

PRESENCIA DE RESIDUOS DE AGROQUÍMICOS E HIDROCARBUROS EN EL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE LOS GUATUSOS DEPARTAMENTO DE RÍO SAN JUAN-NICARAGUA

A. Cruz G., J. Cuadra L., V. Delgado Q.

RESUMEN

Un evento de muerte masiva de peces en el río Papaturro condujo a un reconocimiento exhaustivo debido a que durante varios años se ha venido observando este fenómeno y que con mayor intensidad se produjo los días 10 y 11 de junio de 1999. Durante este estudio fueron detectadas concentraciones de malatión (35.76 ng.L^{-1}), fentión ($1562.40 \text{ ng.L}^{-1}$) y etil-paratión (22.29 ng.L^{-1}) en aguas del río Papaturro. Las concentraciones de herbicidas de la familia de las triazinas (simazina, cianazina, atrazina, diuron, propazina, terbutilazina y metolaclor) alcanzaron niveles en un rango de 4.81 a $892.65 \text{ } \mu\text{g. L}^{-1}$. La concentración de oxígeno disuelto se vió reducida a 0.82 mg.L^{-1} siete días después de ocurrido el fenómeno, lo anterior induce a suponer que en el momento del evento (mortandad de peces) este valor pudo haber sido aún menor. De los siete carbamatos analizados en agua (aldicarb sulfón, metomil, aldicarb, proporxur, carbofurán, carbaryl y metiocarb), únicamente el aldicarb estuvo presente en concentraciones desde $< \text{LD}$ a $42.30 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Las concentraciones de plaguicidas organoclorados (heptacloro, dieldrín y pp-DDE) en el sedimento variaron de 90.60 a 208.50 pg.g^{-1} . Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo (a) antraceno, benzo (a) pireno, criseno, dibenzo (a,h) antraceno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno, fenantreno, pireno) aparecieron en concentraciones desde $< \text{LD}$ a 19.54 ng.g^{-1} . El sistema hídrico conformado por el río Papaturro y sus principales afluentes (San Ramón y Caño el Sahíno), así como los ríos La Palma y La Cucaracha presentan una alteración del equilibrio químico de sus aguas, debido a la contaminación por plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos lo cual impactó negativamente en la vida acuática.

INTRODUCCIÓN

La muerte masiva de peces en el río Papaturro condujo a un reconocimiento exhaustivo sobre la contaminación que durante varios años se ha venido observando y con mayor intensidad se produjo los días 10 y 11 de Junio de 1999.

Los ríos Papaturro, La Cucaracha y La Palma, nacen en Costa Rica y son parte importante de la cuenca hidrográfica del sureste del Lago de Nicaragua. Estos ríos atraviesan la zona “Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos”, la cual es considerada un área de patrimonio biológico nacional para la conservación de la selva tropical.

El Refugio de Vida Silvestre de los Guatusos comprende el territorio ubicado entre el Lago de Nicaragua y el territorio de Costa Rica, se extiende desde el río Medio Queso al Este hasta el río Pizote al Oeste, con una extensión de aproximadamente 437.5 km², lo que equivale al 23% de la superficie del municipio de San Carlos en el Departamento de Río San Juan.

Esta área es relevante desde el punto de vista ecológico, debido a que en ella se encuentran importantes humedales con flora y fauna, las cuales tienen un alto valor en cuanto a biodiversidad, así como para el ecoturismo. Las características climatológicas son de transición entre el trópico húmedo y seco, con una precipitación media de 1800 a 2000 mm anuales y con temperaturas medias de 26 °C.

La vegetación se caracteriza por una gran variedad de especies acuáticas, sumergidas o flotantes, localizadas en las costas del lago y en los márgenes de los ríos. Entre estas especies tenemos el Camíbar (*Copailera aromática*), el María (*Callophyllum brasilensis*) y con bosques naturales de Genizaro (*Pithecolobium saman*), etc. (**Proyecto Los Guatusos, MARENA 1999**).

Referente al uso del suelo en la zona “Los Guatusos”, aguas arriba de los ríos indicados, en la parte de Costa Rica se encuentran bosques secundarios (bosques intervenidos), zonas de agricultura y zonas con pastos. En la parte de Nicaragua la zona se caracteriza por pantanos y bosque medianos ó zona de reserva. (**Proyecto Manejo Ambiental y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan 1997**).

El río **La Palma**, nace en Costa Rica y recorre aproximadamente 5.3 kilómetros en territorio Nicaragüense. Este río en años anteriores ha presentado características similares al río **Papaturro** en relación a la muerte repentina de peces, fenómeno que ocurre según los habitantes del lugar todos los años.

El río **La Cucaracha**, tiene un recorrido estimado de 6.25 kilómetros sobre territorio Nicaragüense y también nace en territorio Costarricense. Los sitios aledaños al río están habitados mayoritariamente por personas precaristas que se

han establecido en la zona intangible, alrededor de la cual predominan los llanos. Según guarda-bosques con mucha experiencia, este río (La Cucaracha) al igual que el río **La Palma** ha presentado características de contaminación por el uso de productos tóxicos.

El río **Papaturro**, nace en Costa Rica y recorre 7.0 kilómetros aproximadamente en territorio nicaragüense. El nivel del río, por lo regular es bajo, se caracteriza por tener en sus alrededores abundante vegetación con una gran variedad de especies acuáticas.

Según información brindada por los guardabosques del refugio, en territorio costarricense existen grandes extensiones de cultivo de arroz, palma africana y cítricos (árboles de naranja). Para controlar las plagas de éstos cultivos se han utilizado una variedad de plaguicidas tales como: tamarón, fusilade y otros.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El término **Plaguicida** puede definirse como cualquier agente biológico, sustancia o mezcla de sustancias de naturaleza química o biológica que se destina a combatir, controlar, prevenir, atenuar, repeler o regular la acción de organismos que alcanzan niveles de plagas.

