



Ingeniera forestal y especialista en gestión y estudios ambientales. Investigadora y docente en la Universidad Nacional (virya.bravo.duran@una.cr).



Bióloga especialista en ecotoxicología. Investigadora y docente en la Universidad Nacional (elbamd@gmail.com).



Ingeniero agrónomo y especialista en gestión y estudios ambientales. Investigador en la Universidad Nacional (gustavohledezma@hotmail.com).



Geógrafa y especialista en administración pública. Investigadora en la Universidad Nacional (geannina.moraga.lopez@una.cr).



Ingeniero agrónomo. Investigador en la Universidad Nacional (fernando.ramirez.munoz@una.cr).

Uso de plaguicidas en cultivos de caña de azúcar en Guanacaste, impacto ambiental y salud humana

Virya Bravo, Elba de la Cruz, Gustavo Herrera, Geannina Moraga y Fernando Ramírez



La cantidad de plaguicidas importados por Costa Rica pasó de 8.400 toneladas en el año 2000 a 13.300 toneladas en el 2012. Este crecimiento, de 58 %, está relacionado con que el área agrícola aumentó un 10 % durante ese periodo (De la Cruz et al., 2014; Ramírez et al., 2014). El área cultivada de caña de azúcar pasó de 47.200 ha, en el año 2000, a 57.600 ha en el 2012, lo que representó un crecimiento del 22 % (Sepsa, 2011; Sepsa 2014). Las principales zonas productoras de caña de azúcar en el país son: Pacífico Seco (Guanacaste), Pacífico Central (Puntarenas), Región Norte (San Carlos, Los Chiles), Valle Central Occidental (Grecia, Atenas, Poás, San Ramón, Alajuela), Valle Central Oriental (Turrialba, Juan Viñas) y Región Sur (Pérez Zeledón, Buenos Aires) (Laica, 2015). En Guanacaste está más del 50 % del área plantada de caña de azúcar en el país (Laica, 2013).

El Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (Iret) estimó que el área ocupada por caña de azúcar en Guanacaste asciende a 34.843 ha, de las que aproximadamente 16.243 ha están en la península de Nicoya



Volver al índice

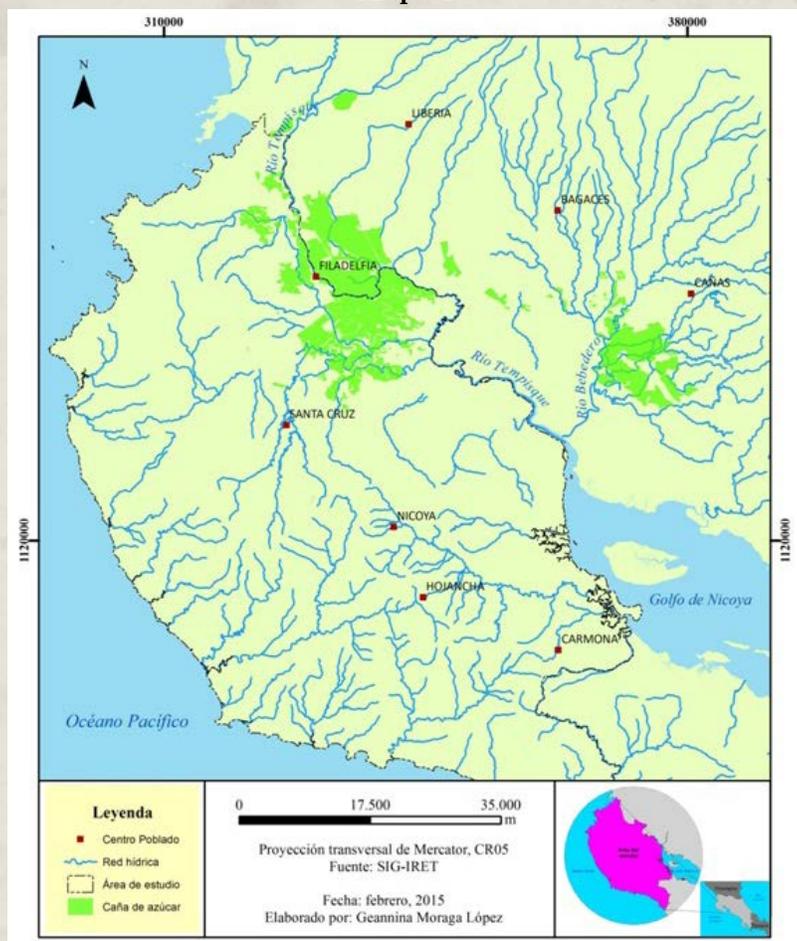
(descartando los distritos de Puntarenas). Estas estimaciones se basaron en la fotointerpretación y la digitalización de uso sobre el mosaico de ortofotos del Programa de Regularización de Catastro y Registro de 2005, mediante servicio WMS y con el soporte del software ArcMap10® de ESRI. La verificación de las áreas se realizó mediante la comparación con el mapa de Laica del periodo 2012-2013. El resultado de este procedimiento es el mapa 1, en el que se observa una concentración de áreas cultivadas con caña de azúcar principalmente en dos zonas, la más importante ubicada a ambos márgenes del río Tempisque y la otra en el margen derecho del río Bebedero. Estas áreas corresponden a planicies aluviales de origen fluvial, compuestas por fracciones de rocas tanto de origen sedimentario como basáltico y silíceo (Madrigal y Rojas, 1980).

En el Iret se utiliza el diagnóstico de uso de plaguicidas para conocer el tipo de sustancias y las cantidades aplicadas en el manejo fitosanitario de los cultivos. Los diagnósticos son específicos para un espacio geográfico y un tiempo dado; no

representan la generalidad del país ni el tiempo durante el cual se ha cultivado el producto en el territorio. Por tanto, su uso es discrecional y depende del fin buscado por el usuario.

En un diagnóstico realizado por Iret en caña de azúcar en Bagaces, Cañas y Liberia, durante el año 2009 (<10 entrevistas, equivalentes a un muestreo del 36 % del área), se estimó el uso de plaguicidas en 10 kg ia/ha/año (Ramírez y Bravo, 2010). Otros diagnósticos realizados por Iret, en 2010, en la península de Nicoya

Mapa 1.



