



RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN AGUA DE POZOS EN CHINANDEGA, NICARAGUA

Artículo Original

Salvador Montenegro Guillén y Mario Jiménez García

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Apdo. Postal 4598, Managua, Nicaragua. Correo electrónico: salmon@cira-unan.edu.ni

Palabras clave: Aguas Subterráneas, Residuos Plaguicidas, Calidad Agua.

Recepcionado: 02 Julio 2009 / Aceptado: 03 Diciembre 2009

RESUMEN

Se investigó la calidad físico-química, microbiológica y aspectos toxicológicos por la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en el agua de quince pozos excavados a mano que abastecen a campesinos en el Departamento de Chinandega, Nicaragua, durante el primer semestre del año 2006. Los resultados analíticos muestran presencia de residuos de plaguicidas empleados en el cultivo del algodón, caña de azúcar y banano. El residuo del Dibromocloropropano (DBCP, Nemagón o Fumazone) se encontró en todos los pozos muestreados, con concentración máxima de $0.0045 \mu\text{gL}^{-1}$. Otros Plaguicidas, como el Hexaclorobenceno, Dieldrin, y metabolitos del DDT, también fueron encontrados en la mayoría de los pozos. El Toxafeno fue encontrado solamente en uno de los pozos. El empleo de integradores pasivos de muestras de plaguicidas organoclorados, a base de membranas semipermeables o SPMD colocados en el agua de los pozos, facilitó la captación de los residuos de los compuestos encontrados para su identificación analítica. La calidad microbiológica del agua, estimada a partir de la presencia de bacterias coliformes fecales de origen humano y animal, resulta inaceptable para consumo humano.

INTRODUCCIÓN

El uso intensivo de agroquímicos, especialmente plaguicidas organoclorados en la agricultura a partir de 1950, introdujo cantidades importantes de residuos de estos tóxicos a suelos, aguas y la red trófica en el occidente de Nicaragua (Alvarez, 1994; Carvalho et al 1999 y 2003; Cuadra, 1997; López, 2000). La población expuesta en el ambiente contaminado, incorporó algunos de estos residuos a su organismo. Se ha encontrado y cuantificado residuos de plaguicidas organoclorados en sangre de hombres, y en sangre, grasa y leche materna de mujeres habitantes en Chinandega (Cruz et al, 1997; Rugama et al 1993 a y b).

Las aguas subterráneas en la planicie del occidente de Nicaragua, se presentan en un acuífero somero que ha sido contaminado desde la zona no saturada, desde los pozos excavados artesanalmente, o desde los ríos que han recibido la escorrentía superficial de los campos de cultivo. Moncrieff et al (2006) presenta diferentes escenarios del transporte de los residuos de plaguicidas desde la superficie de los suelos hacia las aguas subterráneas someras. La proximidad de los suelos como fuentes difusas de contaminación al agua que se infiltra y luego es extraída manualmente para abasto humano explicaría la presencia de residuos



tóxicos en el agua, cuya calidad se complica a niveles inaceptables por contaminación con excretas humanas y animales. No obstante, la dinámica de recarga del acuífero profundo, basada en infiltración desde las elevaciones de la Cordillera de los Maribios, posibilita a través de pozos perforados mecánicamente, acceder a agua de mejor calidad (Delgado, 2003; Martínez, 2000).

En vista que la distribución de los residuos de agroquímicos contaminantes en biota, aguas subterráneas, superficiales y sedimentos de los estuarios del occidente de Nicaragua ha sido ampliamente documentada en la literatura, existe relativa vulnerabilidad de la población que depende para su abasto de agua potable de los pozos excavados manualmente, en caso estos residuos continúen presentes en el agua de consumo. Existe además vinculación establecida entre patologías agudas y crónicas con la exposición humana a los compuestos tóxicos cuyos residuos han sido encontrados (EPA,a,b,c,d; IARC, Ratnaningsih et al, 2002). Por

estas razones el presente estudio busca establecer la presencia de residuos de los plaguicidas organoclorados más comúnmente usados en las planicies de occidente en pozos someros empleada para consumo humano en localidades de antiguas plantaciones bananeras en el occidente de Nicaragua, y otras formas de contaminación como la bacteriana, ligada a las condiciones antihigiénicas que prevalecen en los pozos familiares, y así contribuir a apoyar acciones que disminuyan las condiciones de exposición de la población a estos riesgos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se identificó un grupo de diez pozos excavados a mano, que aún son empleados como fuente de abasto para agua potable, usados por familias de trabajadores en zonas de antiguas plantaciones bananeras en el Departamento de Chinandega, con historial de cultivo de bananos y aplicación de diferentes agroquímicos persistentes. Estos pozos, ubicados al oeste y noroeste