La contaminación por plaguicidas en el agua de ríos y lagunas ocurre debido al lanzamiento de residuos industriales, agua utilizada para el lavado de equipos de fumigación, a la aplicación directa de plaguicidas en el agua (larvicida), por el desplazamiento de plaguicidas arrastrados por las lluvias hacia los cauces, a las aplicaciones aéreas en los cultivos cercanos a ríos y lagos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PLAGUICIDAS

PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

Los Plaguicidas Organoclorados son productos orgánicos sintéticos que contienen cloro en su molécula. La mayoría son insecticidas, entre las características más sobresalientes se encuentran; el ser muy persistentes en el ambiente y su tendencia a acumularse en los tejidos grasos de los organismos. La mayoría de estos compuestos químicos se encuentran prohibidos o restringidos en Nicaragua y otros países, debido a las características de persistencia, a la acumulación y biomagnificación en la cadena alimentaria. Sin embargo, aún quedan algunos productos que se comercializan libremente en nuestro país como es el caso del DDT

HERBICIDAS TRIAZINAS

Son productos de acción herbicida. Entre los más conocidos y aplicados en nuestro medio están: atrazina, simazina y ametrina. La atrazina y la ametrina son más solubles en agua que la simazina. La acción de estas sustancias está relacionada con su comportamiento en el suelo, el lavado y la descomposición del producto en éste. El contenido de materia orgánica del suelo influye decisivamente sobre estos fenómenos debido a que favorece la adsorción y el desarrollo de microorganismos que aceleran la descomposición del producto.

CARBAMATOS

El grupo de los Carbamatos corresponde en su mayor parte a derivados del ácido N-metil-carbámico. Los carbamatos se emplean como insecticidas (carbaril, cartap, metomil, propoxur); fungicidas (thiram), herbicidas (tiobencarb) ó nematicidas (aldicarb, carbofurán, oxamil). Los carbamatos insecticidas poseen una alta toxicidad para las abejas. Su mecanismo de acción está relacionado con la transmisión de los impulsos nerviosos (García, 1997).

PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS

Los plaguicidas organofosforados son derivados orgánicos del ácido fosfórico o sulfatos análogos del ácido fosfórico. La mayoría son insecticidas y nematicidas; fueron puestos en el mercado en la década de los años cincuenta y se caracterizan por que son compuestos con poca persistencia en el ambiente, son más tóxicos para animales vertebrados, de acción rápida sobre los insectos e inducen a la generación de resistencia.

Los compuestos organofosforados han sustituido a los organoclorados y desde las últimas cuatro décadas están siendo ampliamente utilizados en la agricultura. Aunque su toxicidad es aguda, se diferencian por ser fácilmente degradados en condiciones ambientales y por ser solubles en agua y no se acumulan en los tejidos orgánicos. La mayoría de los organofosforados se derivan del ácido fosfórico (MORIFUSA, 1976).

Sus productos de degradación muchas veces resultan más tóxicos que los compuestos originales. En el caso del paratión una vez oxidado por el aire o por las enzimas se transforma en un compuesto cuatro veces más tóxico que el compuesto original. Los insecticidas organofosforados más conocidos son: malatión, paratión (etil – paratión), lorsban (clorpirifos), curacrón (profenatos), lebaycid (fentiión), MTD, nuvacrón, counter, nematicur (MORIFUSA, 1976).

El **malatión** es un plaguicida organofosforado utilizado en el control de ácaros e insectos chupadores y masticadores en los cultivos de algodón, arroz, papas y vegetales. La concentración letal para peces (Trucha arcoiris) es de $200 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ con rango de $160 - 240 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Su movilidad en el suelo es de ligera a mediana; su bioacumulación es media. La persistencia en la interfase agua / sedimento es menor. Uno de los productos de degradación del malatión es el malaoxón, siendo este último compuesto más tóxico que el propio malatión (MORIFUSA, 1976).

En Nicaragua el malatión fue registrado desde 1991 y su uso ha sido principalmente dirigido a la conservación de granos almacenados. En Costa Rica ha sido registrado desde 1992 y no se conoce para qué ha sido utilizado.

El **etil – paratión** es uno de los nombres comerciales del paratión, su acción biocida es de carácter insecticida - acaricida. Este producto es estable en medios ácidos y se hidroliza en medios alcalinos. Es utilizado para el control de ácaros e insectos chupadores y masticadores en cereales, frutas, plantas ornamentales y vegetales. (Manual de Plaguicidas, Guía para América Central, 1995).

Su toxicidad en peces es alta, la concentración letal CL_{50} (96 h) en Trucha arcoiris es de $1.5 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. En Crustáceos es extrema CL_{50} (48 h) y en invertebrados acuáticos varía de $0.8 - 12 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (ppb). La toxicidad en aves es de extrema a alta. Su persistencia en el suelo es de ligera a mediana.

El **etil – paratión** es uno de los plaguicidas organofosforados que más mortalidad ha causado en la fauna silvestre. Puede causar efectos crónicos en la reproducción de las aves. Representa un bajo potencial de contaminación para las aguas subterráneas. El principal mecanismo de degradación es por hidrólisis a 4-nitrofenol y paraoxón (Manual de Plaguicidas, Guía para América Central, 1995).

En Nicaragua el **etil – paratión** fue prohibido desde el año de 1984. En Costa Rica su acción regulatoria es “**restringido desde 1987**”. En los Estados Unidos de Norteamérica su uso fue restringido desde 1971 y solamente puede ser utilizado por personal capacitado, la razón de la acción regulatoria es debido a **que es tóxico para organismos acuáticos**. En Suecia ha sido prohibido desde 1971 y la razón de la acción regulatoria es también por su **alta toxicidad**.

El **fentión** pertenece al grupo químico de los organofosforados, su nombre comercial es **Lebaycid**; su acción biocida es de carácter insecticida, es estable en condiciones alcalinas. Dentro de sus usos está el control de mosca de la fruta, salta hojas, minadores y larvas defoliadoras en algodón, arroz, caña de azúcar, cítricos, ornamentales, tabaco y vegetales.

La toxicidad en peces es extrema, CL_{50} (96 h) en Trucha arco iris es de: $0.76 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. La toxicidad en crustáceos es extrema, CL_{50} (48 h) dáfidos: $0.80 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, rango entre $0.56-1.20 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. La toxicidad en aves es de mediana a alta, y su bioacumulación es alta. Se conoce que el **fentión** se degrada rápidamente

en el suelo; sin embargo, ha causado alta mortalidad de aves en aplicaciones contra mosquitos.

Este producto es utilizado en Guatemala desde 1990, en Belice está restringido desde 1990. Fue registrado en Honduras y El Salvador desde 1991 y en Costa Rica desde 1989; aunque no se conoce para que ha sido utilizado. En Nicaragua no ha sido registrado (Manual de Plaguicidas, Guía para America Central, 1995).