(60 entrevistas, equivalentes a un muestreo del 66 % del área) y los cantones colindantes con el Parque Nacional Palo Verde (PNPV) (49 entrevistas, equivalentes a un muestreo del 21 % del área), estimaron el uso de plaguicidas en 12,39 kg ia/ha/año y 11 kg ia/ha/año, respectivamente (Herrera y Bravo, 2010; Bravo et al., 2013). Las diferencias encontradas en estos diagnósticos obedecen, primero, a cambios estacionales en la ocurrencia de plagas, debidos principalmente al régimen de lluvias, que incide en la proliferación de malezas y ocasiona un mayor uso de herbicidas en las cercanías del PNPV; segundo, a una plaga de jogotos (*Phyllophaga spp*) en la península que condujo a un uso alto del nematicida terbufos y de otros insecticidas como el clorpirifos, y, tercero, a la plaga de ratas que parece ser un mayor problema cerca del PNPV que en la península. Al relacionar los datos de uso de plaguicidas con el área cultivada de caña de azúcar en Guanacaste, durante el 2010, se obtuvo una descarga ambiental correspondiente a 352 ton ia, que representaron en ese momento un 2,5 % de la cantidad de plaguicidas importados por el país.

En la península de Nicoya, los herbicidas (77,59 %) fueron la acción biocida

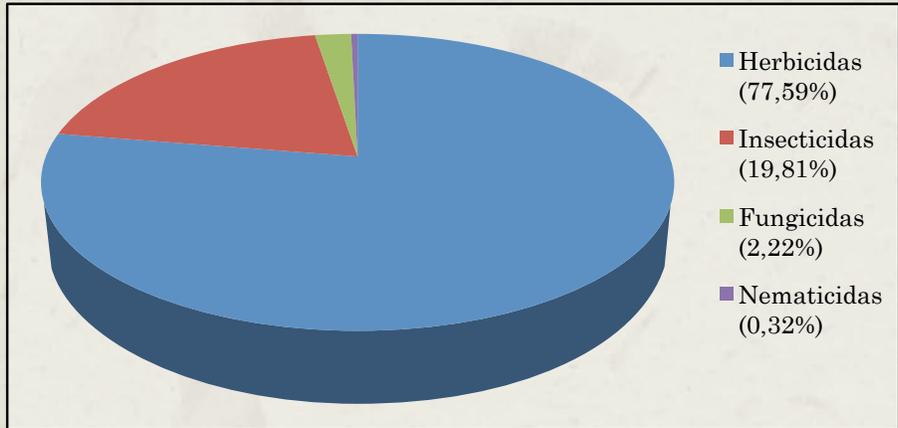


Figura 1. Cantidad porcentual de plaguicidas aplicados en caña de azúcar por acción biocida. Península de Nicoya.

más usada en el cultivo de la caña de azúcar, los insecticidas (19,81 %) se ubicaron como la segunda acción biocida debido a su aplicación para el combate del jogoto, y los fungicidas (2,22 %) fueron la tercera acción biocida, aunque solo se aplicaron en forma puntual. Los nematicidas (0,32 %) fueron la cuarta acción biocida por su uso excepcional en la siembra para prevención del jogoto, y los rodenticidas (0,06 %), a pesar de que se usaron muy frecuentemente, fueron la quinta acción biocida, debido a la baja composición porcentual del ingrediente activo en la formulación (figura 1) (Bravo et al., 2013; Bravo, 2012).

Por otro lado, en las cercanías del PNPV, los herbicidas (99,65 %) fueron la acción biocida más usada y, prácticamente, la única en este cultivo. El uso de insecticidas correspondió a 0,28 % y el de rodenticidas a 0,07 % (figura 2) (Herrera y Bravo, 2010).

Los plaguicidas usados en la península de Nicoya se clasificaron en 11 grupos químicos. Entre estos, las triazinas (48,93

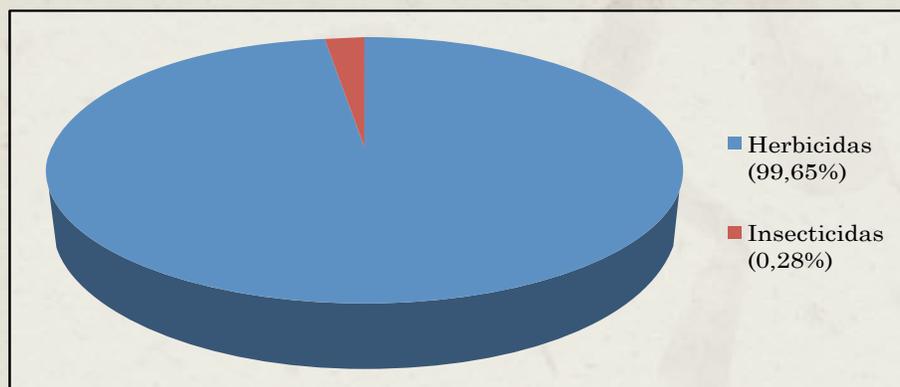


Figura 2. Cantidad porcentual de plaguicidas aplicada en caña de azúcar por acción biocida. Cercanías de Palo Verde.

%), los organofosforados (19,11 %) y los fenoxiacéticos (10,03 %) constituyeron el 78 % de la cantidad aplicada en el cultivo. Aunque los organofosforados no son regularmente usados, resulta sorprendente que en el año que se realizó la encuesta -2010- se utilizaron de manera excepcional y en altas dosis el terbufos y clorpirifos, principalmente (Bravo et al., 2013; Bravo, 2012). Lo anterior debido a una plaga de jogoto. Sin embargo, si se excluye de los cálculos las aplicaciones de estos productos, los grupos químicos más importantes serían, en primer lugar, las triazinas como la terbutrina, ametrina y hexazina; en segundo lugar, los fenoxiacéticos como el 2,4-D; en tercero, las dinitroanilidas, y, en cuarto, las ureas.



G. Moraga. Equipo de fumigación.

Además, el uso de plaguicidas por hectárea para el cultivo bajaría a 10,91 kg ia/ha/año. Este valor es similar al reportado para el mismo cultivo en los datos del 2009 (Ramírez y Bravo, 2010) y en el área cercana

al PNPV en 2010 (Herrera y Bravo, 2010).

