



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**PLAGUICIDAS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE AGROECOSISTEMAS CON
CAÑA DE AZÚCAR DE LOS INGENIOS LA GLORIA Y EL MODELO.**

YADIRA SILVA CRUZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz.

2013

La presente tesis, titulada: **Plaguicidas en el agua subterránea de agroecosistemas con caña de azúcar de los ingenios La Gloria y El Modelo**, realizada por la alumna: **Yadira Silva Cruz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

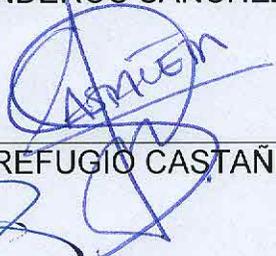
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



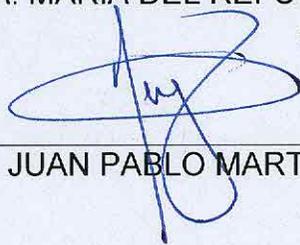
DR. CESÁREO LANDEROS SÁNCHEZ

ASESORA:



DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

ASESOR:



DR. JUAN PABLO MARTÍNEZ DÁVILA

ASESORA:



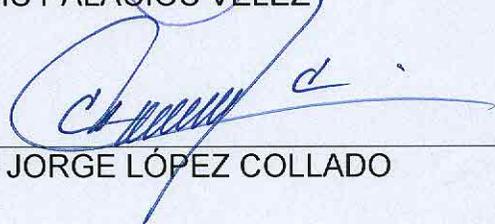
DRA. ALEJANDRA SOTO ESTRADA

ASESOR:



DR. OSCAR LUIS PALACIOS VÉLEZ

ASESOR:



DR. CATALINO JORGE LÓPEZ COLLADO

*Pon en manos del Señor todas tus obras,
y tus proyectos se cumplirán.*

Proverbios 16:3

*Porque el Señor da la sabiduría;
conocimiento y ciencia brotan de sus labios.*

Proverbios 2:6

PLAGUICIDAS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE LOS AGROECOSISTEMAS CON CAÑA DE AZÚCAR DE LOS INGENIOS LA GLORIA Y EL MODELO.

Yadira Silva Cruz, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2013

Es ampliamente conocido que una de las principales fuentes de agua de consumo humano, es el agua subterránea que actualmente está siendo receptora de la contaminación provocada por el ser humano. El objetivo de este estudio fue determinar el riesgo de contaminación del agua subterránea de la zona de abasto de los ingenios La Gloria y El Modelo, con respecto a los plaguicidas usados en los agroecosistemas cañeros y la posterior cuantificación de los plaguicidas en el agua. El estudio incluyó 30 pozos de agua potable, agrícolas y artesanales, el 100% de los pozos presenta contaminación con plaguicidas, los plaguicidas encontrados fueron: β -HCH, heptacloro, heptacloroepóxido, α -endosulfán, β endosulfán, sulfato endosulfán, aldrín, eldrín y 4,4' DDE. El endosulfán fue el que se presentó en mayor frecuencia, apareciendo en tres de sus metabolitos: α -endosulfán (0.024 ± 0.01), β endosulfán (0.016 ± 0.02), y sulfato-endosulfán (0.001 ± 0.001) seguido β -hexaclorociclohexano (0.03 ± 0.01). Estos últimos y el β -HCH exceden los límites máximos permisibles en las normas oficiales mexicanas. Además, se realizó un análisis de riesgo a la salud de los consumidores, donde se constató que la salud de la población se encuentra en riesgo con respecto a los plaguicidas encontrados.

Palabras clave: organoclorados, agua subterránea, caña de azúcar.

PESTICIDES IN GROUND WATER AGROECOSYSTEMS WITH SUGAR CANE IN
THE SUGAR FACTORY LA GLORIA Y EL MODELO

Yadira Silva Cruz, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2013

It is widely known that one of the main sources of drinking water, groundwater is currently being receiving pollution from humans. The aim of this study was to determine the risk of groundwater contamination in the area of supply of the mills and Glory Model with respect to pesticides used in sugarcane agro-ecosystems and the subsequent quantification of pesticides in water. The study included 30 wells for drinking, agricultural and water craft, 100% of the wells has pesticide contamination, pesticides found were: β -HCH, heptachlor, heptachlor epoxide, α -endosulfan, β endosulfan, endosulfan sulfate, aldrin, eldrin and 4,4'DDE. Endosulfan was presented at more frequently, appearing in three of its metabolites: α -endosulfan (0.024 ± 0.01), β endosulfan (0.016 ± 0.02), and sulfate-endosulfan (0.001 ± 0.001) followed by β -hexachlorocyclohexane (0.03 ± 0.01). These exceed the maximum allowable limits in the official rules. In addition, an analysis of risk to the health of consumers, where it was found that the health of the population is at risk with respect to pesticides found was performed. The variable β -hexachlorocyclohexane showed a significant difference ($p < 0.05$) with respect to the seasons considered in the study, while in the comparison of means with respect to the three municipalities under study significant differences ($p < 0.05$) were found for almost all pesticides quantified.

Key words: organochlorine, groundwater, sugar cane.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante el periodo de septiembre de 2009 a agosto de 2013 para realizar mis estudios de doctorado en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por permitirme formar parte de su programa de postgrado en Agroecosistemas Tropicales y por el apoyo otorgado a través del Fideicomiso Único, LPI2 “Agroecosistemas Sustentables” y LPI8 “Impacto y Mitigación del Cambio Climático”.

Al personal directivo, administrativo y a los canaleros del Módulo de Riego I-1 La Antigua y del Módulo de Riego II-1 Actopan, por todo el apoyo recibido durante el reconocimiento de la zona de estudio y los muestreos.

Al Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, por fungir como mi Profesor Consejero, y por la infinita paciencia con la que ha guiado esta tesis. Al Dr. Juan Pablo Martínez Dávila, Dra. Alejandra Soto Estrada, Dr. Oscar Luis Palacios Vélez y Dr. Oscar Luis Palacios Vélez, miembros de mi Consejo Particular por todo su apoyo y confianza a lo largo de mi formación profesional.

A la Dra. Refugio Castañeda Chávez, por todos los años que ha servido como guía, profesora y apoyo en todo momento.

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Boca del Río, por las facilidades brindadas en el desarrollo experimental de esta investigación.

A toda mi familia, por todo el tiempo que me prestaron para realizar este doctorado y por todo lo que tuvieron que sacrificar para que yo alcanzara esta meta, mi agradecimiento y todo mi amor.

Para Tonya

El ángel que llegó hace 15 años
convirtiéndose en lo más grande
y hermoso de mi vida.

Porque esto sea un ejemplo a seguir
y una meta, también, en tu vida.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO	2
2.1. Definición del concepto de agroecosistema.....	2
2.2. Modelo de Análisis del agroecosistema de estudio.....	4
2.2.1. Bases conceptuales y metodológicas del modelo.....	4
2.3. Análisis de riesgo del acuífero.....	7
2.4. Análisis de Riesgo a la salud.....	8
3. REVISIÓN DE LITERATURA	10
3.1. Importancia socioeconómica de la caña de azúcar.....	10
3.2. Uso de plaguicidas.....	10
3.3. Importancia del agua subterránea.....	11
3.4. Historia del uso de los plaguicidas.....	13
3.5. Definición y Clasificación de plaguicidas.....	14
3.5.1 De acuerdo a los organismos que controlan.....	15
3.5.2 Por su composición química.....	15
3.5.3 Por su persistencia.....	15
3.5.4 Por su grupo químico.....	15
3.6. Usos y aplicaciones de plaguicidas.....	17
3.7. Contaminación por plaguicidas.....	18
3.7.1 Contaminación atmosférica.....	18
3.7.2 Contaminación del suelo.....	19
3.7.3 Contaminación acuática.....	24
3.7.4 Contaminación de los alimentos.....	25
3.8. Efectos en la salud de algunos plaguicidas.....	26
3.9. Mecanismo de acción de algunos plaguicidas.....	28
3.10. Aspectos económicos y políticos del uso de plaguicidas.....	29
3.11. El agroecosistema con caña de azúcar.....	31
3.11.1. Uso de agroquímicos en el agroecosistema cañero.....	31

	Página
3.11.1.1. Fertilizantes.....	31
3.11.1.2. Plaguicidas.....	31
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	35
5. HIPÓTESIS.....	37
5.1. Hipótesis general.....	37
5.2. Hipótesis específicas.....	37
6. OBJETIVOS.....	38
6.1. Objetivo general.....	38
6.2. Objetivos específicos.....	38
7. AREA DE ESTUDIO.....	39
7.1. Ingenio El Modelo.....	39
7.2. Ingenio La Gloria.....	40
7.3. Actividades económicas.....	41
7.4. Hidrología.....	41
7.4.1. Acuífero Costera Veracruz.....	42
7.4.2. Acuífero Valle de Actopan.....	42
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
8.1. Evaluación del riesgo del acuífero respecto a plaguicidas.....	44
8.1.2. Entrevista a informantes clave.....	44
8.1.3. Estudios de suelos.....	44
8.1.4. Selección de los plaguicidas problema.....	44
8.1.4.1. Investigación de plaguicidas usados.....	44
8.1.4.2. Selección de los plaguicidas a cuantificar.....	45
8.2. Determinación de plaguicidas en el acuífero.....	45
8.2.1. Ubicación de los pozos.....	45
8.2.2. Periodicidad de monitoreo y análisis.....	46

