fNo detectado (ND).

^gCCME: Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 2010.

detectaron residuos de plaguicidas. Estos resultados pueden deberse a varios factores. Las características fisicoquímicas del suelo es uno de los más determinantes, ya que es en este medio donde se reduce significativamente la movilidad de los plaguicidas (debido al fenómeno de adsorción), disminuyendo su llegada a las aguas subterráneas (Gonzalez y col. 2010). Otro factor a considerar son las características fisicoquímicas de los plaguicidas investigados, ya que se trata en general de compuestos no iónicos con baja solubilidad

en agua, alta capacidad de adsorción (valores elevados de K_{oc}) y bajos valores de potencial de lixiviación. En un estudio realizado en el laboratorio por Loewy y col. (1999) con suelos de la región del Alto Valle y formulados de metil azinfos se demostró que la mayor parte del plaguicida queda retenida en el suelo. Sin embargo, en otro reporte se indicó la presencia de metil azinfos en aguas subterráneas poco profundas en estudios a campo (Loewy y col. 2011), lo que evidencia que no pueden desestimarse otras condicio-

Tabla 3. Estructura y propiedades de organofosforados. Residuos en aguas subterráneas utilizadas para consumo doméstico.

Estructura química	Propiedades	Valor de ref ^a . (µg/L)	Septiembre 2014	Diciembre 2014	LD ^b del analito (µg/L)
	Dimetoato C ₅ H ₁₂ NO ₃ PS ₂ MM ^c : 229,26 GUS ^d : 1,06 Toxicidad ^e : II	6	ND ^f	ND	0,020
	Clorpirifos C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS MM: 350,89 GUS: 0,17 Toxicidad: II	30	ND	ND	0,014
	Metidation C ₆ H ₁₁ N ₂ O ₄ PS ₃ MM: 302,33 GUS: 1,40 Toxicidad: Ib	---	ND	ND	0,010
	Fenamifos C ₁₃ H ₂₂ NO ₃ PS MM: 303,4 GUS: -0,11 Toxicidad: Ib	---	ND	ND	0,020
	Triazofos C ₁₂ H ₁₆ N ₃ O ₃ PS MM: 302,33 GUS: 2,38 Toxicidad: Ib	---	ND	ND	0,020
	Fosmet C ₁₁ H ₁₂ NO ₄ PS ₂ MM: 317,323 GUS: 0,24 Toxicidad: II	---	ND	ND	0,020
	Metil azinfos C ₁₀ H ₁₂ N ₃ O ₃ PS ₂ MM: 317,33 GUS: 0,24 Toxicidad: Ib	---	ND	ND	0,020

^a Valores de referencia en agua potable OMS: Guías para la Calidad del Agua Potable – 3ra edición, 2008.

^b Límite de detección (LD).

^c Masa molecular (g. mol⁻¹).

^{d-e} GUS potencial de lixiviación/OMS toxicidad aguda: Pesticide Properties Database (PPDB)-IUPAC

^f No detectado (ND).

nes del ambiente que pueden facilitar la infiltración de plaguicidas. Asimismo, el espesor de suelo que separa la aplicación superficial del compartimento muestreado (profundidad del pozo) influye en la retención del plaguicida. En el presente estudio, los pozos poseían una profundidad suficiente para limitar la presencia del plaguicida en el agua de consumo. Por otra parte, las buenas prácticas agrícolas aplicadas por los productores estarían contribuyendo a mantener la calidad del agua subterránea.

En contraste a los resultados encontrados en este trabajo, la autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro, en conjunto con otras autoridades provinciales, en un monitoreo de agroquímicos realizado durante el periodo 2005 en las áreas bajo riego de los ríos Neuquén y Limay, mostró la presencia esporádica de plaguicidas de uso agrícola (a nivel de trazas) de los compuestos más utilizados en el control fitosanitario en la región (dimetoato, metil azinfos y carbaril), mientras que en los desagües se detectó principalmente la presencia de metil azinfos y carbaril. Por otra parte, Loewy y col. (2011) evidenciaron que a pesar de su baja solubilidad en agua y su alta capacidad para adsorberse al suelo, residuos de clorpirifos y otros OFs se encuentran presentes en aguas superficiales (canales de drenaje) con una frecuencia de detección elevada, del orden del 70 % durante el período de aplicación y con una concentración máxima encontrada de 1,16 µg/L (3,3 nM). Es importante mencionar que el agua de los drenajes está comunicada con el agua subterránea poco profunda, cuyo destino final es el río o agua subterránea más profunda, ambas fuentes destinadas a consumo humano. En este sentido, Loewy y col. (1999) también determinaron en otra zona rural de Neuquén, que metil azinfos era el plaguicida más detectado en muestras de agua subterránea con un 63,7 %, seguido por dime-toato y metidación 17,08 y 17,79 %, respectivamente. Sumado a esto, un estudio realizado durante el periodo 2003-2004 en la zona rural de Campo Grande y Cinco Saltos, Alto Valle, Provincia de Río Negro, demostró que en la mayoría de los sitios muestreados había presencia de insecticidas organofosforados en agua de consumo provenientes de perforaciones tales como metil azinfos en un rango de detecciones que van de concentraciones trazas hasta 0,99 µg/L (Santagni y col. 2007).