Los plaguicidas usados cerca del PNPV se clasificaron en nueve grupos químicos y, al igual que en la península, las triazinas (59,16 %) fueron el grupo más utilizado; las anilidas (12,59 %), ureas (10,25 %) y fenoxiacéticos (9,93 %) se usaron en proporciones muy similares (Herrera y Bravo, 2010).

Los ingredientes activos aplicados en mayor cantidad en caña de azúcar en la península, durante 2010, fueron ametrina (3,51 kg ia/ha/año), terbutrina (2,29 kg ia/ha/año), clorpirifos (1,43 kg ia/ha/año), 2,4-D (1,24 kg ia/ha/año), pendimetalina (0,96 kg ia/ha/año) y diuron (0,91 kg ia/ha/año). Los herbicidas

representaron el 72 % de lo aplicado y, entre estos, la terbutrina y el 2,4-D fueron los preferidos por el 90 % de los agricultores (cuadro 1).

Los ingredientes activos aplicados en mayor cantidad cerca del PNPV, durante 2010, fueron terbutrina (2,87 kg ia/ha/año), ametrina (2,21 kg ia/ha/año),

Cuadro 1: Plaguicidas aplicados en cultivo de caña de azúcar. Península de Nicoya. 2010.

Acción biocida	Ingrediente activo	Cantidad	
		kg ia/ha	%
Herbicidas	ametrina	3,51	28,32
	terbutrina	2,29	18,53
	2,4-D	1,24	10,03
	pendimetalina	0,96	7,72
	diuron	0,91	7,35
	glifosato	0,28	2,29
	hexazinona	0,26	2,09
	isoxaflutole	0,15	1,21
	trifloxisulfuron	0,01	0,06
		Subtotal	9,61
Insecticidas	clorpirifos	1,43	11,57
	malation	0,69	5,56
	foxim	0,21	1,66
	cipermetrina	0,09	0,71
	permetrina	0,03	0,25
	deltametrina	0,01	0,06
		Subtotal	2,45
Fungicidas	folpet	0,27	2,22
		Subtotal	0,27
Nematicidas	terbufos	0,04	0,32
		Subtotal	0,04
Rodenticidas	coumatetralil	0,01	0,06
	brodifacouma	0,0001	0,00
	flocoumafen	0,0001	0,00
	difetialona	0,00003	0,00
		Subtotal	0,01
Total		12,39	100,00

*No incluye madurantes

Fuentes: Bravo et al., 2013; Bravo, 2012.

Cuadro 2: Plaguicidas aplicados en cultivo de caña de azúcar. Cercanías del PNPV, 2010.

Acción biocida	Ingrediente activo	Cantidad	
		kg ia/ha/año	%
Herbicidas	terbutrina	2,87	26,78
	ametrina	2,21	20,61
	pendimetalina	1,35	12,59
	hexazinona	1,26	11,77
	diuron	1,10	10,25
	2,4-D	1,06	9,93
	glifosato	0,36	3,40
	paraquat	0,21	2,33
	picloram	0,03	1,99
	Subtotal	10,46	99,65
Insecticidas	cipermetrina	0,25	0,28
	Subtotal	0,25	0,28
Rodenticidas	coumatetralil	0,008	0,07
	brodifacouma	0,0001	0,00
	Subtotal	0,01	0,07
Total		10,72	100,00

*No incluye madurantes

Fuente: Herrera y Bravo, 2010.

pendimetalina (1,35 kg ia/ha/año), hexazinona (1,26 kg ia/ha/año), diuron (1,10 kg ia/ha/año) y 2,4-D (1,06 kg ia/ha/año). Estos plaguicidas representaron el 92 % de la cantidad aplicada por hectárea de caña de azúcar y, entre ellos, el 2,4-D y la terbutrina fueron los preferidos por el 75 % de los agricultores (cuadro 2).

En la península de Nicoya, durante la ejecución del proyecto “Vigilancia del uso de plaguicidas en actividades agropecuarias, con énfasis en el herbicida 2,4 D por peligro de contaminación de aguas subterráneas y superficiales en la península de Nicoya”, en 2010 y 2011 se encontró residuos de terbutrina, ametrina y

hexazinona en muestras de agua superficial, y residuos de terbutrina y ametrina en muestras de agua subterránea de dos pozos de riego en fincas de caña de azúcar. En los pozos de acueductos rurales muestreados no se encontró residuos de plaguicidas (Bravo et al., 2012). En el área de influencia del PNPV, en la ejecución del proyecto “Impacto de los plaguicidas en el recurso hídrico de la cuenca baja del río Tempisque (Palo Verde)”, entre 2009 y 2011 se encontró residuos de cuatro plaguicidas de los que se utilizan en el cultivo de la caña de azúcar: hexazinona, diuron, terbutrina y ametrina (De la Cruz et al., 2012).

En general, estos plaguicidas llegan a las aguas superficiales y subterráneas

por la interacción entre, por una parte, el patrón de uso de las sustancias y, por la otra parte, las características fisicoquímicas de ellas y factores ambientales, que en conjunto determinan su transporte y transferencia en el ambiente, así como también por los procesos de degradación que involucran tanto reacciones aeróbicas como anaeróbicas y son influenciados por factores como temperatura, pH, luz y naturaleza y humedad del suelo, los cuales a su vez determinan la persistencia de la sustancia en el ambiente (Bravo, 2012; Donati y Funari, 1993).

Los plaguicidas clasificados como triazinas son compuestos ampliamente utilizados en la agricultura, que han sido encontrados como contaminantes de aguas superficiales y subterráneas (Vitanov et al., 2003; Donati y Funari, 1993). Terbutrina es un herbicida selectivo utilizado como pre emergente o pos emergente en diferentes cultivos; es poco móvil en el suelo, tiene baja solubilidad en agua, de moderada a alta persistencia ambiental (27 a >180 días) y potencial de lixiviación de bajo a moderado. Sin embargo, este herbicida y/o su metabolito hidroxiterbutrina (con alto potencial de lixiviación) también ha sido encontrado, entre otros, en aguas subterráneas de España y Holanda. En el último caso hasta a cuatro metros de profundidad y en concentraciones de 2,4 µg/L (Donati y Funari, 1993; Carabias-Martínez et al., 2003; Estévez et al., 2012). Debido al lavado por escorrentía, la terbutrina puede llegar a los cuerpos de agua y contaminarlos, y

también ha sido detectado en agua superficial de otros ecosistemas acuáticos de Costa Rica, España, Italia, República Checa y Alemania (De la Cruz, 2014; Echeverría-Saénz, 2012; El Bouraie et al., 2011; Velisek et al., 2011; Terrado et al., 2010; Quednow y Püttmann, 2007).