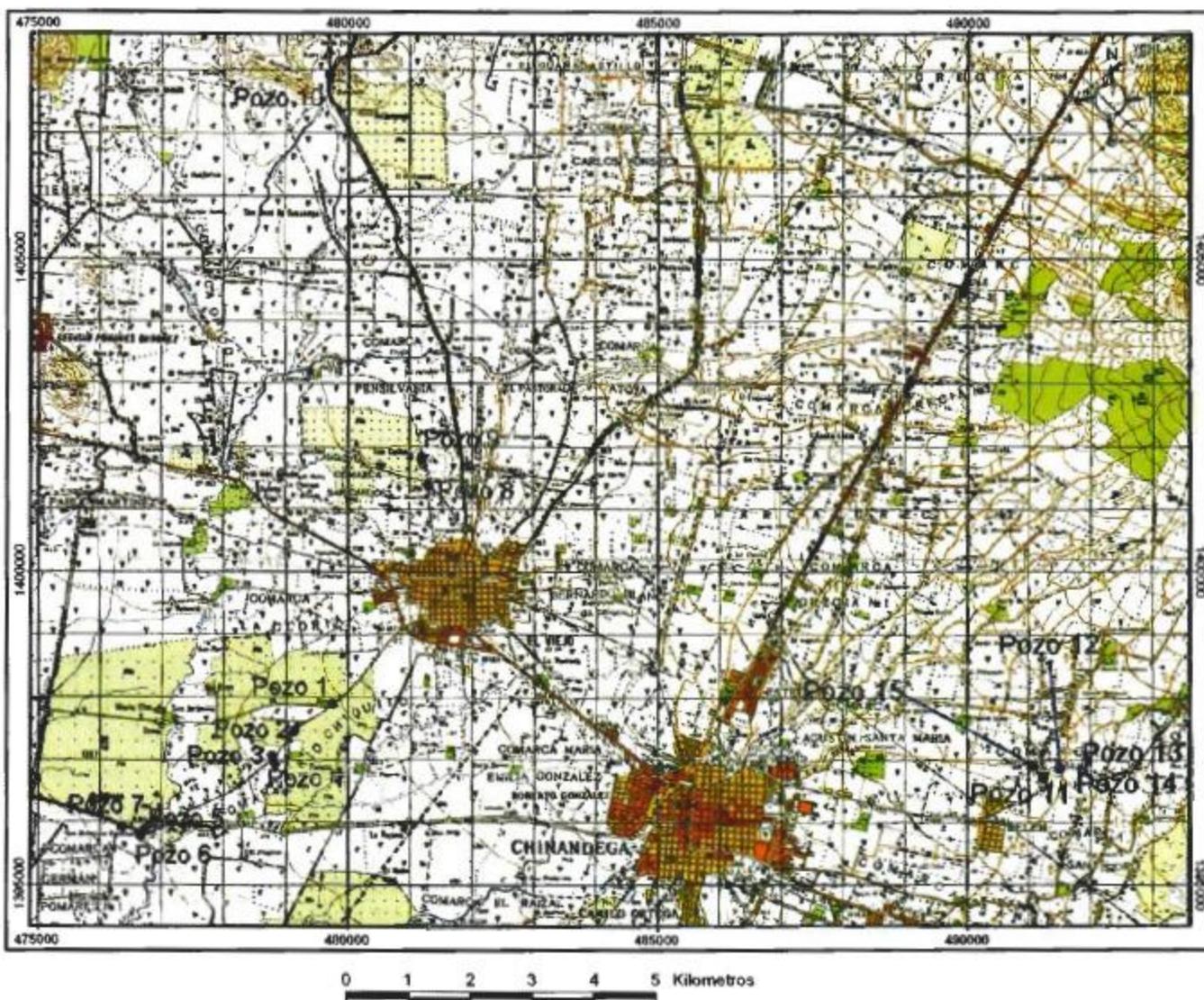


Figura 1. Ubicación de los Pozos Estudiados



de El Viejo, Chinandega, aparecen identificados del 1 al 10, en la figura No. 1. Además, otro grupo de cinco pozos al este de Chinandega, identificados del No. 11 al 15, corresponden al área en la cual el cultivo intensivo del banano no se realizó, ubicados en la Comarca La Mora aproximadamente dos kilómetros al sureste de la ciudad de Chinandega por lo que estos cinco pozos han sido considerados para comparación de control.