	Página
8.2.3. Colecta en campo.....	46
8.2.4. Análisis de laboratorio.....	47
8.2.4.1. Extracción de fase líquido-líquido.....	47
8.2.4.2. Determinación cromatográfica.....	47
8.2.4.3. Métodos oficiales para análisis de plaguicidas.....	48
8.2.4.4. Análisis estadísticos.....	49
8.3. Análisis de Riesgo a la salud.....	49
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
9.1. Análisis de riesgo del acuífero.....	50
9.1.1. Identificación del uso de plaguicidas en el agroecosistema.....	50
9.1.2. Identificación del manejo de plaguicidas.....	53
9.1.3. Suelos.....	53
9.1.3.1. La Gloria.....	54
9.1.3.2. El Modelo.....	54
9.1.4. Identificación de plaguicidas problema.....	55
9.1.4.1. Endosulfán.....	55
9.1.4.2. Hexaclorobenceno.....	56
9.1.5. Plaguicidas no reportados.....	57
9.1.5.1. Aldrín y Dieldrín.....	57
9.1.5.2. Hexaclorociclohexano.....	58
9.1.5.3. Heptacloro y epóxido de heptacloro.....	60
9.1.5.4. DDT, DDE y DDD.....	61
9.2. Cuantificación de plaguicidas en el acuífero.....	63
9.2.1. Presencia y concentración de plaguicidas.....	63
9.2.2. Comparación de plaguicidas por temporada.....	67
9.2.3. Comparación de plaguicidas por municipio.....	68
9.3. Riesgo de la salud humana.....	74
10. CONCLUSIONES.....	76

	Página
11. LITERATURA CITADA.....	78

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Clasificación de los plaguicidas, según la familia química.....	16
Cuadro 2.	Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su peligrosidad (WHO, 2009).....	16
Cuadro 3.	Herbicidas y sus dosis utilizados en caña de azúcar.....	33
Cuadro 4.	Insectos dañinos para caña de azúcar y plaguicidas que los controlan.....	34
Cuadro 5.	Ubicación y tipo de pozos muestreados.....	45
Cuadro 6.	Programa de temperatura de cuantificación de plaguicidas.....	48
Cuadro 7.	Insecticidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980-2012).....	50
Cuadro 8.	Herbicidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980-2012).....	51
Cuadro 9.	Fungicidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980-2012).....	52
Cuadro 10.	Rodenticidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980-2012).....	52
Cuadro 11.	Plaguicidas biológicos usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980-2012).....	52
Cuadro 12.	Comparación de los niveles de plaguicidas (mg/l) por temporada, tipo de pozo y municipio (1980-2012).....	63
Cuadro 13.	Frecuencias de los plaguicidas categorizados de acuerdo a la concentración.....	64
Cuadro 14.	Comparación de los niveles de plaguicidas con los límites permisibles establecidos en las normas oficiales (media \pm DE).....	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Modelo teórico-conceptual para el análisis del agroecosistema cañero y el uso de plaguicidas.....	6
Figura 2. Transporte y distribución de plaguicidas en el medio ambiente.....	19
Figura 3. Localización y límites de la zona de abasto del ingenio El Modelo.....	40
Figura 4. Localización y límites de la zona de abasto del ingenio La Gloria.....	41
Figura 5. Clasificación de las concentraciones de plaguicidas en los pozos muestreados.....	64
Figura 6. ANAVA de la concentración de plaguicidas en el agua de pozos por temporada.....	67
Figura 7. ANAVA de la concentración de plaguicidas en el agua de pozos por municipio.....	68
Figura 8. ANAVA de la concentración de beta HCH en el agua de pozos por municipio.....	69
Figura 9. ANAVA de la concentración de heptacloro en el agua de pozos por municipio.....	70
Figura 10. ANAVA de la concentración de endosulfán alfa en el agua de pozos por municipio.....	70
Figura 11. ANAVA de la concentración de endosulfán beta en el agua de pozos por municipio.....	71
Figura 12. ANAVA de la concentración de sulfato endosulfán en el agua de pozos por municipio.....	72
Figura 13. ANAVA de la concentración de aldrín en el agua de pozos por municipio.....	73

Figura 14. ANAVA de la concentración de 4,4 DDE en el agua de pozos por municipio.....

1. INTRODUCCIÓN

El incremento poblacional actual conduce a una mayor demanda de agua y alimentos, por lo que ha sido necesario el incremento de la producción primaria. Con el fin de obtener una mayor productividad por unidad de superficie, los agroecosistemas han presentado un paulatino aumento en la intensidad de explotación de los suelos. Esta situación ha traído consigo un aumento en el uso de agroquímicos, principalmente fertilizantes y plaguicidas (Castañeda, 2006).

Existen varios métodos de control de plagas, sin embargo, el control químico se emplea extensamente debido a su rapidez de acción. White (1998) afirmó que el hecho de usar plaguicidas sintéticos redundaba en un mayor aseguramiento de la producción de alimentos, aunque ello desequilibra los agroecosistemas.

Además del sector agrícola, el uso de plaguicidas también está relacionado con el control de plagas que puedan afectar a la salud humana, WHO (1999) sugiere que en los países con climas tropicales es donde se hace mayor uso de ellos, con el fin de prevenir contagios de enfermedades tales como la malaria, el dengue o el cólera. Kolaczinsky Curtis (2004) mencionaron otros campos de aplicación como son el industrial, doméstico, en jardinería o en veterinaria. Debe notarse, que todos los usos anteriormente mencionados, si bien pueden reportar algún beneficio a los usuarios inmediatos, conllevan un alto costo ambiental y riesgo a la salud pública.

Lo anterior, se debe principalmente, a que los plaguicidas usados por el hombre con fines domésticos, industriales y agrícolas llegan a través de los cauces de los ríos, lagos y otros cuerpos de agua en concentraciones considerables. Es común encontrar contaminantes físicos, químicos y biológicos, entre ellos microorganismos patógenos, metales pesados, hidrocarburos y plaguicidas entre otros. En el caso de los plaguicidas, pueden llegar a los cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, entre otras razones, por el uso excesivo de éstos, por el arrastre de los contaminantes en el aire o bien por la lixiviación natural de los mismos hacia el acuífero.

2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

2.1. Definición del concepto de agroecosistema

Hablar de agroecosistema es abordar un tema complejo, por lo que en principio, para entender su concepto es pertinente manifestar que se deriva de las palabras agro-eco y sistemas. El agro es entendido como la actividad agropecuaria que tiene como fin producir un bien o servicio. El vocablo eco se refiere al ecosistema, el cual es modificado y manipulado por el hombre para dar lugar al agro, y el sistema hace alusión a que tal actividad agrícola está influenciada por elementos y factores que en su conjunto hacen funcionar la actividad (Moreno, 2011).

Entre los conceptos más difundidos y aceptados sobre agroecosistemas (AES) se encuentra el de Conway (1985), quien opinó que un AES es un ecosistema modificado por el hombre, quien en su interacción con el medio provee la labor, y determina el manejo. Esta definición, aun cuando parece sencilla, resulta en realidad compleja, cuando se toma en cuenta que un sistema incluye interacciones entre aspectos biológicos, político-sociales, culturales y económicos.

Según Elliot y Cole (1989) un agroecosistema es un grupo interactivo de componentes bióticos y abióticos (algunos de los cuales están bajo control humano) que forman una unidad con el propósito de producir fibra y comida. Particularmente esta definición aporta un objetivo para un agroecosistema, que es la producción con un fin alimenticio y comercial. Además supone que quien controla el AES, no puede controlar todos los aspectos que conforman el AES.

De acuerdo con Soriano (1998), un agroecosistema puede ser entendido como un ecosistema que es sometido por el hombre a frecuentes modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos. A diferencia del concepto de Elliot y Cole, éste infiere que las modificaciones pueden afectar prácticamente a todos los procesos. Hecht (1999) señaló que estas modificaciones pueden abarcar todos los aspectos estudiados por los ecólogos, que van desde el comportamiento de los individuos y la dinámica de

las poblaciones hasta la composición de las comunidades y los flujos de materia entre otros.

En este punto, es importante señalar, que los AES (considerados como sistemas) no son cosas, sino una interpretación de la realidad (Herrscher, 2005), es decir, una conceptualización. Goode y Hatt (1972), señalaron que los conceptos agricultura y agroecosistema, no son más que abstracciones de realidades complejas. Está establecido que los conceptos son una reproducción en el pensamiento de algún aspecto concreto de la realidad objetiva.