Hexazinona es un herbicida efectivo para muchas malezas anuales y perennes; sin embargo, tiene una alta solubilidad en agua y alta persistencia y movilidad en el suelo, por lo que posee buen potencial de lixiviación. Ha sido reportado en aguas subterráneas de Brasil, Canadá y Estados Unidos -entre otros lugares- (Keizer et al., 2001; Di Bernardo-Dantas et al., 2011) como consecuencia de la actividad agrícola. En Costa Rica, desde 1995 se han determinado residuos de este plaguicida en agua superficial cerca de la desembocadura del río Tempisque, y en otras regiones del país (De la Cruz et al., 2014; Echeverría Saénz et al., 2012; De la Cruz et al., 2004; De la Cruz, 2002).

Ametrina es un herbicida de acción sistémica utilizado en el control pre o pos emergente temprano de gramíneas y malezas de hoja ancha. Es soluble en agua, moderadamente móvil y persistente en el ambiente y con potencial de lixiviación, propiedades estas que sugieren que puede estar presente en el suelo y también en aguas superficiales y subterráneas, como en Brasil y Costa Rica (Jacomini et al., 2009; Echeverría-Saénz et al., 2012; De la Cruz et al., 2015). En Costa Rica, desde 1993, ha sido reportado en aguas superficiales de la vertiente Caribe, en

concentraciones que podrían representar un peligro crónico para los organismos acuáticos; y, desde 1995, en aguas superficiales del Pacífico Norte asociado con cultivos de caña de azúcar y arroz. Residuos de ametrina se han encontrado en agua superficial luego de eventos de mortalidad de fauna acuática en el país (De la Cruz et al., 2015; De la Cruz, 2002).

Diurón es un herbicida del grupo de las fenilureas, de acción sistémica que inhibe la fotosíntesis; se absorbe principalmente por las raíces y se trasloca vía xilema al resto de la planta. Se utiliza en el control pre y pos emergente de malezas de hoja ancha y gramíneas (British Crop Protection Council, 2003). Es poco soluble en agua, persistente en el ambiente, móvil, con moderado potencial de lixiviación, puede adherirse a las partículas del suelo y llegar a las aguas superficiales de los ecosistemas acuáticos por escorrentía asociado a ellas. Este herbicida ha sido frecuentemente encontrado en aguas superficiales y subterráneas de Estados Unidos (Cheng y Young, 2008; Cox, 2003; Lee et al., 2001; Wentz et al., 1998; U.S. Geological Survey, 1998).

En Costa Rica, se ha determinado su presencia en

aguas superficiales del Pacífico Sur, de la región Caribe (Sixaola) y de la zona hortícola al norte de Cartago. También ha sido detectado en muestras de agua superficial y de organismos acuáticos luego de eventos de mortalidad de fauna acuática en la región Caribe (De la Cruz, 2014; Alfaro-Monge, 2011; De la Cruz, 2010; De la Cruz et al., 2004). También se ha reportado su presencia en un pozo que suporta agua a la ciudad de Ribeirão Preto -Brasil-, localizado cerca de una plantación de caña de azúcar (Di Bernardo Dantas et al., 2011).

Terbutrina, hexazinona, ametrina y diuron son catalogados, según las frases de riesgo de la Unión Europea, como muy tóxicos o nocivos para organismos acuáticos (R50-R52) y con capacidad de provocar, a



F. Ramírez. Equipo de fumigación operando en cañaveral, Guanacaste.

largo plazo, efectos negativos en el medio acuático (R53) (University of Hertfordshire, 2015). Según la evidencia científica, estas cuatro sustancias pueden afectar en diferentes grados la biota expuesta. Por ser herbicidas, los grupos taxonómicos de la biota a los que más afectan son las algas y los helechos acuáticos, para los que muestran toxicidades agudas, altas y extremas. Desde este punto de vista, quizás sería importante estudiar el efecto de estas sustancias en la diversidad de la flora y en la productividad primaria de los ecosistemas contaminados. Es importante notar que estos herbicidas también muestran toxicidades agudas, altas y medianas, para otros grupos taxonómicos, como peces, anfibios, aves, mamíferos, crustáceos, abejas y lombrices de tierra, lo cual podría representar un peligro para la diversidad y la salud de estos ecosistemas (figura 3) (De la Cruz et al., 2015 ; University of Hertfordshire, 2015).

En Costa Rica, durante 2013 se diagnosticaron 396 intoxicaciones por plaguicidas (Ministerio de Salud, 2014). En la región Chorotega fueron reportados 45 casos de intoxicaciones en trabajadores de la caña de azúcar. Los reportes se relacionaron principalmente con herbicidas (2,4-D, terbutrina, paraquat [Gramoxone] y glifosato) y, en segundo lugar, con fungicidas (Trejos, 2014).

Entre los plaguicidas identificados como más usados, tanto por la cantidad aplicada como por el número de usuarios en la península de Nicoya y las cercanías de PNPV, los más peligrosos en forma

aguda fueron el 2,4-D y la hexazinona (moderadamente peligrosos). Hay otros plaguicidas menos usados con toxicidad aguda de alta a extrema, como terbufos y los rodenticidas. Con tres posibles efectos de toxicidad tóxica (irritación ocular y dérmica y potencial alergénico), entre los más usados se identificó el 2,4-D; con cuatro posibles efectos de toxicidad crónica se identificó el 2,4-D, y con tres posibles efectos la terbutrina y el diuron. Ametrina y pendimetalina, también muy usados, tienen toxicidad aguda ligera y dos efectos tóxicos, y pendimetalina, además, tiene un efecto crónico como posible cancerígeno. Entre todos los plaguicidas, sin considerar el uso, los efectos crónicos más importantes fueron disrupción endocrina, neurotoxicidad y posible o probable cancerogenicidad (De la Cruz et al., 2015) (cuadro 3).