MATERIALES Y METODOS

SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

El diseño del muestreo fue elaborado en colaboración con la administradora del Refugio de Vida Silvestre, el delegado del MARENA en San Carlos y un representante del CIRA-UNAN. Se seleccionaron seis sitios a ser muestreados, los cuales están señalados en el mapa adjunto; posteriormente se procedió a la colecta de las muestras de agua y sedimento. No se tomaron muestras de peces debido a que este reconocimiento se realizó siete (7) días después de la muerte masiva de peces.

Se colectaron muestras de agua superficial para cada grupo de los diferentes análisis a realizar, conformando un total de 30 muestras de agua. Para el análisis de sedimento fueron captadas cinco muestras para determinar plaguicidas organoclorados y 3 muestras de sedimento para realizar análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos, para un total de 8 muestras.

ENSAYOS REALIZADOS EN LAS MUESTRAS

Los análisis que se llevaron a cabo en las muestras captadas fueron los siguientes:

- Análisis de plaguicidas organoclorados (α - BHC, β - BHC, δ - BHC, lindano, heptacloro y su epóxido, α y β -endosulfano, aldrín, dieldrín, endrín, pp – DDD, pp – DDE, pp – DDT) en agua y sedimento.
- Análisis de plaguicidas organofosforados (mocap, naled, forate, terbufos, diazinón, metil-paratión, malatión, fentión, etil-paratión, clorfenvinfos, DEF, etión, gutión, zolone, Co-Ral) en agua.
- Análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's): acenaftaleno, naftaleno, fluoreno, acenafteno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, criseno, benzo (a) antraceno, benzo (a) pireno, dibenzo (a,h) antraceno, en agua y sedimento.
- Análisis de herbicidas triazinas (simazina, cianazina, atrazina, diurón, propazina, terbutilazina, metaloclor) en agua.
- Análisis de carbamatos (aldicarb sulfón, metomil, aldicar sulfoxido, aldicarb, propoxur, carbofuran, carbaryl) en agua.
- Análisis de parámetros físico – químicos (pH, conductividad, temperatura, color, sólidos totales, disueltos y suspendidos, sólidos sedimentables, nitritos, nitratos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, dureza, alcalinidad, silice disuelto, fluoruros, hierro total y oxígeno disuelto).

Las muestras de sedimento superficial fueron colectadas utilizando una draga Ekman. Cada muestra de sedimento por separado fue colocada en una bandeja metálica cubierta con papel de aluminio y homogenizada con una espátula metálica; luego fueron depositados en frascos de vidrio previamente lavados y rotulados, e inmediatamente se colocaron en termos con hielo hasta su traslado al laboratorio para su respectivo análisis.

La razón principal del análisis de plaguicidas organoclorados en sedimentos fue debido a la capacidad de adsorción del suelo y/o sedimento para retener estos compuestos; además, de su lenta degradación, lo que hace que sean más persistentes en el ambiente.

Se tomó la decisión de realizar análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos, debido a que se observaron manchas de aceite en el agua proveniente del Caño El Sahíno, específicamente en la unión que este tiene con el río Papaturre y considerando la información brindada por miembros de **SI - A - PAZ** y **ONG "Amigos de la Tierra"**, quienes afirman que en este sitio se realizan cambios de aceite de las lanchas y de las máquinas utilizadas en las labores de campo,

pensamos que sería necesario conocer el nivel de contaminación en esta zona (Ver fotografía).

MÉTODOS DE ENSAYOS

La metodología utilizada para la determinación de los plaguicidas organoclorados y organofosforados en agua es la publicada por S. Jensen, et al 1991, la cual está detallada en el manual de procedimientos estándares operacionales de la sección de cromatografía de gases del CIRA-UNAN correspondiente al SOP N° MP-CG-AC- 002.

Los análisis de plaguicidas organoclorados en sedimentos se realizaron siguiendo el método de J.P Villanueva, 1993, descrita en los procedimientos estándares operacionales de la sección de cromatografía de gases (CIRA-UNAN), correspondiente al SOP N° MP-CG-AC- 003

Los herbicidas de la familia de las triazinas en agua fueron analizados según el método de Roldf Reupert, 1994. Los análisis de plaguicidas carbamatos en agua de conformidad al método del Prof. A. Moye, et al, 1989, ambos resumidos en el SOP N° MP-CL-MA- 002 y 004 del Manual de Operaciones Estándares de la sección de cromatografía líquida del CIRA-UNAN.

Para realizar los análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) en agua se siguió la metodología descrita por Reiner Schuster, 1994, la cual se encuentra en el SOP N° MP-CG-AL- 004. Los PAH's en sedimentos fueron analizados siguiendo la metodología utilizada por la Agencia Internacional de Energía Atómica, del Manual Guía 11, Intergovernmental Oceanographic Comision, transcrita en el SOP N° MP-CG-AL- 005 del CIRA-UNAN.

RESULTADOS

AGUA

Los resultados de los análisis de plaguicidas organoclorados en agua de los ríos estudiados (tabla 1) no mostraron presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en las muestras de agua analizadas.

Los análisis de plaguicidas organofosforados realizados en las muestras de agua del río Papaturre y sus principales afluentes (tabla 2) presentan concentraciones de plaguicidas organofosforados, entre los que se encuentran están: **malatión** detectado en los puntos río Papaturre y río San Ramón ; el **fentión** fue detectado en todos los puntos de muestreo en concentraciones que oscilan desde **366.76 ng . L⁻¹** (río La Cucaracha) hasta **1562.40 ng . L⁻¹** (río Papaturre – Embarcadero Abelardo); el **etil – paratión** estuvo presente solamente en el punto 3.1 (río Papaturre Embarcadero Abelardo) con una concentración de **22.29 ng.L⁻¹**.

Los resultados de los análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua (tabla 3) presentan bajas concentraciones en los tres puntos estudiados (Punto 2, Punto 3.1 y Punto 3.3) desde <LD a **0.048 ng.mL⁻¹**. De los 12 hidrocarburos aromáticos policíclicos analizados en las muestras de agua solamente se detectaron **fluoreno** (**0.24 ng . mL⁻¹**), **acenafteno** (**0.048 ng.mL⁻¹**) y **Antraceno** (**0.001 ng . mL⁻¹**). El resto de PAH's en los sitios estudiados, alcanzaron concentraciones menores que el límite de detección del método en agua; esto significa que hay presencia de residuos de hidrocarburos de petróleo en las aguas de los ríos y por ende es de esperarse mayores concentraciones en el sedimento.