Con el fin de producir los datos necesarios, en cada uno de los quince pozos seleccionados, se obtuvieron las muestras siguientes:

- A Muestra integrada de agroquímicos, usando muestreador pasivo a base de membranas semipermeables (SPMD). En vista del carácter hidrofóbico de los plaguicidas organoclorados, se estimó necesario usar integradores pasivos capaces de capturar concentraciones pequeñas de sus residuos (U.S.Geological Survey). La colocación de los medios de muestreo se realizó los días 28 y 29 de Marzo del 2006, y fueron retirados Los días 26 y 27 de Abril, un mes después de la siembra de los muestreadores pasivos, se procedió a retirar las membranas con sus protectores. La forma en que se colocó en cada pozo la membrana SPMD, se ilustra en la Figura 2.
- B Muestra de agua para análisis microbiológico. En relación con la información bacteriológica del agua de los pozos, se colectó muestras de agua para análisis de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes (también llamadas coliformes fecales), *Escherichia coli* y *Streptococcus fecalis*. Las muestras de agua fueron analizadas por el método de los tubos múltiples y los resultados fueron expresados en unidades NMP/100 ml (número más probable por 100 ml). En los 10 pozos a estudio ubicados en la zona próxima a las fincas bananeras y en los pozos tomados como control se investigaron la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en agua así como la contaminación por indicadores de las bacterias enteropatógenas con el fin de valorar la calidad bacteriológica del agua de consumo humano.
- C Muestra de sedimentos del fondo del pozo, para análisis de plaguicidas organoclorados y para análisis de contenido de materia orgánica.

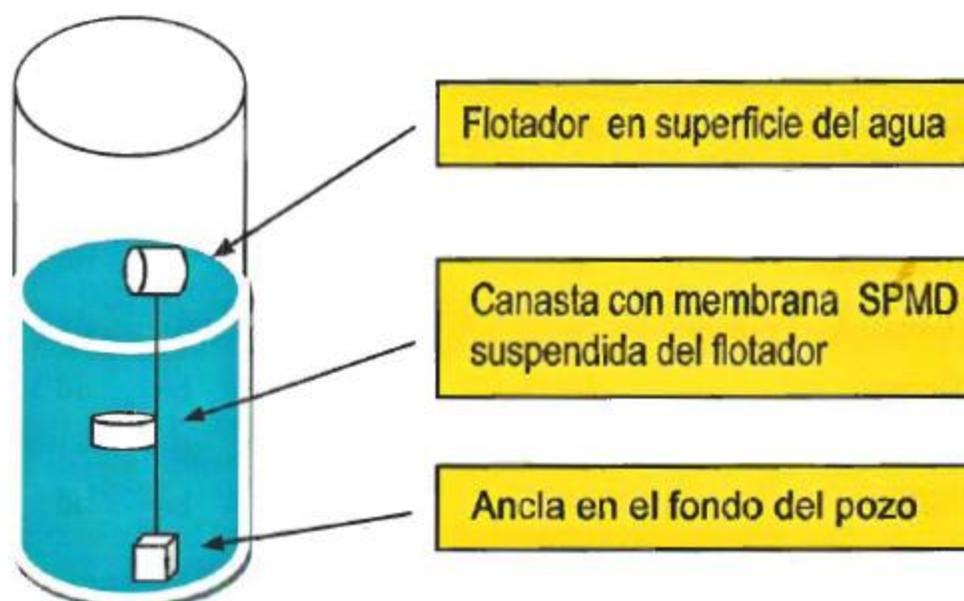


Figura No. 2.
Diagrama de los pozos excavados estudiados, ilustrando la ubicación del integrador pasivo de muestras de plaguicidas en agua a base de membranas semipermeables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis practicados a las muestras de agua, corresponden al contenido de los extractos que se captura en las membranas SPMD (USGS) que fueron incubadas en cada uno de los pozos durante un mes. El contenido oleaginoso de cada bolsa de aproximadamente un centímetro de ancho por noventa y siete de largo, cubierta con membrana semipermeable, captura por su gran área, concentra y almacena los residuos de plaguicidas que se encuentran en el



agua y que atraviesan dicha membrana, por el principio físico de la difusión, posibilitándose el movimiento neto de las partículas a través de la membrana semipermeable de un medio de mayor concentración hacia uno de menor. La incubación prolongada (un mes) posibilita el tránsito de los residuos hasta alcanzar el equilibrio que estabiliza la concentración final dentro de la bolsa. Esta integración pasiva de muestras de contaminantes supera la fiabilidad del muestreo instantáneo tradicional consistente en una alícuota de agua.