Otros efectos crónicos de estos herbicidas son: en ametrina, hepatotóxico; en pendimetalina, hepatotóxico, aumento de fosfatasa alcalina y tiroidea; en 2,4-D, trastornos reproductivos, genotoxicidad, Parkinson, bronquitis, peribronquitis, neumoescclerosis, nefrotóxico y hepatotóxico; en diuron, metahemoglobinemia; en hexazinona, adenoma hepático, leucocitosis con eosinofilia, orina alcalina y cambios en peso de órganos (De la Cruz et al., 2015).

Además del 2,4-D, otros plaguicidas con menor uso en los cultivos de caña de azúcar pueden presentar efectos relacionados con problemas renales. Entre estos, glifosato por el peligro de ocasionar adenoma de túbulos renales, isoxaflutole por

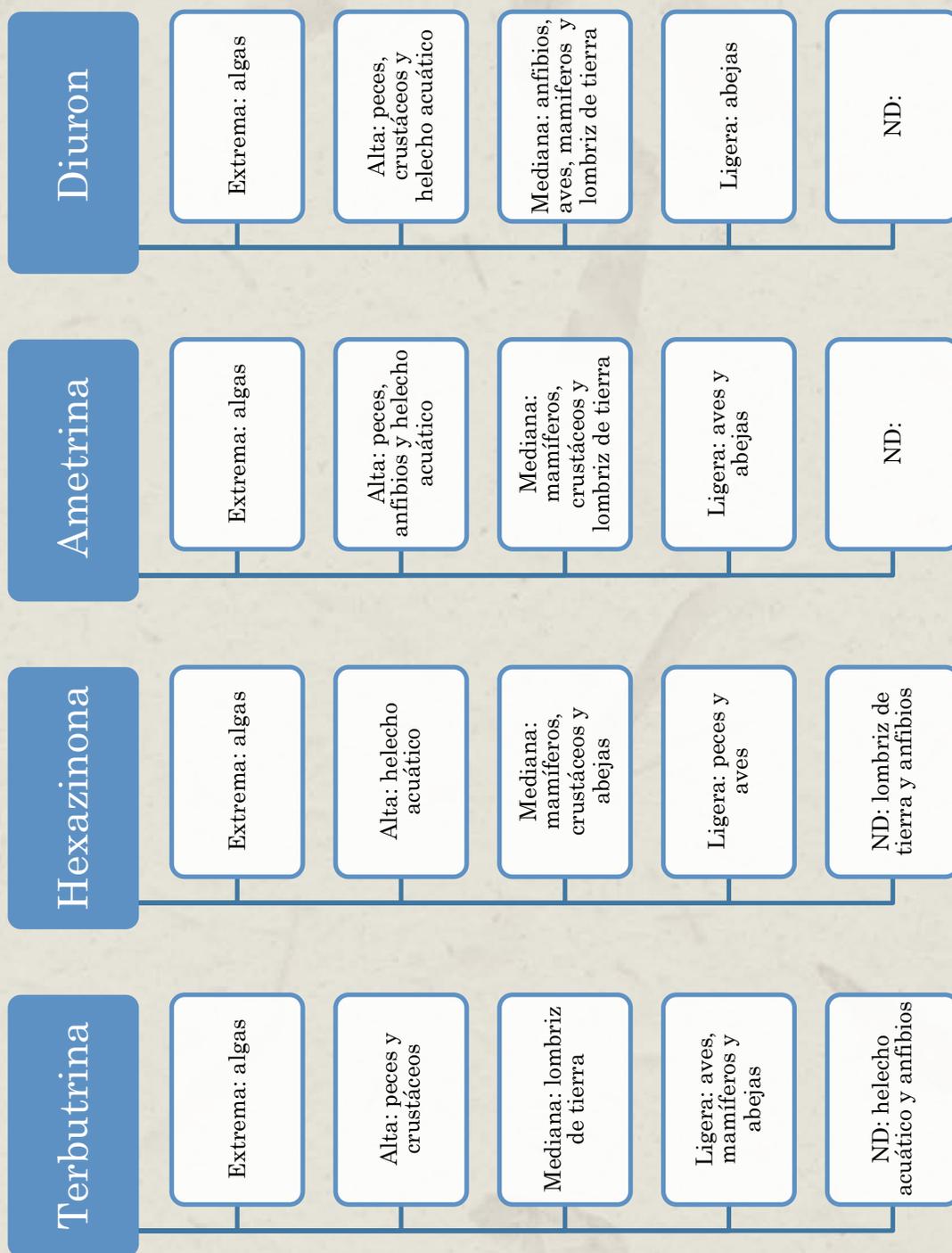


Figura 3: Toxicidad aguda de organismos por terbutrina, hexazinona, ametrina, y diuron. Fuentes: De la Cruz et al., 2015; University of Hertfordshire, 2015.

Cuadro 3: Toxicidad aguda, tóxica y crónica de plaguicidas usados en caña de azúcar.

Acción biocida	Ingrediente activo	Toxicidad aguda	Toxicidad tóxica	Toxicidad crónica				
				Neurotoxicidad	Teratogenicidad	D. endocrina	Mutagenicidad	Cancerogenicidad
Herbicidas	ametrina	Ligera	Positiva (2)					
	terbutrina	Ligera	Positiva (1)	Positiva		Positiva		Posible o probable
	pendimetalina	Ligera	Positiva (2)					Posible o probable
	2,4-D	Moderada	Positiva (3)	Positiva		Positiva		Posible o probable
	diuron	Ligera	Positiva (2)	Positiva		Positiva		Posible o probable
	hexazinona	Moderada	Positiva (2)					
	glifosato	Ligera	Positiva (2)			Positiva		
	paraquat	Moderada	Positiva (3)	Positiva		Positiva		Positiva
	isoxaflutole	Ligera	Positiva (1)	Positiva		Positiva		Posible o probable
	picloram	No peligro	Positiva (2)	Positiva		Positiva		
trifloxisulfuron	ND	Positiva (2)	Positiva					
Nematicidas	terbufos	Extrema	Positiva (2)	Positiva				
	clorpirifos	Moderada	Positiva (2)	Positiva		Positiva		Posible o probable
Insecticidas	malation	Ligera	Positiva (3)	Positiva		Positiva		Posible o probable
	cipermetrina	Moderada	Positiva (3)	Positiva		Positiva		Posible o probable
	foxim	Moderada	Negativa (2)	Positiva		Positiva		
	permetrina	Moderada	Positiva (3)	Positiva		Positiva		Posible o probable
	deltametrina	Moderada	Positiva (2)	Positiva		Positiva		
Fungicidas	folpet	No peligro	Positiva (3)	Positiva				Posible o probable
Rodenticidas	coumatetralil	Alta	Negativa (3)					
	brodifacouma	Extrema	Positiva (3)					
	fluocoumafen	Extrema	Positiva (3)					
	difetialona	Extrema	Positiva (1)					