Los resultados de los análisis de herbicidas triazinas (tabla 4) mostraron concentraciones que variaron desde **4.81 µg . L⁻¹** hasta **892.65 µg . L⁻¹**. El río **La Palma** presentó la mayor concentración de **cyanazina** con **892.656 µg . L⁻¹**. En total se detectaron siete compuestos de herbicidas en agua superficial del río Papaturre, entre los que se encuentran: simazina, cyanazina, atrazina, diurón, propazina, terbutilazina y metaloclor. Se pudo observar además, presencia de estos herbicidas en los principales afluentes del río Papaturre (río San Ramón y Caño El Sahíno) en menores concentraciones (**4.6 a 288.165 µg.L⁻¹**).

Tabla Nº 1 Resultados de plaguicidas organoclorados en muestras de agua del RVSLG, expresados en (ng.L⁻¹)

Nombre del Analito	Río La Palma. Pto. 1	Río La Cucaracha. Pto. 2	Río Papaturre. E. Abelardo. Pto. 3.1	Río San Ramón. Afluente R. Papaturre. Pto. 3.2	Caño El Sahíno. Afluente R. Papaturre. Pto. 3.3	Límite de Detección ng/L	% de Recuperación de la Muestra Fortificada.
Alfa – BHC	nd	nd	nd	nd	nd	0.09	68.7
HCB	nd	nd	nd	nd	nd	-	69.4
Beta – BHC	nd	nd	nd	nd	nd	0.82	67.5
Lindano	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	69.2
Delta – BHC	nd	nd	nd	nd	nd	0.13	68.4
Heptacloro	nd	nd	nd	nd	nd	0.16	58.6
Aldrín	nd	nd	nd	nd	nd	0.41	54.9
Heptacloro epóxido	nd	nd	nd	nd	nd	0.13	52.2
Alfa – Endosulfano	nd	nd	nd	nd	nd	0.19	64.3
Dieldrín	nd	nd	nd	nd	nd	0.50	104.7
pp – DDE	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	97.8
Endrín	nd	nd	nd	nd	nd	0.38	108.5
Beta – Endosulfano	nd	nd	nd	nd	nd	0.02	8.7
pp – DDD	nd	nd	nd	nd	nd	1.04	44.2
pp – DDT	nd	nd	nd	nd	nd	0.19	93.3
Toxafeno	nd	nd	nd	nd	nd	8.70	-

Clave:

nd: Analizado pero no detectado.

RVSLG: Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos.

Tabla N° 2 Resultados de plaguicidas organofosforados en muestras de agua del RSVLG, expresados en (ng.L⁻¹).

Nombre del Analito	Río La Palma Pto. 1	Río La Cucaracha Pto. 2	Río Papaturre E. Abelardo Pto. 3.1	Río San Ramón Afluente R. Papaturre Pto. 3.2	Caño El Sahino Afluente R. Papaturre Pto. 3.3	Límite de Detección ng.L ⁻¹	% de Recuperación de la Muestra Fortificada
Mocap	nd	nd	nd	nd	nd	50.00	75.72
Naled	nd	nd	nd	nd	nd	25.00	55.74
Forate	nd	nd	nd	nd	nd	50.00	76.73
Terbufos	nd	nd	nd	nd	nd	25.00	59.68
Diazinón	nd	nd	nd	nd	nd	25.00	51.41
Metil – Paratión	nd	nd	nd	nd	nd	15.00	80.86
Malatión	nd	nd	35.76	32.09	nd	25.00	75.49
Fentión	1316.43	366.76	1562.40	1256.95	794.20	50.00	80.88
Etil-paratión	nd	nd	22.29	nd	nd	15.00	60.26
Clorfenvifos	nd	nd	nd	nd	nd	25.00	50.62
DEF	nd	nd	nd	nd	nd	15.00	47.78
Etión	nd	nd	nd	nd	nd	20.00	32.03
Gutión	nd	nd	nd	nd	nd	100.00	-
Zolone	nd	nd	nd	nd	nd	15.00	91.43
Coral	nd	nd	nd	nd	nd	50.00	117.93

Clave:

nd: Analizado pero no detectado.

RVSLG: Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos.

Tabla Nº 3 Resultados de hidrocarburos aromáticos policíclicos en muestras de agua del RVSLG, expresados en (ng.mL⁻¹).

Nombre del Analito	Río La Cucaracha Pto. 2	Río Papaturro E. Abelardo Pto. 3.1	Caño El Sahíno Afluente R. Papaturro Pto. 3.3	Límite de Detección ng.mL ⁻¹	% de Recuperación de la Muestra Fortificada
Acenaftileno	<ld	nd	<ld	0.047	65.24
Naftaleno	<ld	<ld	<ld	0.050	46.69
Fluoreno	<ld	<ld	0.024	0.020	110.02
Acenafteno	0.048	<ld	<ld	0.044	119.28
Fenantreno	<ld	<ld	<ld	0.015	81.61
Antraceno	0.001	<ld	0.001	0.001	95.57
Fluoranteno	nd	nd	nd	0.046	63.05
Pireno	<ld	<ld	<ld	0.016	88.16
Criseno	<ld	<ld	<ld	0.022	89.01
Benzo(a)Antraceno	<ld	<ld	<ld	0.023	90.23
Benzo(a)Pireno	nd	nd	nd	0.017	96.28
Dibenzo(a,h)Antraceno	nd	nd	nd	0.024	97.99

Claves:

nd: Analizado pero no detectado.

<ld: El valor está por debajo del límite de detección.

RVSLG: Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos

Nombre del Analito	Río La Palma Pto. 1	Río La Cucaracha Pto. 2	Río Papaturro E. Abelardo Pto. 3.1	Río San Ramón Afluente R. Papaturro Pto. 3.2	Caño El Sahíno Afluente R. Papaturro Pto. 3.3	Río Papaturro Entrada Pto. 3.4	Límite de Detección (µg.L ⁻¹)
Simazina	4.810	11.51	18.79	4.90	nd	nd	2.5
Cianazina	892.66	nd	347.48	nd	nd	nd	2.5
Atrazina	nd	16.34	27.71	26.98	65.68	nd	2.5
Diurón	11.99	nd	20.86	17.19	4.60	nd	2.5
Propazina	164.43	218.70	354.49	288.17	168.56	nd	2.5
Terbutilazina	13.34	nd	9.95	25.24	nd	nd	2.5

Metolaclor	14.37	nd	34.43	nd	nd	nd	20.0
-------------------	--------------	-----------	--------------	-----------	-----------	-----------	-------------

Clave:

nd: Analizado pero no detectado.