A partir de aquí, surgen nuevas consideraciones de los AES. Un AES es una unidad óptima para el estudio de la agricultura, y para su propia transformación. Posee interferencias políticas y culturales, de instituciones públicas y privadas, para contribuir principalmente a la producción de alimentos, materias primas, y servicios ambientales que la sociedad demanda. Se necesita una visión integral (como sistema en sí, y como parte de un sistema mayor), se retoma la corriente holista; que advierte sobre la importancia de apreciar los eventos desde la integralidad y su contexto. Se refiere a la manera de ver las cosas enteras, en su totalidad, en su conjunto, en su complejidad, pues de esta forma se pueden apreciar interacciones, particularidades y procesos que por lo regular no se perciben si se estudian los aspectos que conforman el todo, por separado (Hurtado, 2000). Es necesario considerar al AES, y a los componentes que lo rodean, como un modelo dinámico para tratar de captar y comprender el funcionamiento en tiempo y espacio, del flujo de interacciones constantes entre cada uno de los componentes que se encuentran dentro y fuera de él; y que de alguna forma, se hallan ligados y se reorganizan constantemente.

Otra parte importante, es la definición del objetivo de estudio de un agroecosistema, con el fin de reconocer y definir sus límites, lo cual resulta indispensable para definir entradas y salidas del mismo. Para esto se deben tener en cuenta los niveles jerárquicos. Un sistema puede ser subsistema de uno de mayor jerarquía y a su vez contener varios subsistemas. Hart (1985), propuso que para cualquier estudio, debe

tenerse en cuenta por lo menos tres niveles jerárquicos: el sistema de estudio, el que está por encima o lo contiene y los subsistemas o componentes del mismo.

A partir de aquí, surgen nuevas definiciones de AES, mucho más completas e integrales. Como el descrito por Ruiz (2008) quien dice que: “un Agroecosistema es una unidad conceptual y básica del estudio, diseño, desarrollo y evaluación de la agricultura, producto de la modificación de un ecosistema hecha por el ser humano, en la que se producen alimentos, materias primas, servicios ambientales, entre otros; está integrado a un sistema regional agrícola a través de cadenas de producción-consumo, su dinámica es resultado de la interacción de los procesos ecológicos, socioeconómicos, políticos y culturales que contribuyen al bienestar de la sociedad rural y urbana”.

Tomando en cuenta los anteriores argumentos y definiciones y por la experiencia otorgada durante la investigación doctoral realizada, se propone el siguiente concepto de AES: un agroecosistema es un modelo conceptual; el cual implica que el ser humano establezca el objetivo del mismo y ejerza cierto nivel de control sobre el ambiente, y cuyas características dependen del entorno social, cultural y económico y de la interacción compleja entre estos y los procesos biológicos, químico-físico y los aspectos sociales internos; y que como estrategia para subsistir en un entorno cambiante y gracias a la intervención del controlador se mantiene siempre dinámico.

2.2. Modelo de análisis del agroecosistema de estudio

Analizar un fragmento de la realidad, en un tiempo y espacio determinado, de modo que pueda ser explicado de acuerdo al contexto, usando las herramientas teóricas y metodológicas pertinentes.

2.2.1. Bases conceptuales y metodológicas del modelo

El enfoque sistémico es una forma de abordar entidades llamadas sistemas que requiere metodológicamente de la colaboración de diferentes disciplinas. El abordaje interdisciplinario de los sistemas de producción, desde el enfoque sistémico como

aproximación científica permite conocer, explicar e intervenir en fenómenos complejos permitiendo analizar la multidimensionalidad e interdependencia de lo agropecuario y los vínculos con el resto de la sociedad (Marshall *et al.*, 1994).

Los sistemas de producción agrícola en términos generales son considerados como el resultado de la combinación de una forma de organización social de la producción, con un nivel de desarrollo tecnológico determinado, junto a una base natural dada, para obtener productos de su interés (Hecht, 1999). Un agroecosistema puede ser definido en primera instancia como un sitio de producción agrícola, visto como un ecosistema. El concepto de agroecosistema ofrece un marco de referencia para analizar sistemas de producción agropecuarios en su totalidad, incluyendo el complejo conjunto de entradas y salidas y las interacciones entre sus partes (Gliessman, 2002). Desde un punto de vista agroecológico el estudio de los agroecosistemas se concentra en asuntos puntuales del área de la agricultura, pero dentro de un contexto más amplio que incluye variables ecológicas y sociales (Hecht, 1999). Los agroecosistemas no terminan en los límites del campo de cultivo o de la finca puesto que ellos influyen en y son influenciados por factores de tipo cultural. Sin embargo, el límite social, económico o político de un agroecosistema es difuso, puesto que está mediado por procesos decisionales intangibles que provienen tanto del ámbito del agricultor como de otros actores individuales e institucionales. Aunque la matriz de vegetación natural circundante y las características de los demás elementos biofísicos influyen en la dinámica de los agroecosistemas, las señales de los mercados y las políticas nacionales agropecuarias también determinan lo que se producirá, cuándo, con qué tecnología, a qué ritmos y para qué clase de consumidores, abriendo más el espectro de lo que puede entenderse como borde o límite de los agroecosistemas (León, 2009).

El sistema social es la estructuración de eventos o acontecimientos y no la estructuración de partes físicas. Los humanos son parte del ecosistema, pero también tienen relaciones sociales; por tanto forman un sistema social, entendido éste como las relaciones entre los mismos (sean éstas económicas, culturales, políticas, religiosas,

etc.). Los sistemas sociales necesitan de una base material (ecosistemas). Por lo tanto, los análisis multidimensionales son necesarios.

El agroecosistema principal en este estudio, el acuífero, puede definirse como un sistema cibernético, ya que dispone de dispositivos internos de autocomando (autorregulación) que reaccionan ante informaciones de cambios en el ambiente, elaborando respuestas variables que contribuyen al cumplimiento de los fines instalados en el sistema, en este caso, el hombre influye en el agroecosistema superior (cultivo) pero no tiene injerencia en la regulaciones internas (Figura 1).

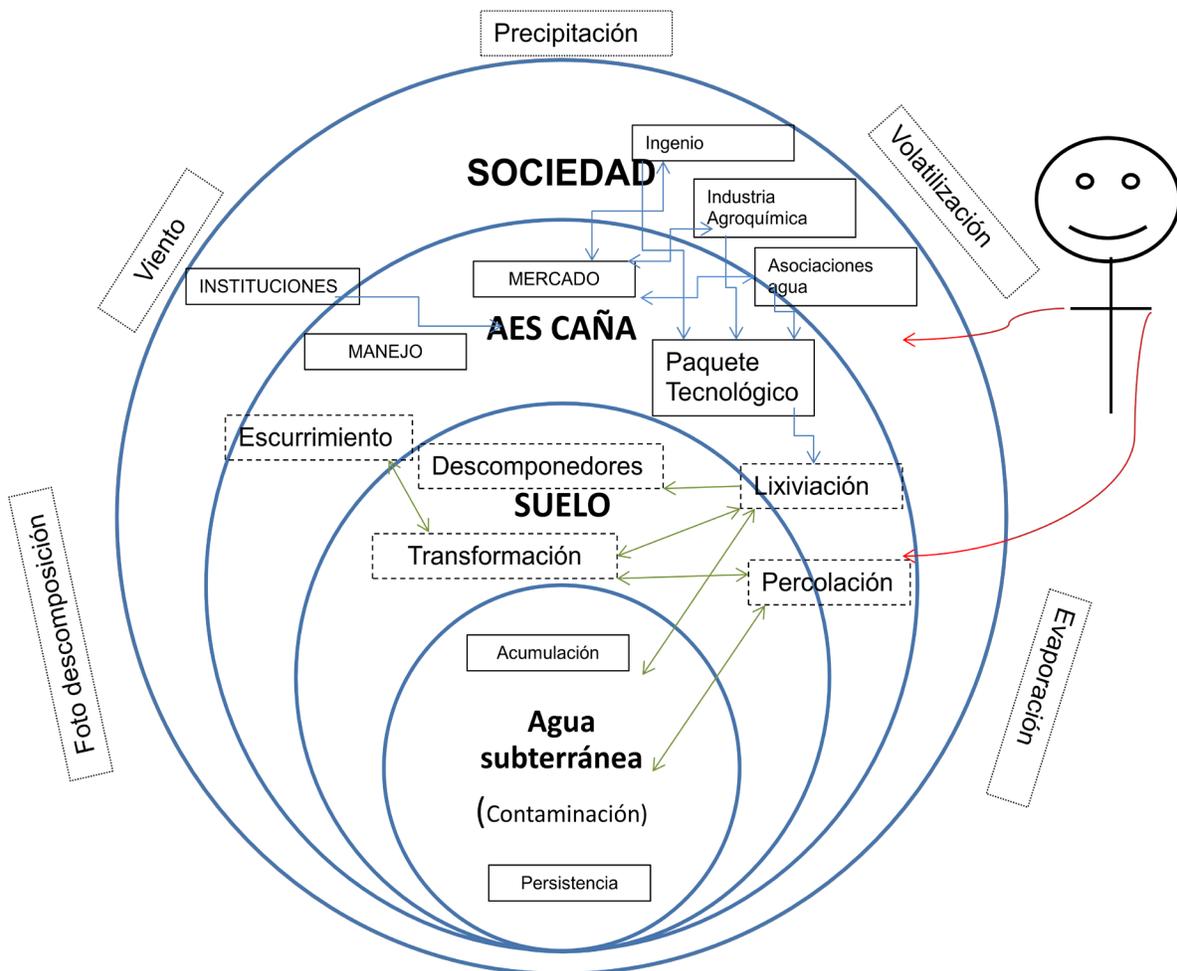


Figura 1. Modelo teórico-conceptual para el análisis del agroecosistema cañero y el uso de plaguicidas.