Fuentes: De la Cruz et al., 2015; University of Hertfordshire, 2015; Cornell University et al., 2006; García, 2003; University of Hertfordshire, 2006; Fluoride Action Network, 2007; Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, 1998; Comisión de las Comunidades Europeas, 2001; Orme and Kegley, 2006; Pesticide Action Network-UK, 2009; Environmental Protection Agency, 2006; Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, 2007; International Agency for Research on Cancer, 2009; U.S. Environmental Protection Agency, 2004; Argemi, Cianni y Porta, 2005; Environmental Protection Agency, 1998.

amiloidosis, y picloram y folpet por ser nefrotóxicos. Estos tres también pueden ser hepatotóxicos (De la Cruz et al., 2015).

Aunque en los diagnósticos de 2010 glifosato solo se identificó como usado en las cabeceras del cultivo, también es usado por algunas agro-empresas como madurante de la caña de azúcar vía aérea y en dosis de 0,3 kg ia por hectárea. Este uso es compartido por trinexapac-etil, otro regulador de crecimiento. En relación con glifosato, una investigación en arrozales de Sri Lanka sugirió que este herbicida, usado en lugares con presencia de “agua dura” (con contenidos de calcio y magnesio) y metales nefrotóxicos (hierro, estroncio y arsénico), puede actuar como agente quelante, formando complejos metálicos estables que impiden sea desintoxicado por el hígado y le permiten pasar a los riñones contribuyendo al daño renal crónico (Jayasumana et al., 2014).

Al respecto, una exinvestigadora de Iret afirmó: “algunos plaguicidas podrían potencialmente estar vinculados con la enfermedad renal crónica, especialmente a través de la interacción con la deshidratación resultante de estrés térmico ... En América Central el tiempo de introducción del glifosato a una escala más grande no coincide con el inicio de la epidemia, que va más atrás de los años ochenta” (C. Wesseling, comunicación por correo, 14 de marzo de 2014). Otro autor indica que “la formación de complejos con metales nefrotóxicos por parte del glifosato es poco probable por competir estos con minerales no tóxicos como el calcio y el

magnesio, quienes a su vez se encuentran en mayor proporción en el medio ambiente que los metales pesados” (Alfaro, 2014). Este autor también hace referencia a características del glifosato que limitan su capacidad de lixiviar y contaminar aguas subterráneas e indica que “la insuficiencia renal crónica ... se debe ... a deshidrataciones severas de dichos trabajadores al estar expuestos a altas temperaturas durante varias horas y jornadas de trabajo sin hidratarse adecuadamente” (ibid.).

En Guanacaste, la Caja Costarricense de Seguro Social realiza una investigación epidemiológica para determinar asociaciones causales de la enfermedad renal crónica y efectuar intervenciones sanitarias tendientes a reducir el impacto en la población. En esta provincia, la tasa de hospitalización alcanza los 112,9 pacientes por cada 100.000 habitantes; dos terceras partes de los afectados proceden de Bagaces, Cañas y Filadelfia (CCSS, 2013). Por esto, Iret investiga “metodologías para la medición de estrés térmico y respuestas fisiológicas” y participa en el Consorcio de la Epidemia de la Nefropatía en Centroamérica y México.

La Dirección de Investigación y Extensión en Caña de Azúcar (Dieca), que siempre ha realizado investigación en control biológico de plagas y mejoramiento genético para la atención de problemas fitosanitarios en las plantaciones, también realiza transferencia tecnológica a los productores y en sus capacitaciones aboga por el uso racional de los plaguicidas. Recientemente, el Programa de

Agronomía de Dieca solicitó a Iret realizar una investigación conjunta sobre la posibilidad de contaminación de aguas por los herbicidas utilizados en el cultivo de la caña de azúcar en diferentes órdenes de suelo (R. Alfaro, comunicación por correo, 29 de setiembre de 2014). Este Programa ya cuenta con publicaciones referentes a la protección del ambiente, como, por ejemplo, *Herbicidas Asociados a la Caña de Azúcar y su Potencial de Contaminación del Medio Ambiente* (Alfaro, 2013).

En las anteriores acciones se evidencia el reconocimiento de una responsabilidad compartida respecto al entendimiento de la enfermedad renal crónica, que se reconoce como un problema epidemiológico. Es necesario que los actores sociales se comprometan con la búsqueda de soluciones y el principio precautorio establecido por el derecho ambiental.