RVSLG: Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos

Los resultados obtenidos en los análisis de **Carbamatos** en agua (tabla 5), muestran la presencia única del nematicida **aldicarb** en todas las estaciones de muestreo, alcanzándose el valor más alto en el Punto 1 con $42.303 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, ubicado en el río Papaturro, lo cual significa que se ha estado utilizando este herbicida recientemente, ya que la vida media de este compuesto es muy corta.

Los análisis físico-químicos en los diferentes puntos de muestreo en agua reflejan una mayor concentración de sólidos totales disueltos ($317.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) en el punto 3.3 (tabla 6), en el punto 3.1 fue de $121.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y en el punto 3.2 con $99.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. En los puntos 1 (río La Palma) y 2 (río La Cucaracha) las concentraciones fueron 118.2 y $94.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ respectivamente. Esto significa que al haber un aumento en los sólidos totales disueltos es de esperarse un aumento directamente proporcional en la conductividad eléctrica del agua.

El efecto primario del oxígeno disuelto en agua es sobre las reacciones de oxidación-reducción, las cuales involucran hierro, manganeso, cobre y compuestos que contienen nitrógeno y azufre. La concentración de hierro total en el agua en los puntos 3.1, 3.2 y 3.3 varió de 0.56 a $6.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, lo anterior está relacionado con la formación de especies de Fe^{+3} que unido al oxígeno dá lugar a las especies de óxido férrico (Fe_2O_3), las cuales son constantes y demandan gran cantidad de oxígeno (Minear and Keith, 1982).

Una causa importante de la presencia del hierro es la existencia de suelos arcillosos de origen volcánico (zeolita) en planicie que aportan además cationes como sodio y brindan condiciones idóneas para la presencia de bacterias ferrosas que hacen que el hierro se incremente a través de su oxidación, bajo condiciones anaeróbicas, puede ocurrir también una reducción microbiológica de nitrato a nitrito y por último a nitrógeno atmosférico, otra reacción que se presenta es de sulfato a ácido sulfúrico (Minear and Keith, 1982).

Entre los orígenes importantes, que definen el color de las aguas se encuentra la materia coloidal, la cual se mide en micras, dichas dimensiones se corresponden con la granulometría que se encuentra entre polvo volcánico y material arcilloso; ambos tienen un componente predominante de hierro/manganeso lo que resulta en un color rojizo (oxidación de Fe(II) a Fe(III) y a la formación de hidróxido férrico $[\text{Fe(OH)}_3]$), similar al encontrado en el área de estudio.

Llama la atención que la concentración de O_2 en el punto 3.1, ubicado cerca de la frontera con Costa Rica tiene la concentración más baja de oxígeno, que relacionado con los plaguicidas organoclorados detectados, tanto en su variedad como en su nivel de concentración no es casual; además de las observaciones de la población en el momento del evento (mortalidad de peces), afirmando que ésta situación se presenta cada año durante la época de siembra.

Además de causas antrópicas debe tomarse en cuenta que en todos los puntos influye la disminución de la fotosíntesis por el carácter predominantemente boscoso de la zona muestreada.

SEDIMENTOS

Los análisis de los plaguicidas organoclorados en el sedimentos mostraron presencia de **lindano, heptacloro, dieldrín y pp-DDE**. En los puntos 1 (río La Palma), punto 2 (río La Curacha) y el punto 3.4 (río Papaturro–Entrada) las concentraciones (tabla 7) alcanzaron valores entre **90.60 a 208.50 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$** . No se realizaron análisis de organoclorados en sedimentos en el punto 3.1, río Papaturro frontera con Costa Rica, debido a que el sedimento era muy arenos.

Se observaron mayores concentraciones (tabla 8) de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) en sedimento que las detectadas en agua, las cuales varían desde **<LD a 19.536 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$** . Tomando en cuenta que no debe haber ningún valor de PAH's en esta zona, por considerarse una reserva natural, cualquier concentración por muy pequeña que esta sea podría tener un impacto negativo sobre la vida acuática del ecosistema.

Tabla. Nº 5 Resultados de los análisis de carbamatos en muestras de agua del RSVLG, expresados en ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Nombre del Analito	Río La Palma Pto. 1	Río La Cucaracha Pto. 2	Río Papaturro E. Abelardo Pto. 3.1	Río San Ramón Afluente R. Papaturro Pto. 3.2	Caño El Sahíno Afluente R. Papaturro Pto. 3.3	Río Papaturro Entrada Pto. 3.4	Límite de Detección $\mu\text{g.L}^{-1}$
Aldicarb Sulfón	nd	nd	nd	nd	nd	nd	15.00
Metomil	nd	nd	nd	nd	nd	nd	17.22
Aldicarb	<ld	41.702	42.303	<ld	<ld	<ld	24.75
Propoxur	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Carbofurán	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10.00
Carbaril	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10.00

Clave:

nd: Analizado pero no detectado.

<ld: El valor está por debajo del límite de detección.

RSVLG: Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos.

Tabla Nº 6. Resultados de los análisis físico-químicos en muestras de agua del RVSLG