2.3. Análisis de riesgo del acuífero

La contaminación del agua ocurre cuando su composición está alterada de tal modo que no reúne las condiciones para los usos a los que estaba destinada. Se pueden distinguir dos tipos de contaminación del agua subterránea según la fuente que la produce: puntual o local, producida por actividades que dirigen sus desechos en un sitio determinado y que afectan a un sector limitado; *no puntual o difusa*, producida por aquellas actividades cuya fuente contaminante no tiene un punto de entrada obvio.

En cuanto a la contaminación de acuíferos ocurre si la carga contaminante sub-superficial generada por descargas y lixiviados antropogénicos (urbanas, industriales, agrícolas y mineras) no se controla adecuadamente (Silva *et al.*, 2011). Si los componentes exceden la capacidad natural de atenuación del terreno y los estratos subyacentes, puede declararse como cuerpo de agua contaminado (Foster *et al.*, 2006).

La aplicación de dosis elevadas de plaguicidas supone un riesgo para la calidad de las aguas subterráneas en las zonas agrícolas, puesto que pueden ser lixiviados hasta alcanzar el nivel freático. El movimiento del agua en el suelo es el principal mecanismo para la transferencia de contaminantes a las aguas superficiales y subterráneas (Leeds-Harrison, 1995), éste depende de las características del medio (suelo y espesor de la zona no saturada) y del propio compuesto.

El riesgo de contaminación de un cuerpo de agua puede definirse como la probabilidad de que un acuífero experimente impactos negativos a partir de una actividad antropogénica dada hasta un nivel tal que el agua del mismo se torne inaceptable para el consumo humano.

El riesgo de contaminación de acuíferos, en cualquier localización dada, puede ser determinado considerando la interacción entre la carga contaminante adyacente que es, será o podría ser aplicada como resultado de las actividades humanas y la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, que depende de las características

naturales de los estratos que lo separan de la superficie del terreno (Foster *et al.*, 2003).

La evaluación de riesgo es un proceso de cuantificación y caracterización para estimar la probabilidad de ocurrencia, naturaleza y magnitud de efectos potenciales adversos de sustancias químicas en el ambiente.

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando éstas se contaminan, su restauración es muy difícil de lograr. Esto sucede porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su descontaminación.

2.4. Análisis de riesgo a la salud

La identificación de contaminantes potenciales de interés se lleva a cabo en la etapa de identificación del peligro. La información necesaria para la población expuesta está relacionada con el tamaño, la localización y la naturaleza de la población. Esta última se refiere a patrones de actividad y diferentes grupos de riesgo (como niños, mujeres embarazadas o ancianos) que están distribuidos en la población expuesta. Las rutas de exposición son las maneras específicas a través de las cuales la población humana puede estar en contacto con los contaminantes (Soesilo y Wilson, 1997).

La evaluación del riesgo a la salud se puede describir como un proceso de cuatro pasos:

- 1) Identificación del peligro. Este puede ser descrito como el proceso de identificación de sustancias químicas de interés, mismas que debido a sus potenciales efectos adversos a la salud humana, deben de tomarse en cuenta si son detectadas al menos una vez, durante el programa de muestreo planteado en laboratorio.

- 2.) Evaluación de la exposición: está definida como el contacto de un organismo con agente físico o químico. El propósito de la evaluación de la exposición es estimar la magnitud de la exposición humana a los contaminantes. La magnitud de la exposición se establece en términos de frecuencia y duración:
 - a) Concentración de los contaminantes.
 - b) Población expuesta o receptores potenciales
 - c) Ruta de exposición
- 3) Evaluación de la dosis-respuesta Es el proceso de evaluar cuantitativamente la información de toxicidad y caracterizar la relación entre la dosis del contaminante administrado o recibido y la incidencia de efectos adversas en la población expuesta. A partir de esta relación cuantitativa, los valores de toxicidad derivados pueden ser usados para estimar la incidencia de los efectos adversos que ocurren a los humanos a diferentes niveles de exposición. Los efectos a la salud humana son considerados en términos de efectos sistémicos o cancerígenos.
- 4) Caracterización del riesgo. Dicha caracterización integra las etapas anteriores de este proceso donde se alcanza una estimación del riesgo para la población expuesta. Los riesgos son caracterizados por el cálculo de índices de peligro sistémico y carcinogénico. Estos factores de riesgo son comparados con estándares aplicables para la toma de decisiones en el manejo de los riesgos.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Importancia socioeconómica de la caña de azúcar

Actualmente, la caña de azúcar es uno de los productos más consumido en el mundo, debido a que es un componente importante en la dieta alimenticia de la población (FAO 2005).

Es por ello que la producción mundial de azúcar en el año 2007 fue de 147 millones de toneladas. México contribuyó a esta producción en un 3.8% ocupando el sexto lugar (PRONAC, 2009a).

En México la caña se siembra en 15 estados, principalmente en las costas del Océano Pacífico y del Golfo de México. El estado de Veracruz es el principal productor de caña de azúcar al contar con 22 ingenios de los 57 que tiene el país. Su producción representa el 34% de la producción nacional (Colpos-Funprover, 2003).

3.2. Uso de plaguicidas

Con el fin de obtener una mayor productividad por unidad de superficie, los sistemas agrícolas han manifestado un aumento paulatino en la intensidad de explotación de los suelos. Esta situación ha ocasionado un aumento en el uso de agroquímicos, principalmente fertilizantes y plaguicidas, lo que sin duda ha afectado el medioambiente (Castañeda, 2006).

Los plaguicidas permiten controlar la incidencia y severidad de plagas y enfermedades de los cultivos y del ganado, reduciendo o evitando las pérdidas en la producción de alimentos; además, contribuyen al control de los vectores de diversas enfermedades (Albert, 2005).

Aunque existen varios métodos de control de plagas, el control químico es el que más ha sido empleado debido a su rapidez de acción, hecho que redundo en un mayor aseguramiento de la producción de alimentos a un alto costo ambiental y de salud

pública (White, 1998). El uso de plaguicidas también está relacionado con el control de plagas que puedan afectar a la salud humana, sobre todo en países con climas tropicales, con el fin de prevenir contagios de enfermedades tales como la malaria, el dengue o el cólera (WHO, 1999). Otros campos de aplicación son el industrial, doméstico, en jardinería o en veterinaria (Kolaczinski y Curtis, 2004).

Los beneficios obtenidos del uso de plaguicidas son sin duda numerosos, pero la dispersión de grandes cantidades de estos compuestos al entorno ha dado origen a problemas que afectan tanto al ambiente, como a la salud humana. El impacto de los productos químicos agrícolas en las aguas superficiales y la calidad de las aguas subterráneas se han convertido en una cuestión de importancia mundial (Vari, 1984; Duaet *al.*, 1996; Hendi y Peake, 1996; Waliszewski, 1996; Albert, 2001; Waliszewskiet *al.*, 2002; Masiset *al.*, 2008).

Se ha establecido que sólo el 0.1% de la cantidad de los plaguicidas aplicados llega a la plaga, mientras que el restante circula por el medio ambiente, contaminando posiblemente el suelo, agua y la biota. Por lo tanto, se hace necesario caracterizar el destino final y la toxicidad no prevista de estos plaguicidas para evaluar con certeza el riesgo asociado a su uso (Carvalho *et al.*, 1998).

Actualmente, los retos principales que tienen que enfrentar la agricultura mundial, los gobiernos y la sociedad en su conjunto, son los de satisfacer la demanda de alimentos y mantener niveles sustentables de los recursos naturales (Pérez y Landeros, 2009).

3.3. Importancia del agua subterránea

La palabra acuífero proviene de dos palabras latinas: *aqua*, de agua, y *ferre*, traer, y se define como la formación, o parte de una formación, que contiene suficiente material permeable cuyos poros están llenos de agua subterránea. Los acuíferos se utilizan para obtener cantidades significativas de agua de pozos y manantiales, y los más productivos en el mundo están compuestos de materiales sin consolidar, como gravas y arenas.