Referencias

- Alfaro, R. (2013). *Herbicidas Asociados a la Caña de Azúcar y su Potencial de Contaminación del Medio Ambiente*. Costa Rica: Dieca. Disponible en <http://www.laica.co.cr/biblioteca2/verSubcategoria.do?p=1&c=443&s=2884>.
- Alfaro, R. (2014). *Medio Ambiente y Nefrotoxicidad por Glifosato*. Costa Rica: Dieca. Disponible en <http://www.laica.co.cr/biblioteca2/buscar.do>.
- Alfaro-Monge, M. P. (2011). *Experiencias exitosas para reducir el impacto de la agricultura sobre los sistemas costeros. Reduciendo el escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe*. Costa Rica: Proyecto REPCar en Costa Rica – Minaet – Pnuma.
- Argemi, F.; Cianni, N. y Porta, A. (2005). Disrupción endocrina: perspectivas ambientales y salud pública. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 39(3), 291-300.
- Bravo, V. (2012). *Evaluación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas por uso de plaguicidas en la península de Nicoya, con énfasis en 2,4-D*. Costa Rica: Tesis de Maestría. Escuela de Química. Universidad Nacional.
- Bravo, V.; de la Cruz, E.; Herrera, G. y Ramírez, F. (2013). Uso de plaguicidas en cultivos agrícolas como herramienta para el monitoreo de peligros en salud. *Uniciencia* 27(1), 351-376.
- Bravo, V.; de la Cruz, E.; Herrera, G.; Moraga, G.; Ramírez, F.; Ruepert, C.; Morera, M.; Solano, K.; Pinnock, M. y Rodríguez, R. (2012). *Vigilancia del uso de plaguicidas en actividades agropecuarias, con énfasis en el herbicida 2,4-D, por peligro de contaminación de aguas subterráneas y superficiales en la península de Nicoya, Guanacaste*. Costa Rica: Iret, Universidad Nacional.
- British Crop Protection Council. (2003). *The pesticide manual*. A World Compendium. 13th edition. Clive Tomlin (Ed.). United Kingdom: BCPC Crop Protection Publications.
- Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS). (2013). CCSS inició revaloración de pacientes con insuficiencia renal crónica en Guanacaste. Costa Rica: Blog de Noticias CCSS. Disponible en <http://www.ccss.sa.cr/noticias/index/32-ccss/751-ccss-inicio-revaloracion-de-pacientes-con-insuficiencia-renal-cronica-en-guanacaste>.
- Carabias-Martínez, R.; Rodríguez-Gonzalo, E.; Fernández-Laespada, M. E.; Calvo-Seronero, L. y Sánchez-San Román, F. J. (Febrero, 2003). Evolution over time of the agricultural pollution of waters in an area of Salamanca and Zamora (Spain). *Water Research* 37, 928–938. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431354>.
- Chen, W. W. H. y Young, T. M. (2008). NDMA Formation during Chlorination and Chloramination of Aqueous Diuron Solutions. *Environ. Sci. Technol.* 42(4), 1072–1077.
- Comisión de las Comunidades Europeas. (2001). *Aplicación de la estrategia comunitaria en materia de alteradores endocrinos. Sustancias de las que se sospecha interfieren con los sistemas hormonales de seres humanos y animales*. Bruselas:

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo.
- Cornell University; Michigan State University; Oregon State University; University of California-Davis. (2006). *Pesticide Information Profile*. USA: Extension Toxicological Network. (Exttoxnet). Disponible en <http://exttoxnet.orst.edu/pips/ghindex.html>.
- Cox, C. (2003). Herbicide fact sheet diuron. *Journal of pesticide reform* 23(1), 12-20.
- De la Cruz, E. y Castillo, L. E. (2002). The use of pesticide in Costa Rica and their impact on coastal ecosystems. En: Taylor, M.; Kleine, S.; Carvalho, F.; Barcelo, D. y Everaarts, J. (Eds). *Pesticides Residues in Coastal Tropical Ecosystems: Distribution, fate and effects*. USA: Taylor and Francis.
- De la Cruz, E.; Bravo, V. y Ramírez, F. (2015). *Plaguicidas de Centroamérica*. Costa Rica: Sitio web del Proyecto Manual de plaguicidas en Centroamérica. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional. Disponible en <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr>.
- De la Cruz, E.; Bravo-Durán, V.; Ramírez, F. y Castillo, L. E. (January, 2014). Environmental hazards associated with pesticide import into Costa Rica, 1977-2009. *Journal of Environmental Biology* 35, 43-55. Disponible en: http://jeb.co.in/journal_issues/201401_jan14_spl/paper_06.pdf.
- De la Cruz, E.; Pinnock, M.; Echeverría, S.; Mena, F.; Ruepert, C. y Ugalde, R. (2012). *Impacto de los plaguicidas en el recurso hídrico de la zona baja de la cuenca del río Tempisque (Palo Verde) Costa Rica. Bases científicas para la gestión ambiental sostenible*. Costa Rica: Iret, Universidad Nacional.
- De la Cruz, E.; Ruepert, C.; Wesseling, C.; Monge, P.; Chaverri, F.; Castillo, L. y Bravo, V. (2004). *Los plaguicidas de uso agropecuario en Costa Rica: Impacto en la salud y el ambiente*. Costa Rica: Iret, Universidad Nacional.
- Di Bernardo Dantas, A.; Paschoalato, C. F. R.; Martínez, M. S.; Ballejo, R. R. y Di Bernardo, L. (2011). Removal of diuron and hexazinone from guarany aquifer groundwater. *Braz. J. Chem. Eng.* 28(3) 415-424.
- Donaty, L. y Funari, R. (1993). Review of leaching characteristic of triazones and their degradation products. *Ann. Ist. Sanità* 29(2), 225-241.
- Echeverría, S.; Mena, F.; Pinnock, M.; Ruepert, C.; Solano, K.; de la Cruz, E.; Campos, B.; Sánchez-Ávila, J.; Lacorte, S. y Barata, C. (2012). Environmental hazards of pesticides from pineapple crop production in the Río Jimenez watershed (Caribbean Coast, Costa Rica). *Sci Total Environ.* 440, 106-114.
- El Bouraie, M. M.; El Barbary, A. A. y Yehia, M. M. (2011). Examining the Concentration of Organonitrogen Pesticides in Water at Nile Delta, Egypt. *Iranica Journal of Energy & Environment* 2(4), 331-338.
- Environmental Protection Agency. (1998). *Pesticide Fact Sheet: Isoxaflutole*. USA: EPA, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances. Disponible en <http://www.epa.gov/oppsrrd1/Rainbow/98rainbo.pdf>.
- Environmental Protection Agency. (2006). *Chemicals Evaluated for Carcinogenic Potential*. USA: Information Management Branch Health Effects Division Office of Pesticide Programs U.S. Environmental Protection Agency. Disponible en http://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf.
- Estévez, E.; Cabrera, M. del C.; Molina-Díaz, A.; Robles-Molina, J. y Palacios-Díaz, M. del P. (Setiembre, 2012). Screening of emerging contaminants and priority substances (2008/105/EC) in reclaimed water for irrigation and groundwater in a volcanic aquifer (Gran Canaria, Canary Islands, Spain). *Sci Total Environ.* 433, 538-546. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22858460>.
- Fluoride Action Network. (2007). *Adverse effects fluorinated and fluoride pesticides*. Pesticide Project. Disponible en <http://www.fluoridealert.org/pesticide/adverse.html>
- Footprint. (2006). *Footprint Pesticide Properties DataBase*. Reino Unido: Database collated by the University of Hertfordshire as part of the EU-funded FOOTPRINT project (FP6-SSP-022704).

