

PERSISTENCIA DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN SUELOS, AGUA Y SEDIMENTOS DE LA CUENCA DEL TUCUTUNEMO, MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA.

Samuel Cárdenas ¹ y Adriana Márquez ²

¹Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales - Universidad de Carabobo, CIHAM-UC, estado Aragua, Venezuela;

²Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales - Universidad de Carabobo, CIHAM-UC. estado Carabobo, Venezuela

Autor de contacto: sfcardenas@uc.edu.ve; +426-5330541

Resumen

La determinación de plaguicidas organoclorados (POC) en suelos agrícolas, promovió al estudio de las propiedades físicas y químicas de los suelos, sedimentos y aguas del río Tucutunemo. Las muestras de suelo se tomaron a 20 cm de profundidad, en cinco puntos. Las muestras de agua y sedimentos se obtuvieron del río en tres estaciones; los suelos se secaron al ambiente y cernieron. Los resultados del laboratorio de suelo, revelaron textura predominante franco-arcillosa, buena fertilidad, materia orgánica en el rango media-alta y pH alrededor de 7. En el suelo, se observaron concentraciones de: Aldrín; 4.4'-DDE; 4.4'-DDT, en el rango 2,0 a 10,8 µg/Kg; los POC presentes en sedimentos fueron: Heptacloro, Aldrín, o.p-DDE, y p.p'-DDT, con concentraciones entre 0,2 a 7,20 µg/Kg. En el agua, los POC, mostraron valores menores a 0,02 µg/L. Se concluye que hay POC en los suelos, sedimentos y aguas de la cuenca del Tucutunemo.

Palabras claves: Plaguicidas Organoclorados; Cromatografía; Tucutunemo

Introducción

El suelo representa un ecosistema donde se puede encontrar compuestos tóxicos como plaguicidas, hidrocarburos, metales pesados, entre los más importantes. Además, el suelo como cuerpo natural, es el hábitat de bacterias, hongos, virus y plantas superiores que sirven para la alimentación del hombre y los animales a través de los ciclos tróficos (Fernández et al, 2006)

La agricultura moderna, usa plaguicidas para proteger los cultivos de organismos no deseados como insectos, roedores, hongos, malezas que afecta la calidad de la producción agrícola, la salud humana y el ambiente. Por otra parte, los agricultores se enfrentan a una creciente demanda de alimentos que los obliga a usar fertilizantes y plaguicidas para asegurar sus cosechas con relativo poco trabajo humano, Baird, C. (2001).

Sin embargo, en la mayoría de las áreas rurales, la utilización de plaguicidas se caracteriza por un elevado consumo y aplicación descontrolada de plaguicidas, así como bajo nivel de asesoramiento e incumplimiento de las recomendaciones técnicas relacionadas al tipo de producto a usar, dosis y plazos de espera. (Sandia et al, 2000).

Además, entre los grandes grupos de plaguicidas, se destacan los Plaguicidas Organoclorados (POC), que son compuestos que contienen en su estructura química carbono, cloro e hidrógeno, con enlaces cloro-carbono muy fuertes lo cual hace que no se descompongan fácilmente. Los POC son hidrofóbicos y peligrosos para el hombre, animales y ecosistemas debido a su

composición química, persistencia y bioacumulación en la cadena alimentaria con alto contenido de grasa.

En Venezuela, el uso de POC se inició a partir de 1944, para el control de la malaria y en la década de los 60 y 70 se aplicaron con fines agrícolas bajo el impulso de la Reforma Agraria. (Medina et al, 2010).

La presente investigación se desarrolló en la cuenca del Tucutunemo, ubicado al NE de la población de Villa de Cura, municipio Zamora, estado Aragua, entre las coordenadas U.T.M. Norte 1.110.000– 1.123.000 y Este 666.000 – 685.000, con una extensión geográfica de 132 km², (Olivar, et al, 2007). La cuenca es un significativo sector agrícola del Estado Aragua, que posee importancia estratégica, ya que ha sido por más de 20 años el primer productor de semilla certificada de maíz y Sorgo. (Pérez y Nieves, 2004). También se producen otros rubros como: caraotas y la mayoría de hortalizas como papas, zanahorias y especies. .