De toda el agua dulce disponible, la proporción de agua subterránea alcanza el 0.6% del total de agua del planeta (Bottura, 2003). En México, el agua subterráneas un recurso vital para el desarrollo de todos los sectores, debido a que en más del 50% de su territorio prevalecen los climas seco y semiseco; por lo que en la mayor parte del territorio nacional son importantes las fuentes de agua subterránea y, en muchos casos, son la única forma de abastecimiento de agua (Gutiérrez-Carrillo *et al.*, 2002).

El 63% del agua utilizada en el país para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales, mientras que 37% proviene de acuíferos. Hasta ahora se encuentran registrados 653 acuíferos, de los cuales se aprovechan 340 zonas geohidrológicas, de las que se extraen aproximadamente 30 mil millones de metros cúbicos al año, utilizándose 63% para riego, 19% para satisfacer las necesidades de agua de 55 millones de habitantes, 13% para abastecer a la industria y el 5% lo aprovecha la población rural.

Entre los problemas que actualmente enfrenta el elemento agua, se encuentra su mala calidad (FAO, 2002). Estimaciones de la Organización Mundial de la Salud indican que hay más de 1,000 millones de personas que no tienen acceso a agua sin contaminar, siendo las zonas rurales donde se acentúa el problema. En los países en desarrollo, del 90% al 95% de las aguas residuales y el 70% de los desechos industriales se vierten sin ningún tipo de tratamiento en aguas superficiales, de modo que contaminan las existencias de agua utilizable (OMS, 2004).

La contaminación del agua superficial y subterránea, causada por fuentes no-puntuales, como la agricultura y la explotación forestal intensiva, se ha convertido en un tema de gran importancia y controversia en los últimos años, señalándose a la agricultura como uno de los contribuyentes principales (Sasson, 1993).

3.4. Historia del uso de los plaguicidas

Desde épocas remotas el hombre ha combatido a las plagas y, por lo tanto, ha utilizado plaguicidas. La primera etapa en la historia de los plaguicidas abarcó desde antes de Cristo a mediados del siglo XIX, y se le llamó “era de los productos naturales”.

Años más tarde, debido a la Revolución Industrial, se requirió de una mayor capacidad de producción, almacenamiento y protección de los alimentos. Como resultado, la agricultura adquirió un carácter más industrial provocando el lanzamiento al mercado de una serie de sustancias de toxicidad desconocida y a muy bajo costo. Se establecieron entonces las bases de la relación mercantil, que aún perdura, entre la producción de alimentos y la producción y uso de plaguicidas. Entre los cuales se encontraban productos relativamente sencillos como ácido carbónico y fénico, sulfato de cobre (verde de París), y diversos fumigantes, como disulfuro de carbono y bromuro de metilo. Este segundo periodo de la historia de los plaguicidas se conoce como “era de los fumigantes y los derivados del petróleo”, y abarcó desde mediados del siglo XIX hasta principios del siglo XX (Arata, 1984a).

La tercera etapa en la historia de los plaguicidas se conoce como “era de los productos sintéticos”, iniciándose a mediados de la década de los 20 en Estados Unidos, con la síntesis y el uso de los dinitroderivados. El empleo de estos productos se popularizó después de la Segunda Guerra Mundial. El caso del DDT es clásico, aunque se sintetizó por primera vez a finales del siglo pasado sus propiedades insecticidas no se reconocieron hasta 1939. Al final de la guerra, el DDT se empezó a usar ampliamente en la agricultura y con gran éxito en el control de vectores de organismos causantes de enfermedades como la malaria. En 1945 se introdujeron compuestos clorados, entre ellos: aldrín, clordano y heptacloro. Debido a que estos nuevos productos eran eficaces, baratos y fáciles de usar, se supuso que podrían contribuir al control de vectores y plagas en los cultivos, y de enfermedades en el ganado, reduciendo o evitando las pérdidas en la producción de alimentos (Arata, 1984b).

En esta etapa se desarrollaron la mayoría de los plaguicidas sintéticos de uso actual, y a partir de estas fechas se han presentado un gran número de intoxicaciones agudas y de problemas ambientales derivados del uso de xenobióticos, incluyendo su acumulación indeseable en el ambiente y en los seres vivos.

A partir de 1962 se iniciaron múltiples estudios sobre los efectos adversos de los plaguicidas, lo que proporcionó pruebas suficientes para modificar la legislación de muchos países, especialmente los desarrollados, en cuanto al uso, producción y distribución de plaguicidas. En contraste, en los países en desarrollo la introducción de la mayoría de estos compuestos fue posterior y en muchos de ellos se siguen utilizando plaguicidas persistentes, incluso en un buen número de éstos aún se aplican sistemas agrícolas del tipo “Revolución Verde”, los cuáles han logrado su cometido sólo en aquellos países que han alcanzado un alto grado de desarrollo tecnológico en el tema agrícola.

3.5. Definición y clasificación de plaguicidas

Existen varias definiciones de plaguicidas, entre ellas, la establecida por la OMS (1992), la cual se describe como sigue: “un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de organismos causantes de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y alimentos para animales”. La CICOPAFEST (1994) añadió en esta definición a las sustancias defoliantes o desecantes. En resumen, un plaguicida es una sustancia capaz de eliminar cualquier organismo (denominado plaga), flora o fauna, que interfiera en el desarrollo deseado, según su fin, de algún otro organismo.

Existen varias clasificaciones de plaguicidas, las más comunes se presentan a continuación:

3.5.1. De acuerdo con los organismos que controlan

El ingrediente activo puede ser: insecticida, acaricida, fungicida, bactericida, antibiótico, herbicida, nematocida, rodenticida o molusquicida.

3.5.2. Por su composición química

Los ingredientes activos pueden ser:

- a. Compuestos inorgánicos: compuestos derivados de cobre, azufre, zinc o dealuminio, entre otros.
- b. Compuestos orgánicos: la mayoría son de origen sintético, fabricados a partir de compuestos químicos básicos; algunos son extraídos de plantas, por lo que se conocen como botánicos. Los compuestos orgánicos sintéticos utilizados como plaguicidas pertenecen a distintos grupos o familias químicas, tales como organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, tiocarbamatos y otros.
- c. Plaguicidas biológicos: se llama así a los virus, microorganismos o derivados de su metabolismo, formulados como insumos, que pueden controlar a una plaga en particular.

3.5.3. Por su persistencia

Conforme al tiempo que transcurre entre su aplicación y la degradación ambiental del compuesto se clasifican en:

- a) Ligeramente persistentes: menos de cuatro semanas.
- b) Poco persistentes: de cuatro a veintiséis semanas.
- c) Medianamente persistentes: de veintisiete a cincuenta y dos semanas.
- d) Altamente persistentes: más de un año y menos de veinte.
- e) Permanentes: más de veinte años.

3.5.4. Por su grupo químico

Considerando su composición, se los puede clasificar en: a) organoclorados, cuyas principales características respecto al deterioro del ambiente son la persistencia en el suelo, en el agua y en la biota; b) organofosforados, c) carbamatos, los cuales tienen

mayor movilidad respecto a los anteriores, y d) piretroides. Esta última clasificación se introdujo en los últimos años, con la síntesis de químicos similares a la piretrina y la expansión de su uso. Ejemplos de cada uno de éstos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de los plaguicidas, según la familia química.

Grupo químico	Ejemplos de plaguicidas
Organoclorados	DDT, aldrín, endosulfán, endrín
Organofosforados	Bromophos, diclorvos, malatión
Carbamatos	Carbaryl, methomyl, propoxur
Tiocarbamatos	Ditiocarbamato, mancozeb, maneb
Piretroides	Cypermethrin, fenvalerato, permethrin
Derivados bipyridilos	Clomequat, diquat, paraquat
Derivados de triazinas	DNOC, dinoterb, dinocap Atrazine, ametryn, desmetryn, simazine
Compuestos de origen botánico	Rotenona, nicotina, aceite de canola

De los insecticidas, la mitad son organoclorados utilizados en campañas sanitarias y el sector agropecuario, mientras que el 50% restante son organofosforados, carbamatos y piretroides.

En los últimos años, la OMS publicó una nueva propuesta de clasificación de plaguicidas de acuerdo a su peligrosidad (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su toxicidad. (WHO, 2009)

Clases (WHO)*	LD₅₀ para ratas (mg/kg peso corporal)	
	Oral	Dermal
Ia extremadamente peligroso	< 5	<50
Ib altamente peligroso	5-50	50-200
II moderadamente peligroso	50-2000	200-2000

*Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés).

3.6. Usos y aplicaciones de plaguicidas

El empleo de los plaguicidas es muy versátil, se utilizan principalmente en agricultura, silvicultura y ganadería. En la industria se emplean para preservar materiales como pinturas, madera y textiles, y en salud pública para el control de vectores y ectoparásitos (IPCS, 1989).