Parámetro	Pto. 1	Pto. 2	Pto. 3.1	Pto. 3.2	Pto. 3.3	Unidades	Método*	Límite de Detección	Unidades
Turbidez	5.80	3.90	5.20	14.00	16.00	UNT	2130.B		UNT
PH	6.34	7.02	6.68	6.86	6.25	Unds. de pH	4500-H.B		Unds. de pH
Conductividad	156.00	134.00	145.00	109.00	347.00	µS/cm	2500.B		µS/cm
Color	10.00	40.00	40.00	25.00	10.00	UCV	2120.B	5.000	UCV
Sólidos Totales	126.50	103.50	138.50	129.00	344.50	mg/L	2540.B		mg/L
Sol. Tot. Disueltos	118.20	94.10	121.70	99.60	317.50	mg/L	2540.C		mg/L
Sol. Tot. Suspendidos	8.30	9.40	16.80	29.40	27.00	mg/L	2540.D		mg/L
Sol. Sedimentables	< 0.1	< 0.1	1.00	0.60	0.50	ml/L	2540.F		ml/L
Calcio	15.72	10.21	11.78	11.39	41.65	mg/L	3500-Ca.D	0.080	mg/L
Magnesio	6.19	5.47	8.09	5.71	17.87	mg/L	3500-Mg.E	0.200	mg/L
Sodio	11.50	14.80	8.40	7.30	13.00	mg/L	3500-Na.D	0.500	mg/L
Potasio	2.24	3.07	3.51	3.85	2.82	mg/L	3500-K.D	0.100	mg/L
Nitratos	<ld	<ld	<ld	<ld	0.31	mg/L	4110.B	0.050	mg/L
Sulfatos	42.34	6.78	3.64	5.83	161.55	mg/L	4110.B	0.250	mg/L
Cloruros	19.84	13.20	4.33	4.70	3.78	mg/L	4110.B	0.250	mg/L
Carbonatos	a	a	a	a	a	mg/L	2320.B	2.000	mg/L
Bicarbonatos	14.74	63.51	83.32	65.37	27.56	mg/L	2320.B	0.750	mg/L
Dureza Total	64.71	48.03	62.74	51.96	177.46	mg/L	2340.C	0.120	mg/L
Alcalinidad Total	12.60	52.05	68.25	53.55	2.26	mg/L	2320.B	0.620	mg/L
Alcalinidad a la Fenolftaleína	a	a	a	a	a	mg/L	2320.B	1.670	mg/L
Nitritos	<ld	<ld	0.016	0.006	<ld	mg/L	4500-NO2.B	0.001	mg/L
Sílice Disuelto	28.80	12.23	43.63	37.52	48.86	mg/L	4600-Si.D	0.200	mg/L
Fluoruros	0.34	0.23	0.13	0.12	0.53	mg/L	4500-F.D	0.030	mg/L
Hierro Total	1.15	0.56	6.53	4.61	3.30	mg/L	4500-Fe.D	0.040	mg/L
Oxígeno Disuelto	4.10	2.76	0.82	2.66	4.10	mg/L	4500.O.C.		mg/L

Claves:

a: Analizado pero no determinado

<ld: El valor está por debajo del límite de detección.

* Métodos del Standard Methods, 1995

Tabla N° 7 Resultados analíticos de plaguicidas organoclorados en muestras de sedimentos del RVSLG, expresados en (pg.g⁻¹)

Nombre del Analito	Río La Palma Pto. 1	Río La Cucaracha Pto. 2	Río San Ramón Afluente R. Papaturre Pto. 3.2	Caño El Sahíno Afluente R. Papaturre Pto. 3.3	Río Papaturre Entrada Pto. 3.4	Límite de Detección pg.g ⁻¹	% de Recuperación de la Muestra Fortificada
Alfa – BHC	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	61.14
HCB	nd	nd	nd	nd	nd	-	69.90
Beta – BHC	nd	nd	nd	nd	nd	0.50	100.09
Lindano	nd	nd	nd	nd	1.07	0.25	73.77
Delta – BHC	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	78.15
Heptacloro	90.60	nd	nd	nd	88.77	0.25	77.56
Aldrín	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	59.27
Heptacloro epóxido	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	81.32
Alfa – Endosulfano	nd	nd	nd	nd	nd	0.12	83.32
Dieldrín	162.37	208.50	nd	nd	nd	0.25	89.46
Pp – DDE	nd	nd	nd	nd	94.67	0.25	72.17
Endrín	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	86.86
Beta – Endosulfano	nd	nd	nd	nd	nd	0.12	-
Pp – DDD	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	48.44
Pp – DDT	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	-
Toxafeno	nd	nd	nd	nd	nd	12.50	-

Clave:

Nd: Analizado pero no detectado.

RVSLG: Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos.

Tabla N° 8 Resultados de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH'S) en muestras de sedimentos del RVSLG, expresados en (ng.g⁻¹).

Nombre del Analito	Río La Cucaracha Pto. 2	Caño El Sahíno Afluente R. Papaturro Pto. 3.3	Río Papaturro Entrada Pto. 3.4	Límite de Detección ng.g ⁻¹
Acenaftileno	nd	nd	nd	5.50
Naftaleno	<ld	3.45	4.24	3.35
Fluoreno	nd	nd	nd	1.57
Acenafteno	1.99	2.50	13.94	1.64
Fenantreno	3.99	4.29	9.34	1.85
Antraceno	0.22	0.34	0.71	0.08
Fluoranteno	<ld	6.86	3.98	3.92
Pireno	3.19	5.25	19.54	2.96
Criseno	nd	nd	nd	0.50
Benzo(a)Antraceno	1.82	4.01	16.36	1.32
Benzo(a)Pireno	<ld	3.59	6.49	1.75
Dibenzo(a,h)Antraceno	<ld	<ld	2.45	2.21

Clave:

Nd: Analizado pero no detectado.

<ld: El valor está por debajo del límite de detección.

RVSLG: Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos.

DISCUSION

Para interpretar los resultados de los análisis de plaguicidas en agua superficial, es importante comprender el comportamiento físico-químico de los plaguicidas en ésta. La solubilidad de éstos compuestos puede estar en función de varios parámetros; además, de su estructura química, en particular son importantes: el pH, temperatura, concentración de sales y concentraciones de materia orgánica en el agua; la solubilidad puede variar de una clase de plaguicida a otra (Chau and Afghan, 1986). Los siguientes son rangos de solubilidad para los cuatro grupos estudiados:

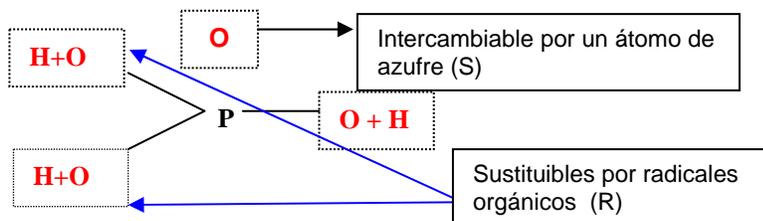
1. Organoclorados – 0.0012 mg.L⁻¹ para el DDT a 7 mg.L⁻¹ de lindano
2. Organofosforados–24 mg.L⁻¹ para el paratión a 2500 mg.L⁻¹ dimetoato
3. Carbamatos – 40 mg.L⁻¹ para el carbaril a 6000 mg.L⁻¹ para aldicarb
4. Herbicidas-5 mg.L⁻¹ para simazina a 890 mg.L⁻¹ para el 2,4D

Es evidente que los plaguicidas pueden estar presentes en el agua en forma disuelta ó como un precipitado si el criterio de solubilidad es excedido. Los plaguicidas también pueden estar asociados con películas orgánicas de la superficie; además los compuestos orgánicos naturales como las sustancias húmicas pueden solubilizar plaguicidas, por ejemplo el DDT ó el 2,4,5-T (Chau and Afghan, 1986).