Finalmente, Martínez Vidal y col. (2004) en la región de Almería, España, determinaron la presencia de endosulfan α (0,25 µg/L), endosulfan sulfato (0,04 µg/L) y clorpirifos (0,08 µg/L) en muestras procedentes de aguas subterráneas de entre 8 y 12 metros de profundidad. Mientras que Chau y col. 2015, en un estudio realizado en el Delta del Río Mekong en Vietnam demostraron que todas las fuentes de agua que investigaron: agua de lluvia, pozos de agua subterránea y agua embotellada, estaban contaminadas con plaguicidas. Estos resultados reafirman la importancia de los factores del entorno, las prácticas agrícolas, y la composición del suelo en la dinámica de los plaguicidas y su determinación en diferentes matrices ambientales.

En el presente relevamiento se comprobó que en las fuentes de agua subterránea de bebida muestreadas los plaguicidas de uso agrícola estudiados, no fueron detectados. Este resultado puede considerarse indicativo de que las buenas prácticas agrícolas aplicadas, no afectan la calidad del agua de bebida de la población rural y de la de las zonas urbanas inmersas en dicha área. Desde el punto de vista de la presencia de plaguicidas, estas aguas no implicarían un riesgo para la salud humana y ambiental. No obstante, se recomienda el muestreo periódico bajo las circunstancias más desfavorables con el fin de monitorear el mantenimiento de la situación actual. Además sería importante realizar estudios que incluyan otras matrices, que permitan evaluar de manera conjunta los posibles riesgos en materia de ambiente y salud.

Agradecimientos: A la Agencia Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PICT 2012 N°1718) y a la Universidad Nacional del Comahue (04-N021) por el financiamiento. Se agradece al CONICET por las becas recibidas y la colaboración de M. Indaco, L. Latini y B. Aguiar en la cuantificación de las muestras analizadas en este trabajo.

Bibliografía citada

Bulgaroni V., Lombardo P., Rivero-Osimani V., Vera B., Dulgerian L., Cerbán F., Rivero V., Magnarelli G., Guiñazú N. Environmental pesticide exposure modulates cytokines, arginase and ornithine decarboxylase expression in human placenta. *Reprod Toxicol.* 2013;39:23-32.

Censo Nacional de población, hogares y vivienda. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) [en línea]. 2010 [actualizado

2014; consulta 09 de septiembre de 2015]. Disponible en: www.indec.gov.ar

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). [en línea]. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. 2010 [actualizado el 05 de junio de 2015; consulta el 08 de diciembre de 2015]. Disponible en: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/index-eng.php

Cichón L., Araque L., Garrido S.A. Residuos y tolerancias de insecticidas para el control de plagas de frutales de pepita. Instituto Nacional de tecnología agropecuaria [en línea]. 2012-2013 [actualizado 2015, consulta 08 de noviembre de 2015]. Disponible en: http://www.cafi.org.ar/wp-content/uploads/2014/09/INTA_Residuos-y-tolerancias-de-insecticidas.pdf

Cichón L., Garrido S.A., Araque L. Residuos y tolerancias de insecticidas para el control de plagas de frutales de pepita. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria. INTA [en línea]. 2015 [actualizado 2015; consulta 27 de noviembre de 2015]. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_residuos-y-tolerancias-de-insecticidas_actualizacion-2015_0.pdf

Chau N.D.G., Sebesvari Z., Amelung W., Renaud F.G. Pesticide pollution of multiple drinking water sources in the Mekong Delta, Vietnam: evidence from two provinces. *Environ Sci Pollut Res.* 2015; 22(12):9042-58.

Cotton A., Lewandowski P., Brumby S. Cholinesterase Research Outreach Project (CROP): measuring cholinesterase activity and pesticide use in an agricultural community. *BMC Public Health.* 2015;15:748.

Fantke P., Charles R., De Alencastro L. F., Friedrich R., Jolliet O. Plant uptake of pesticides and human health: Dynamic modeling of residues in wheat and ingestion intake. *Chemosphere.* 2011;85:1639-1647.