El objetivo del trabajo fue describir las propiedades físicas y químicas de los suelos de cultivos, sedimentos y aguas del río Tucutunemo y determinar la persistencia de POC en suelos, sedimentos y agua del río Tucutunemo. Por tanto, dada las características físicas y química de los suelos, la actividad agrícola y el uso intensivo de plaguicidas, se plantea la hipótesis, que estos suelos pudieran estar contaminados con POC. Los resultados de esta investigación serán de interés para agricultores, personal del INSAI, HIDROCENRO y planificadores de la producción agrícola de la región.

Materiales y Métodos

El área de estudio, corresponde a los suelos agrícolas de la Cuenca del río Tucutunemo con cultivos distintos como maíz, sorgo, caraotas, yuca, hortalizas, frutales y especias. El ensayo se inició en Abril de 2014, comenzando con la selección de cinco sitios de producción, previamente identificadas con sus coordenadas UTM, de las que se extrajeron muestras de suelo a 20 cm de profundidad.

La recolección de muestras de suelo, se hizo en el eje comprendido desde la Unidad de Producción (UP), Alejandro Zamora, en la parte alta de la cuenca, hasta la U.P. Pedro Camejo, a la entrada de la misma, en un recorrido sobre la carretera de aproximadamente 12 Km. En cada sitio, se tomaron cinco muestras de suelo, en un área aproximada de 100 m², definida por una poligonal cerrada de cuatro puntos y su centro.,

Las muestras de suelo, se secaron al aire libre por tres días, se cernieron en un tamiz de malla de 1 mm y se mezclaron por el método del cuarteo para homogenizarlas y obtener una muestra única, representativa de cada sitio, rotulada con número, fecha y lugar de extracción. Luego, una parte de ella se destinó al análisis físico y químico en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la UCV, procesada según metodología descrita en detalle en UCV (1993); y la otra se reservó para el análisis cromatográfico en el Laboratorio de Calidad Ambiental del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente del Estado Aragua. El grupo de POC que se analizaron en esta investigación, son: aldrín, lindano, α -BHC, β -BHC, 4-4'-DDD, 4-4'-DDE, 4-4'-DDT, dieldrín, endrín, heptacloro, heptacloro epóxido, o.p-DDE, o.p-DDD y o.p-DDT. El muestreo para la determinación de POC en suelos, de los sitios previamente identificados, se replicó tres veces por punto en periodos consecutivos de tres días. El análisis cromatográfico para determinar la concentración de POC del primer grupo de muestras, se inició con la muestra de suelo del sitio número 1, Para esto, se pesó 5 gr de suelo en una balanza analítica marca Adventurer, modelo OHAUS con aproximación de centésimas de gramo.

Luego, con cada muestra de suelo se realizó la primera extracción del analito colocando la muestra en un embudo de separación de 250 ml, con tapa esmerilada al que se añadió 50 ml de hexano de alta pureza (99,5%) y se mezclaron intensamente, de forma manual, por aproximadamente 20 minutos. Después, al separarse el suelo de la fase líquida, ésta se trasvaso a una fiola de 125 ml y se repitió el proceso para una segunda extracción.

Continuando con el proceso, cada muestra líquida se trasladó a un balón con pico esmerilado y se conectó al vacío en un rota-evaporador R-3000, marca BUCHI, sumergido en un baño de maría, con temperatura de 40° C, hasta que el extracto de la solución en el balón se redujera aproximadamente a 10 ml. Finalmente, esta solución, se filtró en un micro embudo provisto de

lana de vidrio y florisil activado (gel de sílice-magnesio), para columna cromatográfica. El volumen filtrado fue secado en estufa a 40° C. (Romero, 2002).

Con relación a la toma y procesamiento de muestras de agua y sedimentos, éstas se recogieron en tres estaciones de muestreo (Figura 1), ubicadas sobre el eje del río Tucutunemo cuyas coordenadas U.T.M, desde la parte alta hasta la salida del valle. En cada estación se tomaron muestras de agua y sedimento con cuatro repeticiones, que se dispusieron cada tres días.

En la preparación previa a la toma de muestras de agua, se lavaron las botellas con cepillo, detergente y agua limpia. Luego se enjuagaron con agua caliente y se dejaron escurrir. Finalmente, se volvieron a enjuagar con hexano y se secaron en horno a 180° C por 12 horas. Luego se recolectaron las muestras de las estaciones del río, previamente identificadas, en las fechas establecidas. El procedimiento para la determinación y cuantificación de los POC en sedimento es similar al utilizado en las muestras de sedimentos.