Las variables que se ha escogido analizar por cromatografía gaseosa, son los plaguicidas cuyos residuos proceden del antiguo cultivo del algodón, caña de azúcar, y banano. Estos residuos en el actual estudio son buscados y analizados tanto en los integradores pasivos (SPMD) como en los sedimentos.

En lo que respecta a las muestras para análisis de los plaguicidas organoclorados en agua de los pozos, no fue posible obtener muestras del pozo No. 5 del área de estudio, ni de los pozos No. 11 y No. 12 del área control, por pérdida de las condiciones necesarias de comparación con los otros pozos, tal como extracción no autorizada de la canasta con la membrana (Pozo No.5), desecación del pozo No. 11, inhabilitación del No.12.

TABLA No. 1: Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados en agua de pozos excavados, Chinandega. Muestreo pasivo por membranas SPDM incubadas durante treinta días.

(Expresados en $\mu\text{g L}^{-1}$)

Plaguicidas	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 6
1,2- Dibromo-3-Chloropropane (DBCP)	0.0045	0.0024	0.00062	0.0008	0.0025
Hexachlorobenzene (BHC)	0.0000052	0.000029	nd	0.000012	0.00005
alpha-Benzenehexachloride (α - BHC)	nd	nd	nd	nd	nd
beta-Benzenehexachloride (β - BHC)	0.00039	nd	nd	nd	nd
delta-Benzenehexachloride (δ - BHC)	nd	nd	nd	nd	nd
Lindane	nd	nd	nd	nd	nd
Heptachlor	nd	nd	nd	nd	0.000003
Heptachlor Epoxide	0.0014	nd	nd	nd	nd
Aldrín	nd	nd	nd	nd	nd
Dieldrín	0.0062	0.000069	nd	0.000053	0.000044
Endrín	nd	nd	nd	nd	nd
Endosulfan	nd	nd	nd	nd	nd
Endosulfan-II	nd	nd	nd	nd	nd
p,p'- DDE	0.0004	0.000022	0.000022	0.000024	0.000072
p,p'- DDD	0.019	0.00014	nd	nd	0.000033
p,p'- DDT	nd	nd	nd	0.000066	0.00032
Toxaphene	0.52	nd	nd	nd	nd

nd: no detectado



Para efecto de análisis y comparación con estándares internacionales de los valores encontrados $\mu\text{g L}^{-1}$ para cada uno de los compuestos estudiados, todos los valores reportados por los laboratorios fueron convertidos a $\mu\text{g L}^{-1}$ (ppb).

Plaguicidas en agua de pozos excavados

La presencia del Dibromocloropropano (DBCP), fue detectado en pequeñas cantidades en las aguas de todos los pozos estudiados, tanto en los ubicados en el área cercana a las fincas bananeras como en los pozos tomados como controles. Un resumen de los resultados analíticos, Plaguicidas en Agua, se observa en la Tabla No. 1, que muestra residuos de once diferentes tipos de plaguicidas.

Entre los más frecuentes se encuentra el DBCP que se identificó en el 100% de los pozos estudiados, en ocho pozos (66.6%) fue detectado el pp-DDE, el Dieldrin en siete pozos (58%), el pp-DDT fue identificado en cuatro pozos (33%), en tanto que el Endrín y el pp-DDD cada uno de ellos fue identificado en dos pozos y el b-BHC, Heptacloro, Heptacloro hepóxido y Toxafeno fueron detectados cada uno de ellos en un pozo diferente (8%).

El hecho que en la actualidad el DBCP haya sido encontrado en pequeñas cantidades, evidencia que ha sido empleado en el occidente del país y ha llegado contaminando el manto freático dado su presencia en los pozos excavados.

Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Pozo 10	Pozo 13	Pozo 14	Pozo 15
0.0025	0.002	0.0008	0.00085	0.00092	0.000044	0.00024
0.00007	0.000035	nd	nd	0.000045	nd	0.000014
nd						
nd						
nd						
nd						
nd						
nd						
nd						
0.000013	nd	0.000032	nd	nd	nd	0.000006
nd	nd	0.00014	nd	nd	nd	0.000011
nd						
nd						
0.000038	0.000022	0.000044	0.000017	nd	nd	0.000008
nd	0.000045	0.000037	0.000037	nd	nd	0.000007
nd	nd	0.00013	nd	nd	nd	0.00017
nd						



Residuos de plaguicidas en sedimentos del fondo de pozos

En la Tabla No. 2, se resume los resultados analíticos del contenido de residuos de plaguicidas en los sedimentos del fondo de los pozos.

Resulta relevante mencionar que las concentraciones de los escasos residuos encontrados, corresponden a los de la familia del DDT, exceptuando el Dieldrin en tres casos y uno con Toxafeno.

Aparentemente la fuente de contaminación de estos sedimentos es la del suelo superior, que podría llegar vía polvo acarreado vía aérea, o por escorrentía superficial ocasional en lluvias, dada la falta de protección de estos pozos.

Análisis Bacteriológicos

El estudio bacteriológico para valorar la calidad del agua de los pozos se basó en el análisis de organismos Coliformes totales, Coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y *Streptococcus fecalis*, que son bacterias indicadores enteropatógenas de reconocida importancia en la etiología de las enfermedades transmitidas por el agua.

Como resultado se obtuvo que en la mayoría de las aguas de los pozos estudiados se encontraron estos organismos indicadores de contaminación fecal muy superior a los valores considerados aceptables. Todos estos datos evidencian un alto riesgo de incidencia de gastroenteritis por organismos enteropatógenos, parasitosis intestinales de variadas etiologías y otras enfermedades de transmisión hídricas en las poblaciones que consumen estas aguas contaminadas.

En principio se puede señalar que existe evidencia de contaminación de las aguas de consumo humano de todos los indicadores de contaminación antes referidos en todos los pozos estudiados a excepción del pozo No. 7 del área de estudio y del No. 14 del área control donde no se encontraron indicios de contaminación de las aguas por *E. coli*.

En base a los análisis reportados los pozos que reportan mayores niveles de contaminación bacteriana son el No. 1 y No. 2 del área de estudio y los menos contaminados corresponden a los No. 7 del área de estudio y el No. 14 del área control.

Plaguicidas	Pozo 1
α-BHC	nd
β-BHC	nd
Lindano	nd
Delta-BHC	nd
Heptacloro	nd
Aldrín	nd
Heptacloro-Epóxido	nd
α-Endosulfano	nd
Dieldrin	0.17
PP- DDE	0.44
Endrín	nd
β-Endosulfano	nd
PP-DDD	3.54
PP-DDT	nd
Toxafeno	82.07
DBCP	nd

nd : No detectado

Pozo 2: Sustrato rocoso impidió la toma de

Plaguicidas	Pozo 1
Coliformes Totales	1.60E ⁺⁰⁴
Coliformes Termotolerantes	9.00E ⁺⁰³
<i>Escherichia coli</i>	2.60E ⁺⁰²
Estreptococos fecales	9.00E ⁺⁰³



TABLA No. 2 Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados en sedimentos del fondo de pozos excavados, Chinandega. Unidades $\mu\text{g.kg}^{-1}$

Pozo 3	Pozo 4	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Pozo10	Pozo 13	Pozo 14	Pozo 15
nd	nd	nd							
nd	nd	nd							
nd	nd	nd							
nd	nd	nd							
nd	nd	nd	nd	0.29	nd	nd	nd	nd	nd
nd	nd	nd							
nd	nd	nd							
nd	nd	nd							
nd	0.28	0.21	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2.49	2.75	0.91	1.52	5.16	0.67	2.19	0.16	0.37	0.49
nd	nd	nd							
nd	nd	nd							
nd	1.94	nd	nd	1.39	nd	nd	nd	nd	nd
0.48	0.92	0.82	0.68	2.56	0.8	0.96	nd	0.3	1.24
nd	nd	nd							
nd	nd	nd							

muestras de sedimentos.