- Disponible en <http://www.eu-footprint.org/ppdb.html>.
- García, A. M. (2003). Pesticide exposure and women's health. *American Journal of Industrial Medicine* 44, 584-590.
- Herrera, G. y Bravo, V. (2010). *Uso de plaguicidas en caña de azúcar cultivada en el área de influencia del Parque Nacional Palo Verde*. Costa Rica: Iret, Universidad Nacional.
http://www.pan-uk.org/PDFs/List%20of%20Lists_2009.pdf
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (Istas). (2007). *Base de datos de sustancias tóxicas y peligrosas (Risctox)*. España: Conferencia Sindical de Comisiones Obreras. Disponible en <http://www.istas.net/risctox>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2009). *Agent reviewed by the IARC monographs*. Francia: IARC Volumes 1-100. Disponible en <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Listagentsalphorder.pdf>
- Jacomini, A. E.; de Camargo, P. B.; Avelar, W. E. P. y Bonato, P. S. (2009). Determination of Ametryn in River Water, River Sediment and Bivalve Mussels by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *J. Braz. Chem. Soc.* 20 (1), 107-116.
- Jayasumana, Ch.; Gunatilake, S. y Senanayake, P. (2014). Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 11(2), 2125-2147. Disponible en <http://www.mdpi.com/1660-4601/11/2/2125>.
- Keizer, J. P.; McQuarrie, K. T. B.; Milburn, P. H.; McCulli, K. V.; King, R. R. y Embleton, E. J. (2001). Long term ground water quality impactos from the use of hexazinone for the commercial production of lowbush blueberries. *GWMMR* 21, 128-135.
- Lee, R.; Abdel-Saheb, I. y Brethaupt, J. (2001). *Environmental Risk Assessment for the registration of Diuron*. USA: RED case 818790. Environmental fate and Effects Division (EFFED). U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. Office of Prevention, Pesticide and Toxic Substances.
- Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (Laica). (2013). *Resultados agroindustriales finales de la zafra 2012 - 2013*. Costa Rica: Laica. Disponible en <http://www.laica.co.cr/media/docs/estadisticas/Zafra2012-2013.pdf>.
- Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (Laica). (2015). *Principales zonas productoras de caña de azúcar*. Costa Rica: Laica. Disponible en <http://www.laica.co.cr/regiones.php>
- Madrigal, R. y Rojas, E. (1980). *Mapa Geomorfológico de Costa Rica*. Escala 1: 200.000. Hoja Nicoya CR2CM-4. Edición 1-IGNCR. Costa Rica: Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria.
- Ministerio de Salud. (2014). *Memoria Institucional del Ministerio de Salud periodo 2010 - 2014*. Costa Rica: Ministerio de Salud. Disponible en http://www.ministeriodesalud.go.cr/sobre_ministerio/memorias/memoria2014/UMI_memoria_institucional_2010_2014.pdf.
- Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. (1998). *Lista provisoria de plaguicidas registrados en Chile que están prohibidos o severamente restringidos por gobiernos y sus efectos sanitarios y ambientales*. Disponible en <http://www.olca.cl/oca/plaguicidas/plag03.htm>.
- Orme, S. y Kegley, S. E. (2006). *Pesticide Database. North America: Pesticide Action Network PAN San Francisco*. Disponible en <http://www.pesticideinfo.org>
- Pesticide Action Network-UK. (2009). *The list of lists. A catalogue of lists of pesticides identifying those associated with particularly harmful health or environmental impacts*. London: Briefing paper.
- Quednow, K. y Püttmann, W. (2007). Monitoring terbutryn pollution in small rivers of Hesse, Germany. *Environ. Monit* 9, 1337-1343.
- Ramírez, F. y Bravo, V. (2010). *Diagnóstico de uso de plaguicidas en caña de azúcar*. Costa Rica: Iret, Universidad Nacional.
- Ramírez, F.; de la Cruz, E.; Berrocal, S. y Bravo, V. (2014). *Importación de plaguicidas por habitante*

- total, habitante rural, trabajador agrícola y área agrícola como herramienta para el monitoreo de peligros en la salud y el ambiente. Costa Rica, 2000-2012.* En http://www.una.ac.cr/observatorio_ambiental.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (Sepsa). (2011). *Boletín Estadístico Agropecuario* 16. Costa Rica: Sepsa.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (Sepsa). (2014). *Boletín Estadístico Agropecuario* 24. Costa Rica: Sepsa.
- Terrado, M.; Barceló, D. y Tauler, R. (2010). Multivariate curve resolution of organic pollution patterns in the Ebro River surface water-groundwater-sediment-soil system. *Analytica Chimica Acta* 657, 19-27.
- Trejos, M. E. (2014). *Afectación de la salud por el uso de plaguicidas y exposición al calor extremo en trabajadores de caña.* Costa Rica: Presentación Power Point. Departamento de Vigilancia Epidemiológica del Ministerio de Salud.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Integrated Risk Information System.* USA: EPA. Disponible en <http://www.epa.gov/iris/subst/>.
- U.S. Geological Survey. (1998). *Water quality in the San Joaquin-Tulare Basins, California: 1992- 1995.* USA: Geological Survey Circular 1159. Disponible en <http://pubs.usgs.gov/circ/circ1159/circ1159.pdf>.
- University of Hertfordshire. (2015). *Footprint pesticide properties database.* Gran Bretaña, Reino Unido: Sitio web del Proyecto Huella. Unidad de Investigación en Medio Ambiente y Agricultura, Universidad de Hertfordshire. Disponible en <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>.
- Velisek, J.; Stara, A.; Kolarova, J. y Svobodova, Z. (2011). Biochemical, physiological and morfological responses in common carp (*Cyprinus carpio* L.) after long-term exposure to terbutryn in real environmental concentration. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 100, 305-313.
- Vitanov, N. K.; Lekova, K. I. y Dobрева, N. I. (2003). Monitoring river water in the lower Danube for atrazine contamination. *Acta Chromatographica* 13, 230-242.
- Wentz, D. A.; Bonn, B. A.; Carpenter, K. D.; Hinkle, S. R.; Janet, M. L.; Rinella, F. A.; Uhrich, M. A.; Waite, I. R.; Laenen, A. y Bencala, K. E. (1998). *Water Quality in the Willamette Basin, Oregon, 1991-1995.* U.S.A.: Geological Survey Circular 1161. Disponible en <http://water.usgs.gov/pubs/circ1161.pdf>.