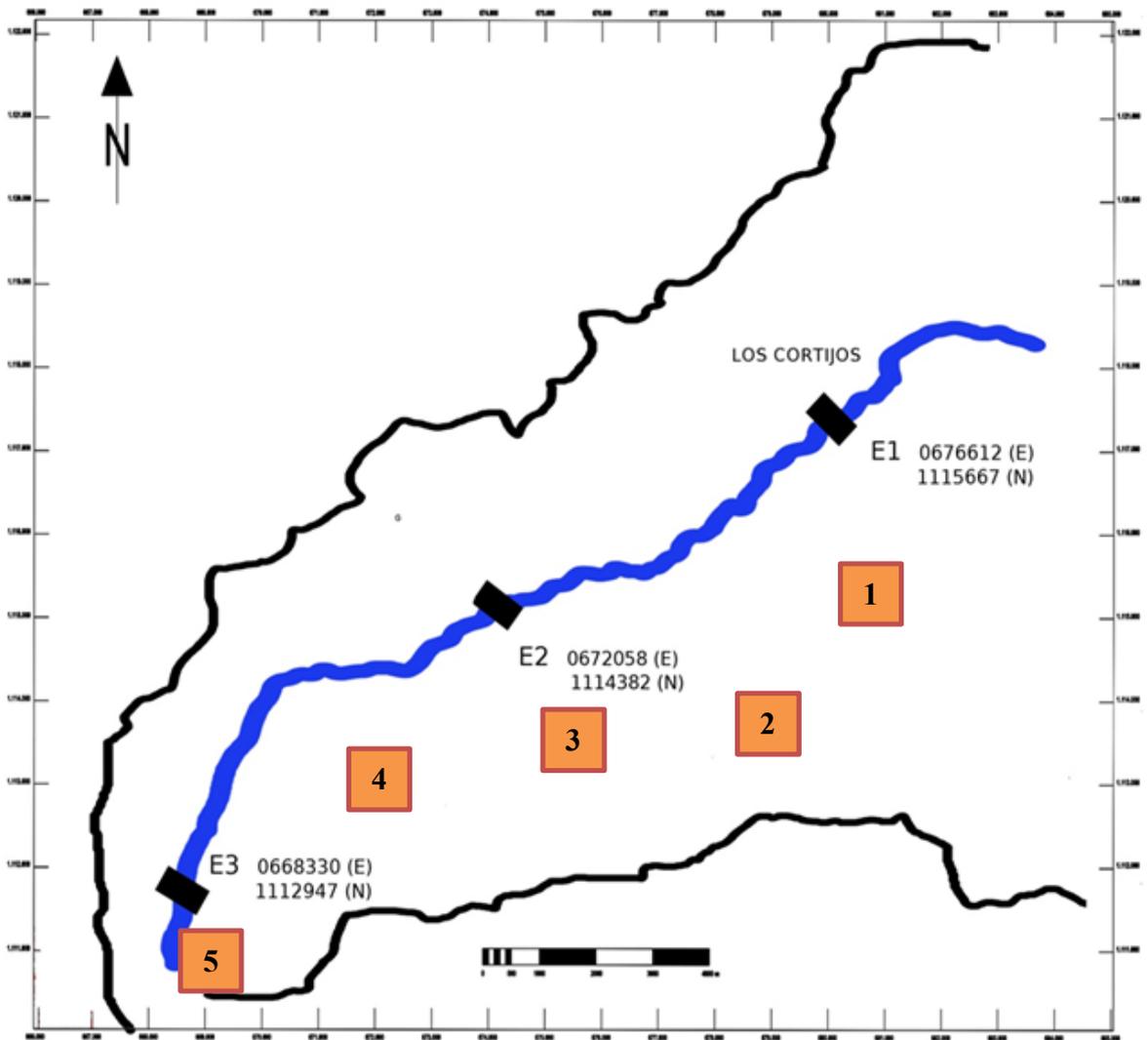


Figura 1. Estaciones y puntos de muestreo en la cuenca del río Tucutunemo, Municipio Zamora, Edo. Aragua

Para la determinación y cuantificación de los plaguicidas organoclorados, se utilizó un cromatógrafo de gases con detector de captura electrónica, marca SHIMADZU, modelo GC-14B, N° de catálogo 122-1332 y película THK 2673335. Otras características de este cromatógrafo son: radiación Ni 370 Mq, celda coaxial tipo electrodo con línea de purga, columna capilar marca W & S de longitud de 30 m, diámetro interno de 0,25 mm, temperatura mínima y máxima de 45/260° C. Además se utilizó como gas de arrastre helio a una presión de

150 Kpa y nitrógeno como gas inerte en la celda de ionización a una presión de 125 Kpa. La fase estacionaria, 50% de trifluoropropyl-methylpolysiloxane.