En la Tabla 3 se presenta los resultados analíticos bacteriológicos

Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Pozo10	Pozo 13	Pozo 14	Pozo 15
$>1,60\text{E}^{+04}$	3.00E^{+03}	1.40E^{+03}	1.60E^{+04}	9.00E^{+03}	8.00E^{+02}	1.10E^{+04}	1.10E^{+04}	5.00E^{+04}	4.00E^{+01}	8.00E^{+02}
3.00E^{+03}	6.00E^{+01}	6.00E^{+02}	5.00E^{+03}	2.40E^{+03}	2.30E^{+02}	3.00E^{+02}	3.00E^{+03}	1.40E^{+03}	4.00E^{+01}	3.00E^{+02}
1.70E^{+03}	2.00E^{+01}	1.70E^{+02}	2.00E^{+01}	< 2	1.30E^{+02}	4.00E^{+01}	2.70E^{+02}	4.00E^{+01}	< 2	1.70E^{+02}
9.00E^{+03}	1.30E^{+03}	5.00E^{+02}	2.20E^{+02}	1.10E^{+03}	3.00E^{+02}	8.00E^{+01}	2.30E^{+02}	2.80E^{+03}	7.00E^{+01}	2.30E^{+02}

CONCLUSIONES

La presencia del Dibromocloropropano (DBCP) fue registrada en pequeñas concentraciones en el agua de todos los pozos analizados, tanto en los ubicados en las áreas de cultivo del banano como en el área control.

Además del DBCP, otros plaguicidas organoclorados fueron encontrados, siendo más frecuentes el Hexaclorobenceno (BHC), el pp-DDE y el Dieldrin; y en menor frecuencia el β -BHC, Heptacloro, Heptacloro epóxido, Endrín, pp-DDD, pp-DDT y Toxafeno.

Es la primera vez que se incluye la búsqueda de DBCP en conjunto con la de otros plaguicidas, y es la primera vez que se reporta su presencia en aguas subterráneas en Nicaragua. Esto sugiere que residuos de otros plaguicidas o



sus metabolitos podrían también encontrarse en el agua de consumo, pero no han sido buscados apropiadamente. El empleo de integradores pasivos de muestras de plaguicidas organoclorados, a base de membranas semipermeables o SPMD colocados en el agua de los pozos, se estableció como método de muestreo confiable para aguas subterráneas, y facilitó la captación de estos compuestos a pesar de las pequeñas concentraciones ambientales para su identificación analítica.

La presencia actual de residuos del DBCP en estos pozos, que son alimentados por aguas subterráneas, indica el uso previo del mismo en el área estudiada, y su movilidad desde los sitios de aplicación originales hacia zonas en las que no fue empleado, como es la zona de control de este estudio.

En aguas de los pozos estudiados no se reportaron residuos de α -BHC, δ -BHC, Lindano, Aldrín, Endosulfano y Endosulfano II.

En la totalidad de las aguas de los pozos estudiados se encontraron concentraciones elevadas de bacterias indicadoras de contaminación fecal tanto de origen humano como animal, lo que las hace no solamente no aptas para el consumo humano, sino que las convierte en un riesgo sanitario severo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan gratitud al CIRA/UNAN, especialmente a los compañeros del Laboratorio de Contaminantes Orgánicos, del Laboratorio de Microbiología y del Laboratorio de Radioquímica Ambiental por la calidad y apoyo brindados, así como al CNU, Fondos SOTEC por su apoyo parcial en el funcionamiento del presente.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, J. A. (1994). Niveles de Contaminación de las Aguas de la Cuenca del Río Atoya por Residuos de Plaguicidas Organoclorados y Organofosforados Aplicados en el Cultivo del Algodón, Tesis de Maestría. Universidad Federal del Pará – Centro de Geociencias, 1994.

Carvalho, F.P., Montenegro-Guillen, S., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Bartocci, J., Lacayo, M., Cruz, A. (1999). Chlorinated hydrocarbons in coastal lagoons of the Pacific coast of Nicaragua. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 36:132-139

Carvalho, F.P., Montenegro-Guillen, S., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Tolosa, I., Bartocci, J., Lacayo, M., Cruz, A. (2003). Toxaphene residues from cotton fields in soils and in the coastal environment of Nicaragua. *Chemosphere* 53:627-636

Castilho, J.A., Fenzl, N., Montenegro-Guillén, S., Nascimento, F., (2000) Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in the Atoya river basin, Chinandega, Nicaragua. *Environmental Pollution* 110:523-533

Cruz, A., Dorea, J., Lacayo, M. (1997). Organochlorine Pesticides in adipose Tissue of Nicaraguan Mothers. *Toxicol, Environ. Chem.* 1997; 60:139-147.