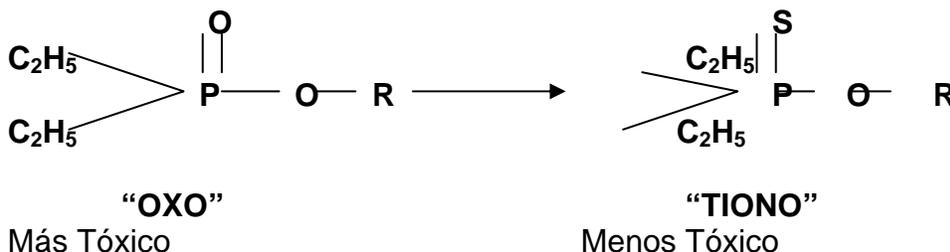
Los residuos de plaguicidas pueden también estar contenidos en partículas suspendidas en la columna de agua, principalmente en detritos de plantas orgánicas en la fracción de tamaño de 250-1000 µm en niveles de 20 a 50 veces más concentrados que en plantas vivientes. Estas partículas están disponibles para ser ingeridas por la biota tales como cangrejo y peces que se alimentan del material suspendido (Chau and Afghan, 1986).

Considerando que las concentraciones más altas obtenidas en las muestras de agua en los ríos monitoreados del Refugio de Vida Silvestre Los Guatusos, las cuales correspondieron al grupo de plaguicidas organofosforados (**Fentió n, Etil-paratión y Malatión**) y estableciendo una relación con los datos físico-químicos, específicamente, con la cantidad de oxígeno disuelto encontrada en el punto 3.1 (río Papaturro) y la toxicidad de los organofosforados, observamos lo siguiente:

Los plaguicidas organofosforados de los cuales se obtienen miles de compuestos distintos, simplemente por la sustitución de los hidrógenos de los 3 oxhidrilos, por radicales de distintos tipos y el oxígeno del átomo de fósforo, por un átomo de azufre (De Faz y Fernández, 1983).



2) Los organofosforados se caracterizan por poseer dentro de su estructura química átomos de azufre unidos al de fósforo los que reciben el nombre de “ Tiono “, los cuales son menos tóxicos que los compuestos “ Oxos “ llamados así cuando el azufre es sustituido por un átomo de oxígeno (De Faz y Fernandez, 1983).



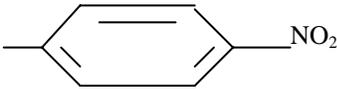
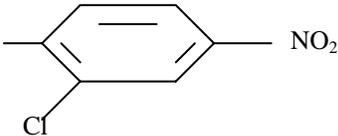
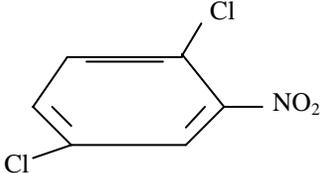
Fotoquímicamente, es común la ocurrencia de la conversión de Fósforo enlazado al Azufre $P \rightarrow S$ a Fósforo enlazado al Oxígeno $P \rightarrow O$, este resultado es hidrolíticamente menos estable y se encuentra en menor escala en el medioambiente; sin embargo, **el mismo proceso ocurre en el cuerpo de los organismos acuáticos con mezclas de la función oxidasa, donde la toxicidad es mayor en los compuestos análogos del oxígeno**, los cuales pudieron afectar a los organismos (peces). Fotoquímicamente, esto también es posible, oxidar el lado de la cadena enlazado a grupos de esteres aromáticos ú otros grupos fácilmente oxidados en la función de ester (Lee and Chau, 1982).

El paratión es el ingrediente activo o el producto madre del cual se derivan dos compuestos: el etil-paratión y el metil-paratión. Los compuestos “etil” son más tóxicos que los compuestos “metil “esto es:

Compuesto	DL ₅₀ (mg . kg ⁻¹)
Etil – Paratión	7
Metil – Paratión	26

Lo anterior nos explica mejor el funcionamiento de los compuestos fosforados, los dos últimos compuestos fueron encontrados en concentraciones medianamente altas en el Punto 3.1 lugar donde sucedió el fenómeno de mortandad de peces.

La introducción de uno o más átomos de halógenos (cloro) en la estructura molecular y aún su propia ubicación dentro de la misma, puede hacer variar la toxicidad de los distintos productos, como por ejemplo (Chau and Afghan, 1986).

Compuesto	Radical	DL ₅₀ mg/kg
Metil- Paratión		26
Dicoptón		475
Clorotión		15000

Biológicamente, los plaguicidas organofosforados actúan interfiriendo con el sistema de enzimas, principalmente acetilcolinesterasa. Los compuestos análogos de oxígeno tienen poca estabilidad por sí mismo, las consecuencias mayores son debidas a que los plaguicidas (compuestos originales) actúan a través de los análogos de oxígeno (Chau and Afghan, 1986).

Es posible que debido al constante intercambio de estos compuestos en el medio acuático, incluyendo los organismos vivos (*in vitro*) tales como los peces, se produjeran especies químicas tóxicas como por ejemplo análogos del oxígeno "oxo" que son más tóxicos, causando la muerte masiva de los peces, en el momento en que se alcanzó mayor concentración de plaguicidas organofosforados arrastrados por las corrientes fluviales hacia el río se produjeron, probablemente, gran cantidad de compuestos análogos tóxicos del oxígeno y como consecuencia ocurrió una disminución de la cantidad de oxígeno disponible, lo cual explicaría la muerte masiva de peces en el río Papaturro siete días antes de este reconocimiento.

Es importante mencionar que no solamente los compuestos organofosforados son responsables de la situación anóxica en el río Papaturro y de su muerte, si no además se confirmó la presencia de considerables concentraciones de otros compuestos entre ellos podemos citar: los herbicidas triazinas, carbamatos y organoclorados, todos ellos causan daño al ambiente acuático en menor o mayor grado. Algunos de ellos, tienen efectos residuales, como es el caso de los plaguicidas organoclorados (su toxicidad es a largo plazo, son bioacumulables).