Debe señalarse que, las condiciones del cromatógrafo para el análisis de cada muestra, fueron las siguientes: Temperatura del detector: 320 °C; Temperatura del inyector: 280 °C y Temperatura de la columna: 230 °C. (APHA-AWWA-WPCF, 1989). En el análisis estadístico se usó el programa SPSS, V 19.

Resultados y Discusión

El cuadro 1, presenta los resultados de las características físicas y químicas de los suelos estudiados. Se observa que en general, la proporción relativa por tamaño de partículas, los clasifican como de textura franca arcillosa con tendencia a franco-arcillosa-limosa a la salida de la cuenca, en la U.P. Pedro Camejo. La textura franco-arcillosa, favorece la lixiviación de contaminantes y su posible acumulación en los estratos inferiores y agua subterránea.

Por otra parte, el análisis químico revela, que el pH, medido en agua, en una relación 1:1, está alrededor de 7, en el rango ligeramente ácido y moderadamente alcalino. Con relación a la conductividad eléctrica (CE), cuyos resultados, oscilan, entre 0,31 a 0,45 dS/m, pudieran estar relacionada con el tipo de iones y contenido de sólidos presentes. La determinación se realizó en agua, en una relación 1:1,

Finalmente, sobre los resultados de materia orgánica (MO), se observa que varía desde un nivel bajo de 1,86 a un nivel alto de 4,07% (U.P. Invernadero del Centro). La MO es importante porque aumenta la estabilidad de los agregados. (Casanova, 2005)

Cuadro 1. Análisis fisicoquímico de suelos agrícolas en cinco Unidades de producción (U.P.) del valle del Tucutunemo.

Puntos	Nombre de la U.P. y coordenadas UTM	Análisis físico				Análisis químico		
		% Arcilla	% Limo	% Arena	Clase textural	pH 1:1	C.E dS/m	% MO.
1	Alejandro Zamora N1.115.201- E676.610	30	41,2	28,8	FA	6,87	0,32	3,75
2	La Cortijera N1.114.979- E675.149	30	41,2	28,8	FA	6,90	0,31	1,86
3	Glendys Yumar N1.114.231- E674.402	28	49,2	22,8	FA	7,65	0,45	3,00
4	Invernadero Centro N1.113.438- E670.360	22	33,2	44,8	F	6,87	0,33	4,07
5	Pedro Camejo N1.112.676- E668.416	34	51,2	14,8	FAL	6,37	0,36	3,80

Estos resultados están relacionados con suelos explotados agrícolamente que presentan por lo general valores entre 0,1 y 10% (Fasbender, 1980). Además, Lal y Saxena, citados por Uzcategui et al (2011), señala que altos contenidos de materia orgánica es una condición determinante en la retención de los plaguicidas en las capas superiores, lo cual impide su pérdida por lixiviación y facilita su degradación, pues es allí donde la actividad microbiana es máxima.

Por otra parte, el cuadro 2, muestra los resultados de las concentraciones de plaguicidas organoclorados en las muestras de suelo estudiadas. De los 14 plaguicidas examinados, solo tres estuvieron presentes: Aldrín, 4.4'-DDE y 4.4'-DDT, con concentraciones en el rango 2,00 a 10,80 µg/Kg.

Cuadro 2. Concentraciones de POC en cinco puntos de muestreo en la Cuenca del Tucutunemo

POC detectados	Puntos de muestreo de 5 U.P de la cuenca del Tucutunemo				
	1	2	3	4	5
Aldrín	3,75	2,90	3,40	3,30	3,70
	3,65	2,65	3,20	3,10	4,20
	3,55	3,10	3,30	3,20	3,50
4.4'-DDE	10,70	5,70	4,70	4,70	4,50
	10,80	5,60	4,80	4,50	4,50
	10,40	5,60	4,40	4,50	4,30
4.4'-DDT	10,30	2,70	2,30	2,20	3,20
	10,20	2,20	2,20	2,10	3,30
	10,20	2,00	2,30	2,20	3,10

En el cuadro 3, se muestra el análisis de varianza para la concentración de tres POC, presentes en las muestras de suelo. Se observa que las diferencias de concentraciones de las medias, en todos los POC, no fueron significativas ($p < 0,05$). Como la prueba de homogeneidad de varianza de Levine no se cumple la condición de homocedasticidad, se aplicó el test de Games-Howell, para determinar los pares de medias iguales por cada POC en las localidades muestreadas.