En función del consumo, la agricultura es la actividad económica que más emplea este tipo de compuestos, utilizando 85% de la producción mundial. La finalidad es controlar químicamente las plagas que merman las cosechas de alimentos y de otros vegetales. Un 10% de la producción total se utiliza en actividades sanitarias. También se utilizan para el control de roedores y en la erradicación de plantas como la amapola y marihuana (Jury *et al.*, 1983).

Otro uso, aunque pocos los reconozcan como tal, se da en los hogares y áreas verdes que los rodean, pues en muchos casos los plaguicidas son incorporados en productos de consumo como cosméticos y shampoo, con la finalidad de preservar las plantas y algunos alimentos del desarrollo de hongos y bacterias. También se usan como repelentes de insectos o en productos destinados al cuidado de mascotas y plantas para atacar o prevenir infestaciones, sin estar citados en la etiqueta reglamentaria del producto, o al advertir al consumidor sobre las precauciones de su empleo. El desconocimiento causa un uso y manejo incorrectos de los plaguicidas, lo que representa un peligro para el hombre, manifestándose como intoxicaciones inmediatas de grado diverso. Pero, Botello *et al.* (2002) reportaron otras reacciones que se presentan a mediano o largo plazo, tales como: carcinogénesis, teratogénesis, esterilidad y mutagénesis. Existe desinformación, e incluso mala información acerca de los plaguicidas en los hogares, pues los medios de comunicación suelen ofrecerlos como productos inocuos para la salud, llevando a un uso excesivo de los mismos. Además, los problemas de salud que se presentan, suelen asociarse a reacciones alérgicas a los componentes y no a un perjuicio general de los mismos ingredientes.

Uno de los primeros plaguicidas sintéticos y el más comúnmente empleado es el DDT, por lo que se convirtió en el insecticida más ampliamente utilizado en el mundo en las campañas sanitarias, aunque también encontró campo de aplicación en la agricultura, en casi todos los cultivos. Por décadas, el DDT ha jugado un papel importante en los esfuerzos globales para combatir la malaria, dengue, entre otras enfermedades transmitidas por vectores. Fue usado al inicio con asombroso éxito contra el paludismo; sin embargo, esta enfermedad continúa siendo una amenaza mundial (Díaz, 2000).

3.7. Contaminación por plaguicidas

Aun cuando los plaguicidas han sido diseñados para ofrecer una alta especificidad de acción, su uso genera innumerables efectos secundarios como la generación de organismos resistentes, persistencia en el ambiente o la contaminación de los recursos hídricos. (Carvalho *et al.*, 1998) estima que sólo un 0.1% de la cantidad de los plaguicidas aplicados llega a la plaga, mientras que el restante circula por el medio ambiente, contaminando posiblemente el suelo, el agua y la biota. Por lo tanto, es previsible encontrar los plaguicidas y/o sus productos de transformación a los diferentes ecosistemas eventualmente. Ahí, acorde a sus características químicas, pueden degradarse parcial o totalmente, permanecer sin cambios, regresar a la atmósfera por volatilización, o bioconcentrarse en los organismos de dichos entornos. (Young *et al.*, 1988), asegura que los efectos adversos de los plaguicidas en el medio ambiente ocurren sobre el agua, el suelo, la biota del sistema y no sólo dependen de las características del tóxico y de su concentración, sino también de la naturaleza del ecosistema.

3.7.1. Contaminación atmosférica

En la agricultura, la aspersion aérea del plaguicida es efectiva solo en un 53%, el 47% restante se deposita en el suelo y aguas colindantes o bien, se dispersan en la atmósfera y se transportan a otros ecosistemas (Figura 2) (Larson *et al.*, 1995). Los plaguicidas en los suelos y en la biota pueden persistir desde un día hasta varios años, los compuestos que persisten más tiempo en el ambiente tienen una mayor posibilidad de interacción con otros elementos del sistema. Por otro lado, su vida media y su

persistencia es mayor a la frecuencia con la que se aplica, el plaguicida tiende a acumularse tanto en los suelos como en los organismos (bioacumulación) y biomagnificarse en las cadenas alimenticias (FAO/UNEP, 1991).

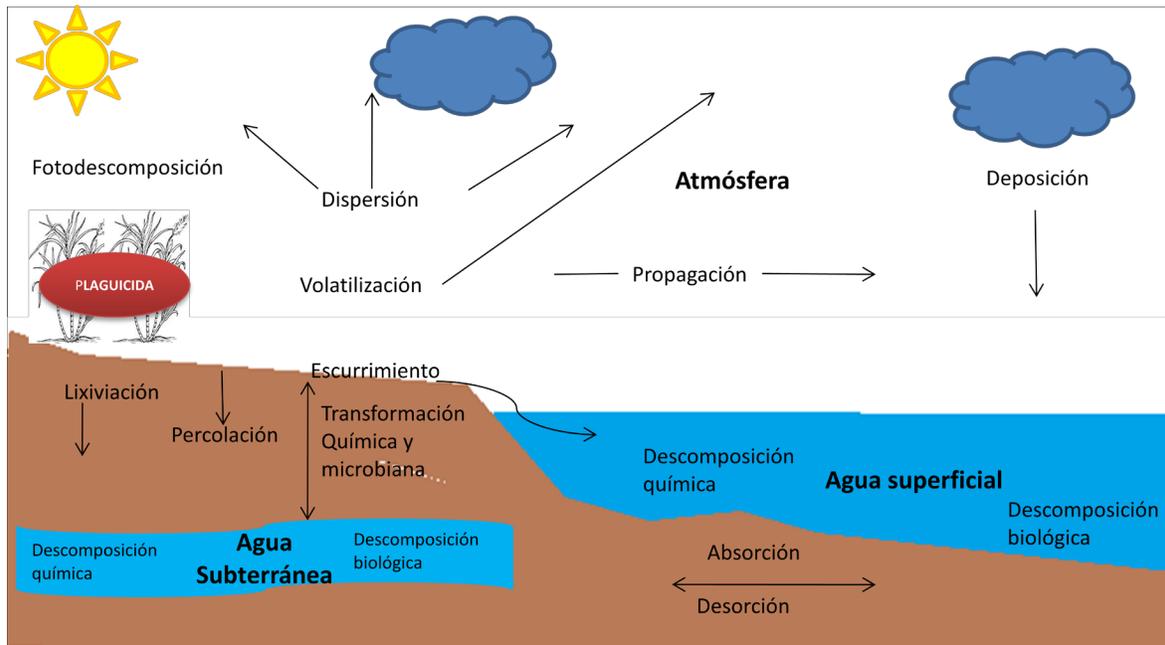


Figura 2. Transporte y distribución de plaguicidas en el medio ambiente.

3.7.2. Contaminación del suelo

Los plaguicidas en general, disminuyen la diversidad biológica, afectan a los microorganismos del suelo, disminuyen la descomposición de la materia orgánica, modifican la estructura de los suelos, favorecen la erosión y afectan la infiltración del agua.

Para valorar el efecto de los plaguicidas se deben tomar en cuenta la susceptibilidad y la vulnerabilidad de los elementos de un ecosistema. Los sistemas más complejos son los menos susceptibles, entre ellos están las praderas naturales y los bosques. Los más susceptibles son aquellos que no se regeneran fácilmente y que además reciben de manera regular grandes cantidades de plaguicidas, como son los monocultivos (Pimentel y Edwards, 1982).

Una vez estos compuestos llegan al suelo pueden generar efectos nocivos sobre los organismos presentes, ya que en muchas ocasiones su acción es de amplio espectro al no discriminar su efecto biocida. De esta forma se afecta la vida del suelo, ocasionando disminución de procesos bióticos importantes como la descomposición, mineralización, humificación y la regulación de otros microorganismos fitopatógenos (García y Dorronsoro, 2002).

Algunos aspectos de la contaminación de los suelos por plaguicidas son:

- a) **Producción de metabolitos tóxicos.** Los productos de degradación de algunos plaguicidas no son siempre inocuos. Así, ditiocarbamatos y fenilamidas producen metabolitos altamente tóxicos.

- b) **Influencia de los plaguicidas en la microflora del suelo.** Los plaguicidas no solo actúan sobre las plagas, sino que afectan indiscriminadamente a todos los organismos. El efecto es una esterilización parcial del suelo, que tarda meses o años en recobrar el nivel de equilibrio climácico en las poblaciones de microorganismos. Muchas veces, incluso, puede producirse la proliferación de plagas por eliminación de sus competidores naturales (efecto boomerang).

- c) **Incidencia sobre las propiedades del suelo.** Las repercusiones sobre las propiedades físico-químicas del suelo pueden ser importantes, bien sea por la acción sobre la microflora del suelo, o más difusa y con efectos largo plazo a las dosis normales de aplicación.