FAO Proyecto UTF ARG 017. Desarrollo institucional para la inversión. Aspectos ambientales de la Provincia del Neuquén. [en línea]. Documento de trabajo N° 9. 2015 [actualizado en marzo de 2015; consulta 03 de diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.fao.org/>

[fao.org/ fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/neuquen/DT_09_Aspectos_Ambientales.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/neuquen/DT_09_Aspectos_Ambientales.pdf).

González M., Miglioranza K.S.B., Aizpún J.E., Isla F.I. Peña A. Assessing pesticide leaching and desorption in soils with different agricultural activities from Argentina (Pampa and Patagonia). *Chemosphere.* 2010;81(3):351-8.

Gunier R.B., Bradman A., Jerrett M., Smith D.R., Harley K.G., Austin C., Vedar M., Arora M., Eskenazi B. Determinants of manganese in prenatal dentin of shed teeth from CHAMACOS children living in an agricultural community. *Environ Sci Technol.* 2013;47(19):11249-5.

Gustafson D.I. Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environ Toxicol Chem.* 1989;8:339-357.

Gutiérrez C. Desarrollo entre todos y para todos. *Fruticultura & Diversificación* [en línea]. 2009;60:32-39 [actualizado 2009; consulta 28 de noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210557.pdf>

Kleffmann & Partner SRL. Mercado Argentino de Productos Fitosanitarios. [en línea]. 2012 [actualizado 2012; consulta 28 de noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www.casafe.org/publicaciones/estadisticas/>

Loewy R.M., Kirs V., Caravajal G., Venturino A., Pechen de D'Angelo A. M. Groundwater contamination by azinphos methyl in the Northern Patagonic region (Argentina). *Science-Total Environ.* 1999;225:211-218.

Loewy R.M., Monza L.B., Kirs V.E., Savini M.C. Pesticide distribution in an agricultural environment in Argentina. *J Environ Sci Health B.* 2011;46(8):662-670.

Martínez Vidal J. L., González-Rodríguez M. J., Belmonte Vega A., Garrido Frenich A. Estudio de la contaminación por pesticidas en aguas ambientales de la provincia de Almería. *Ecosistemas* 2004;13(3):30-38.

Monitoreo de agroquímicos en áreas bajo riego de los ríos Limay, Neuquén y Negro. [en línea]. 2005 [actualizado 2005; consulta 09 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://www.fao.org/>

www.ecopuerto.com/bicentenario/informes/MONITOREOAGROQUIMICOS.pdf

Ondarza P.M., Gonzalez M., Fillmann G., Miglioranza K.S. PBDEs, PCBs and organochlorine pesticides distribution in edible fish from Negro River basin, Argentinean Patagonia. *Chemosphere*. 2014;94:135-142.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable. Tercera edición. [en línea]. 2008 [actualizado 2016; consulta 09 de septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/

Pesticide Properties Database [en línea]. 2015 [actualizado 02 de septiembre de 2015; consulta 09 de septiembre de 2015]. Disponible en: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz.htm>

Pitarch Arquimbau, E. Desarrollo de metodología analítica para la determinación de plaguicidas organofosforados y organoclorados en muestras biológicas humanas. Tesis Doctoral. [Disertación]. [en línea]. Universidad Jaume I de Castellón- España 2001 [actualizado 2001; consulta 09 de septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10403/pitarch.pdf?sequence=1>

Plan de Ejecución Metropolitano PEM NEUQUEN. Programa de desarrollo de áreas metropolitanas del interior DAMI. 2013 BID

2499/OC-AR [actualizado 2013; consulta 09 de septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.dami.uec.gov.ar/wpcontent/uploads/2014/07/dami.uec.gov.ar_plandeejecucionmetropolitananeuquen.pdf

Rossini M.N., Agostini J.P., Dummel D.M. Plagas cuarentenarias de frutales de la República Argentina. Avances en los resultados. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [en línea]. Primera edición 2015 [actualizado 2015; consulta septiembre 2015]. Disponible en: http://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_plagas-cuarentenarias-de-frutales-de-la-republica-argentina.pdf

Rovedatti M.G., Trapassi J., Vela L., López A., Santa Cruz S., Magnarelli G. Prevención en salud ambiental para poblaciones expuestas a plaguicidas: entrevistas en comunidades rurales y taller educativo para agentes multiplicadores. *Acta Toxicol. Argent.* 2006;14(1):2-7.

Santagni A., Loewy R.M., Montagna M.C. Contaminación con plaguicidas del agua subterránea para consumo humano en Campo Grande y Cinco Saltos, Río Negro, Argentina. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 2007;92:54-61.

Tosi A.P., Pechen de D'Angelo A.M., Savini, M.C., Loewy R.M. Evaluación de riesgo por plaguicidas sobre aguas superficiales de la región Norpatagónica Argentina. *Acta Toxicol. Argent.* 2009;17(1):1-6.