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza para residuos de POC en cinco puntos de muestreo de los suelos agrícolas de la cuenca del Tucutunemo

Tipo de POC	Análisis de varianza para tres plaguicidas en suelos de la cuenca Tucutunemo										F-value	p-value
	Pedro Camejo		Invernadero del Centro		Glendys Yumar		La Cortejera		U P. A. Zamora			
	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD		
Aldrín	3,6-3,8	3,7 \pm 0,1	2,7-3,3	3,0 \pm 0,3	3,3-3,5	3,4 \pm 0,1	3,2-3,4	3,3 \pm 0,1	3,8-4,3	4,0 \pm 0,3	11,605	0,001
4-4'-DDE	10,5-11,0	10,8 \pm 0,3	5,6-5,8	5,7 \pm 0,1	4,5-4,8	4,7 \pm 0,2	4,6-4,8	4,7 \pm 0,1	4,4-4,6	4,5 \pm 0,1	828,692	0,000
4-4'-DDT	10,2-10,4	10,3 \pm 0,1	1,5-2,8	2,2 \pm 0,7	2,3-2,5	2,4 \pm 0,1	2,2-2,4	2,3 \pm 0,1	3,3-3,5	3,4 \pm 0,1	308,309	0,000

En el cuadro 4, se muestra los resultados de las concentraciones de POC, en agua y sedimentos de muestras tomadas en el río Tucutunemo, en tres estaciones

Cuadro 4. Distribución de los residuos de POC, en agua y sedimentos del río Tucutunemo

POC	Agua ($\mu\text{g/l}$)				Sedimentos ($\mu\text{g/kg}$)			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
ESTACION 1								
Heptacloro	0,004	0,004	0,003	0,004	4,50	7,20	1,90	4,53
Aldrín	0,011	0,053	0,039	0,034	2,10	3,10	5,20	3,47
o.p'-DDE	0,009	0,001	0,002	0,004	0,24	0,51	2,30	1,02
p.p'-DDE	0,012	0,009	0,005	0,009	3,70	2,60	1,00	2,43
p.p'-DDT	0,019	ND	0,008	0,014	1,10	1,60	1,20	1,30
ESTACION 2								
Heptacloro	0,004	0,003	0,001	0,003	1,80	3,90	1,20	2,30
Aldrín	0,007	0,006	0,015	0,009	2,30	0,23	5,20	2,58
o.p'-DDE	0,006	0,009	0,004	0,006	0,35	0,58	2,90	1,28
p.p'-DDE	0,010	0,007	0,006	0,006	0,88	0,61	1,90	1,13
p.p'-DDT	0,011	*ND	0,005	0,008	0,39	0,24	1,70	0,78

	ESTACION 3							
Heptacloro	0,004	0,004	0,002	0,003	3,00	3,40	2,20	2,87
Aldrín	0,023	0,053	0,004	0,027	0,84	0,71	4,90	2,15
o.p-DDE	0,007	0,001	0,002	0,003	0,68	0,20	2,40	1,09
p.p'-DDE	0,011	0,009	0,001	0,007	2,20	0,52	2,70	1,81
p.p'-DDT	0,009	ND	0,001	0,005	1,80	0,10	1,60	1,17

*ND: No detectable

En el caso de POC presentes en agua, se observa que la mayoría de los resultados registran concentraciones bajas y en otros no detectables (ND), lo cual corresponde con la condición hidrofóbica de los plaguicidas organoclorados.

El cuadro 5, presenta los resultados del análisis de varianza de cinco plaguicidas organoclorados presentes en tres estaciones de muestreo. Estos son: Heptacloro, Aldrín, o.p-DDE, p.p'-DDE y p.p'-DDT 5 POC, La prueba de significación con $p > 0,05$, fue significativa en todos los casos.