Cuando un plaguicida se aplica al campo, bien en forma de pulverización o líquido se distribuye en las distintas fases del ambiente suelo, agua, aire, animales y plantas. La distribución tendrá lugar de forma que la concentración en cada una de las fases sea función tanto de las propiedades químicas del compuesto como de la fase. El estudio de la interacción de los plaguicidas con la fase suelo, sustrato primario y más importante, tiene especial interés, ya que la mayor parte de los mismos llega a ponerse

en contacto con la superficie de éste ya sea directa o indirectamente por lo que se hace necesario conocer su evolución en este sistema.

Los mecanismos que influyen en la persistencia y evolución de plaguicidas en el suelo pueden actuar solos o en combinación sobre la estructura de los diferentes productos específicos y dependen de otras variables, como humedad, temperatura, materia orgánica, tipo de arcilla, pH, intercambio iónico del suelo, así como de las características fisicoquímicas del compuesto de que se trate sucesivamente considerados son:

Descomposición química que tiene lugar por procesos de oxidación, reducción, hidroxilación, dealquilación, rotura de anillos, hidrólisis e hidratación.

Descomposición fotoquímica que se produce por efecto del espectro de luz ultravioleta de la luz solar. Las fuentes de luz y su intensidad regulan el grado de descomposición de un compuesto.

Descomposición microbiana, la acción de los microorganismos del suelo sobre los plaguicidas es probablemente el mecanismo de descomposición más importante. Los microorganismos del suelo, bacterias, algas y hongos, obtienen alimento y energía para su crecimiento por descomposición de estos compuestos orgánicos sobre todo cuando carecen de otras fuentes.

Volatilización pérdida del compuesto en forma de vapor. Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentren y de la temperatura ambiente.

Movimiento, el transporte de un plaguicida en el suelo, por disolución o arrastre mecánico, se hace bajo la influencia del agua, bien de las precipitaciones atmosféricas que favorecen el movimiento de convección, bien de la imbibición que permite un desplazamiento por difusión molecular. El grado de lixiviación está influido por las

características fisicoquímicas del suelo, solubilidad del producto, frecuencia e intensidad de la lluvia, etc.

Descomposición por las plantas y organismos como consecuencia de los procesos metabólicos que tienen lugar en las plantas.

Cuando un plaguicida es adsorbido su concentración en la solución del suelo disminuye, estableciéndose un equilibrio entre las concentraciones de materia activa disuelta y adsorbida. El mecanismo de desorción del compuesto dependerá principalmente de la energía de adsorción. Cuanto mayor sea esta energía, más difícil será la desorción del plaguicida de nuevo a la solución del suelo.

La adsorción de plaguicidas por los coloides del suelo puede modificar su:

- a) Actividad
- b) Persistencia
- c) Degradación

Dando lugar a una inactivación de los plaguicidas, ya que estas moléculas al quedar bloqueadas no pueden ejercer su efecto tóxico. Para que estos compuestos sean efectivos en el suelo, deben aplicarse en dosis determinadas. Así, si el suelo tiene textura arcillosa y la adsorción tiene lugar en gran cantidad, las dosis de aplicación deberán ser superiores a las normales si se quieren conseguir los efectos deseados.

Estas condiciones originan un aumento de la persistencia de estos compuestos en el suelo con el consiguiente riesgo de contaminación. Si la adsorción produce una separación irreversible de la molécula de la forma activa, entonces la pérdida de actividad será permanente, pero si se producen cambios en las condiciones ambientales de temperatura o humedad, o en la estructura del suelo se pueden originar desprendimientos lentos del compuesto al estado disponible, de modo que vuelve a entrar en el sistema biológico, pero ahora a concentraciones demasiado bajas para ser significantes en el control de las plagas, aunque posiblemente a niveles

suficientemente altos para entrar de alguna forma en la cadena de alimentos y ser nocivo a determinados organismos, diferentes de aquellos para los que habían sido destinado. Influye en su degradación, en unos casos, impidiéndola o retrasándola, ya que mientras que estos compuestos están adsorbidos los mecanismos de descomposición de los mismos no pueden actuar o actúan más lentamente. En otros casos, la adsorción puede aumentar la degradación del plaguicida, ya que los minerales de la arcilla pueden catalizar su descomposición por medio de la formación de fuertes arcilla-molécula orgánica que debilitarán ciertos enlaces dentro de la molécula. La posibilidad de las arcillas de catalizar estas reacciones está relacionada con su naturaleza, en algunos casos, fuertemente ácida y con la naturaleza de los cationes de cambio. Así por ejemplo es notable la descomposición de heptacloro, DDT, dieldrín y endrín sobre diluyentes como atapulgita y caolinita. El efecto de esta degradación catalítica no tendrá consecuencias en cuanto a la contaminación, siempre que los productos de hidrólisis no sean tóxicos, pero sí tendrá efecto en cuanto a la actividad.

Por otra parte, las consecuencias de la persistencia pueden ser muy importantes, dependiendo de la toxicidad del plaguicida y de su biodisponibilidad. Los valores de persistencia están referidos al tiempo requerido para tener una pérdida del 75% del compuesto.

Está demostrado que los plaguicidas más persistentes son los organoclorados (más de 20 años), los herbicidas del grupo de los carbamatos, ácidos alifáticos y triazinas presentan un amplio espectro de persistencia, desde pocas semanas hasta más de un año, y los insecticidas organofosforados tienen una vida más corta en el suelo desapareciendo en un período de 2 a 12 semanas.

Sin embargo, la velocidad de descomposición y desaparición de los compuestos organofosforados, carbamatos y otros es sólo relativa. El contenido de materia orgánica presente en el suelo influye en gran medida en las relaciones que puedan existir entre adsorción y contenido en arcilla. Cuando el contenido de materia orgánica es alto, el

coeficiente de correlación adsorción-materia orgánica es elevado, teniendo lugar la adsorción principalmente en las superficies orgánicas y enmascarando el efecto de la adsorción por superficies minerales. Cuando este contenido es menor del 2%, comienza a manifestarse el efecto de los constituyentes inorgánicos en el proceso de adsorción.

Los plaguicidas en general, disminuyen la diversidad biológica, afectan a los microorganismos del suelo, disminuyen la descomposición de la materia orgánica, modifican la estructura de los suelos, favorecen la erosión y afectan la infiltración del agua (Sánchez y Sánchez, 1984).

Para valorar el efecto de los plaguicidas se deben tomar en cuenta la susceptibilidad y la vulnerabilidad de los elementos de un ecosistema. Los sistemas más complejos son los menos susceptibles, entre ellos están las praderas naturales y los bosques. Los más susceptibles son aquellos que no se regeneran fácilmente y que además reciben de manera regular grandes cantidades de plaguicidas, como son los monocultivos (Pimentel y Edwards, 1982).

3.7.3. Contaminación acuática

Los plaguicidas pueden contaminar el agua de diferentes formas: por aplicación directa, por acarreo en precipitaciones atmosféricas, o en deslaves de tierras, cultivos, etc. Tanto los plaguicidas solubles como insolubles interactúan con los organismos acuáticos. Sin embargo, los plaguicidas hidrosolubles persisten en el medio según sus propias características, y los insolubles se concentran en la biota acuática y en los sedimentos.

Los lagos, lagunas y estuarios son sistemas complejos pero de una susceptibilidad intermedia. Estos últimos tienen una diversidad biológica en flora y fauna muy rica con ciclos de nutrición y flujos de energía complicados; por lo que presentan un alto grado de resistencia a las perturbaciones provocadas por los contaminantes, aunque los herbicidas en particular pueden destruir la flora acuática y el fitoplancton

cambiando los niveles de oxígeno disuelto y las características ecológicas del sistema (Pimentel y Edwards, 1982).

El movimiento del agua en el suelo es el principal mecanismo para la transferencia de contaminantes a las aguas superficiales y subterráneas (Leeds-Harrison, 1995) y está condicionado por las características intrínsecas de los productos y está estrechamente ligado con las propiedades del medio en que se encuentren.

En general y debido a que los plaguicidas se aplican comúnmente de una manera difusa, su paso a las aguas se realiza con una dilución importante, dando concentraciones finales bajas, salvo en el caso de vertidos accidentales, aplicaciones directas del plaguicida sobre el agua, y en algunos casos, por efectos acumulativos de la concentración de los productos (ciertos plaguicidas o excesos en su uso) o gran vulnerabilidad de los acuíferos (Figura 1). Además, el contenido en materia orgánica del suelo influye en dos sentidos en la cantidad de plaguicidas que alcanzan las aguas subterráneas. Por un lado la materia orgánica es una fuente de energía para los microorganismos y éstos son uno de los principales responsables de la degradación de plaguicidas, por lo que al incrementarse aquella, aumenta la bioactividad y, consecuentemente la degradación de los mismos. Por otra parte la adsorción de los plaguicidas se incrementa con el contenido de materia orgánica.

Se ha reportado la aparición de residuos de plaguicidas en casi todos los cuerpos de agua estudiados, tanto superficiales, como subterráneos.