Si bien es cierto que los herbicidas (triazinas y carbamatos) no tienen un efecto residual sobre los organismos vivos (no se acumulan); sin embargo en concentraciones lo suficientemente altas causan efecto tóxico inmediato y debido a su alto potencial de solubilidad en el agua también pudieron haber causado la muerte masiva de peces.

Existen procesos biogeoquímicos muy relevantes en los que intervienen los **PAH's** una vez liberados dentro del medioambiente acuático. Los PAH's rápidamente forman una masa flotante la cual sufre dispersión, evaporación y disolución. Muchas de las fracciones volátiles, incluyendo los aromáticos livianos se pierden rápidamente, dejando un residuo muy cambiado en su composición química. El espectro es más complicado con la inclusión de fenómenos tales como descomposición bacteriana, adsorción selectiva de compuestos específicos por medio de organismos, fracciones de residuos entre materia particulada, sedimentos y la acción de la luz solar (Moore and Ramamoorthy, 1984).

Los sedimentos y sólidos suspendidos son mezclas complejas de minerales aluminosilicatos, óxidos de metal y materiales húmicos. Las porciones de estos componentes varían ampliamente de un área a otra dependiendo de la formación geológica y el clima, debido a su baja solubilidad acuosa y presión de vapor, los PAH's son absorbidos fuertemente por el material particulado que entra en las aguas naturales y son depositados en los sedimentos, acumulándose en concentraciones altas, por lo tanto el agua generalmente contiene concentraciones bajas de PAH's reflejando una desfavorable partición en la fase acuosa; sin embargo el contenido en organismos acuáticos es más alto que en el agua pero menor que en los sedimentos (Moore and Ramamoorthy, 1984). Lo anterior explicaría los bajos niveles de concentraciones encontradas en el agua de los diferentes ríos estudiados y mayores concentraciones que se han venido acumulando en los sedimentos (tabla 8).

Basados sobre sus propiedades físico-químicas, los PAH's pueden ser agrupados en dos clases: (1) de bajo peso molecular de 2 a 3 anillos aromáticos tales como el naftaleno, fluoreno, fenantreno y antraceno, los cuales son volátiles y relativamente tóxicos a los organismos acuáticos y (2) de alto peso molecular de 4 a 7 anillos aromáticos (criseno-coroneno), éstos no tienen toxicidad aguda pero han sido señalados como cancerígenos (Moore and Ramamoorthy, 1984).

Los cuatro hidrocarburos de la clase 1 estuvieron presente en los sedimentos del río Papaturro (naftaleno, fluoreno, acenafteno, fenantreno, antraceno). Los otros de la clase 2 ó de alto peso molecular como el criseno, benzo (a,h) antraceno, benzo (a) pireno y dibenzo (a,h) antraceno también fueron detectados en menores concentraciones.

CONCLUSIONES

- Los compuestos (plaguicidas y PAHs) detectados tanto en agua como en el sedimento en los diferentes sitios de muestreo, son señalados por la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de uso restringido o altamente tóxicos para los seres vivos.
- Aunque se llegó una semana después de la muerte masiva de peces, y de acuerdo a los resultados obtenidos en este reconocimiento, existe indicación de una fuerte presencia de plaguicidas organofosforados, los cuales formaron sustancias más tóxicas que los compuestos madres, sobrepasando los niveles de tolerancia para los peces.
- El ecosistema del Río Papaturro, no solamente fue alterado por la presencia de varios compuestos agroquímicos (plaguicidas clorados, fosforados, carbamatos, triazinas) en concentraciones razonablemente altas, si no además, por la presencia de compuestos derivados de hidrocarburos (aceites), los cuales agravaron la situación en el ecosistema acuático creando un impacto negativo sobre los organismos vivos.
- La presencia de agroquímicos en los ríos (La Palma, La Cucaracha, Papaturro, San Ramón, Caño El Sahíno) se debe a la utilización de los mismos en las zonas aledañas (áreas cultivables), que con las corrientes producto de las lluvias, son arrastrados hacia los ríos.

RECOMENDACIONES

Debido a que no es la primera vez que se da el problema de mortandad de peces en el área de reconocimiento, se sugiere lo siguiente:

1. Monitoreo sistemático y dirigido que incluya la selección de dos o más puntos de muestreo a lo largo de un mismo curso de agua superficial.
2. Inclusión de otros parámetros tales como DBO5, DQO, aceites y grasas, temperatura, además de análisis bacteriológicos e hidrobiológicos (fitoplancton y zooplancton).
3. Diseñar una estrategia de manejo enfocada al control y remediación de la contaminación soportada con un manejo integral de la cuenca donde se encuentra localizada el RVSLG.

BIBLIOGRAFIA

- Castillo L., Chaverri F., Ruepert C., Wesseling C., 1995. **“Manual de Plaguicidas: Guía para América Central”** Programa de Plaguicidas, Desarrollo, Salud y Ambiente. Heredia, C.R.: EUNA, Primera edición.
- Henao H. S. and Corey O. G., 1986. **“Plaguicidas Organofosforados y Carbamatos”**, Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS/OMS, Metepec, México.
- Worthing R. Charles;M.A.; D. Phil. **“The Pesticide Manual”** 1987.A World Compendium, Eighth Edition, Published by The British Crop Protection Council,
- García González, Jaime E., 1997. **“Introducción a los Plaguicidas”**, Primera Edición, San José, Costa Rica.: EUNED, 476 P.
- Moore E.J. and Ramamoorthy.S.,1984. **Organic Chemicals in Natural Waters**, Applied Monitoring and Impact Assessment. Springer-Verlag. New York Berlin Heidelberg Tokyo, pp: 67-80.
- Alberto B. De Faz A. B., y Fernández de Cossío,. 1983. **Principios de Protección de Plantas**. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, Editorial Científico-Técnica ciudad de La Habana. pp: 146-153.
- Minear Roger A. and Keith L. H.,1982.**Water Analysis, Volume I, Inorganic Species, Part 1**. pp: 20-21, Academy Press, Inc.
- Chau Alfred S.Y. and Afghan B.K.,1986. **Analysis of Pesticides in Water, Volume I, Significance, Principles, Thechniques, and Chemistry of Pesticides**, pp: 2-7.
- Standard Methods, 1985. **For The Examination of Water and Wastewater**, 16TH Edition, APHA, AWWA, WPCF