Cuadro 5. Resultado del Análisis de varianza para residuos de POC en sedimentos de tres estaciones del valle Tucutunemo

Plaguicida	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Valor F	Valor p
	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD		
Heptacloro	1,90-7,20	4,53 \pm 2,16	1,20-3,90	2,30 \pm 1,16	2,20-3,40	2,87 \pm 0,50	2,58	0,130
Aldrín	2,10-5,20	3,47 \pm 1,29	0,23-5,20	2,58 \pm 2,04	0,71-4,90	2,15 \pm 1,95	0,564	0,588
o.p-DDE	0,24-2,30	1,02 \pm 0,91	0,35-2,90	1,28 \pm 1,15	0,20-2,40	1,09 \pm 0,94	0,07	0,93
p.p'-DDE	1,00-3,70	2,43 \pm 1,11	0,61-1,90	1,13 \pm 0,56	0,52-2,70	1,81 \pm 0,93	2,12	0,177
p.p'-DDT	1,10-1,60	1,30 \pm 0,22	0,24-1,70	0,78 \pm 0,66	0,10-1,80	1,08 \pm 0,58	0,841	0,462

SD, Desviación estándar

F, Prueba de significación

p, probabilidad

Conclusiones

Los resultados de las muestras de suelo examinadas presentan textura franca arcillosa, con pH alrededor de 7, materia orgánica en el rango medio-alto y Conductividad Eléctrica (CE) baja. Por otra parte se comprobó la presencia de tres plaguicidas organoclorados en los suelos de la cuenca del Tucutunemo Aldrín, 4,4'-DDE y 4,4'-DDT, con concentraciones en el rango 2,00 a 10,80 $\mu\text{g}/\text{Kg}$

También se comprobó la presencia de residuos de POC en agua y sedimentos del río Tucutunemo. Los niveles de POC en agua, varían desde 0,001 y 0,053 $\mu\text{g}/\text{L}$ (aldrín); Por otra parte, las concentraciones de POC, en sedimentos, variaron entre 0,20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para el plaguicida o.p-DDE y 7,20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para el heptacloro. Aunque los niveles de POC en agua y sedimentos están por debajo de la regulación establecida por la República Bolivariana de Venezuela, su presencia es motivo de preocupación ya que pueden ser absorbidos por los humanos, plantas, peces y animales domésticos que están en contacto con este medio contaminado.

Bibliografía

APHA-AWWA-WPCF. 2014. Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales. Edición N° 18. España.

BAIRD, COLIN. 2001. Química Ambiental. Editorial Reverté, S.A. España

- CASANOVA, E. 2005 *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 2da. Edición. Caracas. Venezuela
- FASSBENDER, H. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José de Costa Rica
- FERNÁNDEZ L, ROJAS N, ROLDAN T, RAMÍREZ M, ZEGARRA H, HERNÁNDEZ R, REYES R, HERNÁNDEZ D Y ARCE J. 2006. *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto de Ecología. México
- FONSECA, A. 2009. *Diagnóstico de la contaminación del suelo, producida por el uso de plaguicidas, en el área plana de la cuenca del río Tucutunemo, Municipio Zamora del estado Aragua*. Tesis de Maestría. UCV. Maracay
- MEDINA, C; ALLARA M, IZQUIERDO P, SÁNCHEZ E; PIÑERO M Y TORRES G. 2010. *Residuos de insecticidas Organoclorados en Yogurt firme de tres marcas comerciales, elaborados en Venezuela*. Revista científica SiElo. ISSN 0798-2259. Maracaibo.
- OLIVAR B. MIJAIL U.; PEDRIQUE L. Y ROSSMAR D. 2007. *Estudio hidrogeológico del valle del río Tucutunemo, Municipio Zamora, Estado Aragua*. Trabajo especial de grado de geología. UCV. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Caracas.
- PÉREZ, G Y NIEVES, G. 2004. *Propuesta de Plan de Ordenación del Territorio para la Cuenca del Rio Tucutunemo (Sectores de Ancón-El Ocumo). Municipio Zamora del Estado Aragua*. Trabajo Especial de Grado. Postgrado. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay
- ROMERO, J. 2002. *Identificación y Cuantificación de Plaguicidas Organoclorados en el Lago de Valencia*. Trabajo de grado. Facyt Universidad de Carabobo. Valencia.
- SANDIA L; CABEZA M; ARANDINA J Y BIANCHI, G. 2000. *Agricultura, Salud y Ambiente*. CIDIAT - Fundación Polar. Mérida.
- UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA (UCV). 1993. *Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el Laboratorio General de suelos*. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía. Maracay
- UZCÁTEGUI, J, ARAUJO L y MENDOZA. 2011. *Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físico químicos en suelos del Municipio Pueblo Llano, Estado Mérida*. Bioagro 23(2): 115-120. 2011