Cuadra, J., Cruz, A., Lacayo, M. (1997). Plaguicidas Organoclorados en Sangre de Madres del Departamento de Chinandega. CIRA-UNAN, Estudio Presentado en el VII Congreso Científico de la UNAN-Managua.

Delgado, V. (2003). Groundwater flow System and Water Quality in a Coastal Plain Aquifer in Northwestern Nicaragua. Tesis de Maestría, presentada en la Universidad de Calgary, Canadá.

EPA (a) <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>,



- EPA (b) http://www.epa.gov/safewater/ccl/pdfs/reg_determine1/support_cc1-aldrin-dieldrin_healtheffects
- EPA (c) : Technical Factsheet on: DIBROMOCHLOROPROPANE (DBCP) (Online) <http://www.epa.gov/OGWDW/dwh/t-soc/dbcp.html>
- EPA (d): <http://www.epa.gov/safewater/dwh/c-soc/dibromoc.html>
- International Agency For Research In Cancer (Online) : 1,2-Dibromo-3-chloropropano (Group 2B) <http://www.iarc.fr/>
- López, A. (2000). Estudio de la Contaminación por Plaguicidas en el Acuífero y Suelos de la Región León-Chinandega, Nicaragua. Presentado X Congreso Científico, 25-29 Septiembre 2000. UNAN-Managua.
- Martínez,V.(2000). Caracterización Isotópica e Hidroquímica del Acuífero León-Chinandega. Presentado X Congreso Científico, 25-29 Septiembre 2000. UNAN-Managua.
- Moncrieff,J.E., Bentley, L.R., Calderón, H. (2006). Investigating pesticide transport in the León-Chinandega aquifer, Nicaragua. *Hydrogeology Journal*. Springer. Official Journal of the International Association of Hydrogeologists. ISSN: 1431- 2174 (versión impresa), ISSN: 1435-0157 (versión electrónica)
- Montenegro-Guillen, S.(1994). Studies on the Fate and Cycling of Agrochemical Residues From Cotton Culture in a Watershed in Nicaragua. Presentado en el Seminario Internacional del Agua " Contaminación de Cuerpos de Agua Superficiales y Subterráneas por Fuentes no Puntuales" CEE, IMTAM, CNA. Mazatlán, México. Junio 27-30, 1994.
- Montenegro-Guillen,S., Lacayo,M., Picado,F., Lopez, A., (1999). "Organochlorine pesticides in sediment and biological samples from the coastal lagoons in Nicaragua." Use of Nuclear and related techniques in studies of agroecological effects resulting from the use of persistent pesticides in Central America, IAEA-TECDOC-1116.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1988). Guías para la calidad del agua potable. Publicación científica No. 508. Vol. 3.
- Ratnaningsih,D.M., Helmy, B.E., Nety, W., Heni, P. (2002). A survey on water pollution by Endocrine Disrupter compounds: Monitoring of Organochlorine Pesticides, Phenols and Phthalates In The Coastal Hydrosphere of Indonesia. (Online): <http://landbase.hq.unu.edu/Countryreports/Indonesia/Finalphthalates.htm>
- Rugama, R., Pitty, J., Calero, S. & Lacayo, M. (1993): Concentraciones de Residuos de Plaguicidas Organoclorados en Leche Materna de Madres Lactantes de la Ciudad de León, Nicaragua. Presentado en I 3er Congreso Científico de la UNAN -Managua, Agosto 24-26, 1993.
- Rugama, R., Calero, S., Fomsgaard, I., Lacayo, M. (1993) Levels of Organochlorine Residues in Blood Plasma from Three Populations in Nicaragua. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 51:53-159. 1993.
- United States Geological Survey, Semipermeable Membrane Devices. (Online) http://www.aux.cerc.cr.usgs.gov/SPMD/spmd_overview.htm
- Vammen,K., Cruz,O., Vargas, H., Cruz, A., Delgado, V., López, G., Medrano, E., Cuadra, J.,Lacayo,M., Flores, S., Pitty, J., Altamirano, M., Salvatierra, T. (1999). Diagnóstico de la Calidad Toxicológica de las Aguas y Suelos y Calidad Bacteriológica de las Aguas del Municipio del Posoltega. Proyección y Efectos Potenciales en la Salud y el Medio Ambiente. CIRA/UNAN, Reporte a la Organización Internacional para la Migración, Octubre 1999.
- World Health Organisation. (2004). Guidelines for Drinking-water Quality. Third Edition.