3.7.4. Contaminación de los alimentos

Como consecuencia de la amplia distribución de los plaguicidas en el aire, suelo, agua, biota terrestre y acuática, se produce una acumulación variable de ellos en los elementos que constituyen la alimentación humana y por ende en el organismo humano. La contaminación de alimentos se puede presentar por aplicación directa, por acumulación de plaguicidas en las cadenas tróficas, o a través del manejo, transporte y almacenamiento de los productos comestibles.

Los alimentos de origen animal como leche y carne se consideran la mayor fuente de residuos de plaguicidas en la alimentación humana. Diversos estudios registran presencia de los mismos plaguicidas en la leche humana (Tanabe *et al.*, 1990; Alawi *et al.*, 1992; Vannuchi *et al.*, 1992). La toxicidad de estos compuestos ha sido corroborada por diferentes estudios, confirmando que: inducen la actividad enzimática mediante radicales libres, alteran la respuesta inmunológica, afectan los procesos reproductivos, alteran el metabolismo lipídico, el transporte de vitaminas y de glucosa, algunos son considerados mutagénicos, teratogénicos o carcinogénicos (Durham, 1974; Larsen, 1988; Heeschen, 1991), no sólo en la especie humana sino en las comunidades bióticas con diferente nivel de sensibilidad.

3.8. Efectos en la salud de algunos plaguicidas

El hombre puede estar expuesto a diversos agentes químicos los cuales pueden poseer un riesgo potencial a la salud. La dieta, el aire, el agua, el suelo y el polvo son los principales medios a través de los cuales toma lugar la exposición a estos agentes. Por otro parte, la capacidad de los compuestos químicos para producir toxicidad puede variar mucho, así mismo las condiciones de exposición bajo las cuales ejercen sus efectos, también pueden variar e influir en la magnitud de tales efectos.

Se ha advertido extensamente contra los efectos nocivos de los plaguicidas en la salud humana. Si bien, estadísticamente es poco probable correlacionar a los plaguicidas con la salud humana, numerosos estudios han logrado establecer cierta relación entre el uso o exposición de plaguicidas. Los efectos de los plaguicidas en la salud humana pueden ser provocados entre otros medios por consumir agua (alimento) con dichos contaminantes (Ongley, 1997), frecuentemente en zonas rurales donde no se cuenta con sistemas de abastecimiento de agua potable, el agua utilizada para bebida, preparación de alimentos y para la higiene personal proviene de fuentes superficiales o de pozos perforados o excavados a los cuales no se les realiza ningún tratamiento que reduzca los contaminantes presentes en el agua.

La intoxicación por plaguicidas ocurre porque los plaguicidas, al entrar en contacto con el ambiente y sobre todo con organismos vivos sufren un proceso de biotransformación que ocurre principalmente en el hígado de los organismos. En éste proceso puede ocurrir que los plaguicidas se detoxifiquen o bien se toxifiquen, pues algunos metabolitos tienen mayor facilidad para interactuar con las moléculas y en algunos casos resultan más tóxicos que el plaguicida comotal.

Entre otras alteraciones, los plaguicidas pueden causar mutaciones a nivel genético. Estudios realizados sobre la exposición ocupacional a plaguicidas y su relación con el cáncer ha sido encontrada en varios estudios en donde debe considerarse la incidencia de agentes exógenos químicos, físicos o biológicos; o endógenos, como, el sistema inmunológico y otros. Estos agentes pueden causar daños genéticos y cambios fisiológicos que contribuyen a que se sucedan los diferentes eventos para que el cáncer se desarrolle y exprese clínicamente. Otro efecto negativo, muy importante, es la teratogenicidad, muchos químicos pueden producir daños a nivel genético y originar alteraciones que interfieren con los procesos de diferenciación y consecuentemente en la incidencia de anomalías congénitas en los recién nacidos. Existe evidencia directa de que genes mutados por exposición a químicos pueden originar defectos en el desarrollo óseo, muscular, visión, pigmentación de la piel, desarrollo embrionario, etc.

La variedad de los efectos genotóxicos originados por los plaguicidas depende de varios factores como el ingrediente activo del plaguicida, de las impurezas, de los metabolitos originados, de la ruta de absorción, de la duración y frecuencia (aguda, subaguda, subcrónica o crónica), de la exposición y además del poder de acumulación del plaguicida en los diferentes tejidos, especialmente en el graso. Las impurezas en las diferentes formulaciones del plaguicida son muy importantes de considerar, puesto que en algunos casos sus efectos son debidos a sus contaminantes y no al compuesto activo. El hecho de que los plaguicidas sean empleados en mezclas o sean usados en forma simultánea con varios agroquímicos para un mismo cultivo, hace que los efectos genotóxicos puedan ser aditivos, es decir, que sus efectos sean iguales a la

suma de los efectos de cada compuesto. También se puede presentar el sinergismo, que es del hecho de que el efecto combinado de dos o más plaguicidas es mayor de la suma de los efectos de cada uno por separado; o el potenciador, que se presenta cuando un plaguicida no tiene efecto tóxico pero en combinación con otro compuesto puede hacer que éste sea mucho más tóxico (Córdoba, 2006).

3.9. Mecanismo de acción de algunos plaguicidas

Los plaguicidas organoclorados se han asociado con desórdenes neurológicos y posibilidad de producir cáncer y alteraciones en los diversos sistemas del cuerpo. El hexaclorociclohexano (HCH), se considera altamente tóxico por la toxicidad individual que presentan sus isómeros así como su capacidad de bioacumularse en mamíferos y su persistencia en el medio ambiente (Ferrer, 2003). En general los organoclorados se absorben en varios grados en el intestino, pulmón y piel. La eficiencia de la absorción dérmica es variable. El hexaclorociclohexano (HCH) y el endosulfán son absorbidos eficientemente a través de la piel (Echobichon, 1996). La acción tóxica principal de los plaguicidas organoclorados se dirige al sistema nervioso, en donde estos compuestos inducen a un estado de sobre excitación en el cerebro (Ferrer, 2003). Este efecto se manifiesta principalmente en convulsiones, muchas veces violentas. Las concentraciones tisulares elevadas de organoclorados aumentan la irritabilidad del miocardio, lo que predispone a arritmias cardíacas (Joy, 1985).

En el caso de los organofosforados destaca el paratión metílico, es altamente tóxico por inhalación e ingestión y moderadamente tóxico por absorción dérmica. Sus efectos incluyen pérdida de coordinación nerviosa y eventualmente tetanización muscular (Lagunes *et al.*, 1994). La exposición a este organofosforado se ha asociado con cáncer de mama (Green *et al.*, 2004), problemas respiratorios, trastornos de memoria, afectaciones dermatológicas, depresión, déficit neurológico, abortos espontáneos y defectos de nacimiento (Seis *et al.*, 2004; McCauley *et al.*, 2006), así como dificultades motoras y de comportamiento en hijos de padres expuestos (Ruckart *et al.*, 2003).

Los carbamatos se absorben por vía aérea y vía dérmica, aunque esta última tiende a ser la ruta menos tóxica. Con respecto a efectos en la salud a largo plazo, ha sido

relacionado con la presencia de linfoma non-Hodgkin por exposición agrícola así como cambios en la morfología testicular (Bassil *et al.*, 2007).

En cuanto a los piretroides de baja toxicidad en mamíferos. Su mecanismo de acción es mediante el cierre de los canales de Na⁺ que regulan la comunicación neuronal y el impulso nervioso manifestándose parálisis. Los más peligrosos son los Tipo II, son considerados neurotóxicos (Karam, 2004). La exposición a estos piretroides durante el primer trimestre del embarazo puede aumentar el riesgo de diabetes mellitus gestacional y trastornos hipertensivos del embarazo (Saldana *et al.*, 2007). Algunos estudios han observado que la exposición crónica a piretroides altera el perfil bioquímico del plasma y la disminución de la peroxidación lipídica (Saldana *et al.*, 2009). Asimismo se ha relacionado con disminución del conteo espermático, alteración de la función endócrina (Durkin *et al.*, 2010), específicamente lambda-cialotrina se ha relacionado con proliferación de cáncer de mama (Zhao, 2008).

3.10. Aspectos económicos y políticos del uso de plaguicidas

A nivel mundial, existen organizaciones que se encargan de generar manuales, con el objetivo básico de promover, en la medida de lo posible, que la fabricación, distribución y uso de plaguicidas cumplan con los requisitos básicos de calidad; tal es el caso de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, siglas de Food and Agriculture Organization), ambas organizaciones frecuentemente forman grupos de trabajo con el fin de estandarizar opiniones y reglamentos.

En el caso de la OECD (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico), entre otros aspectos, ofrece directrices para evaluar los plaguicidas, con el fin de establecer la toxicidad de los compuestos y el efecto en la salud de los ecosistemas. Éstas son revisadas periódicamente a la luz de los avances científicos o cambios en las prácticas de evaluación.

La EPA (Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos), regula el uso y manejo de plaguicidas y establece límites máximos de residuos en los diferentes matrices en las que se pueden encontrar los plaguicidas (EPA, 2011). Esta agencia reviste una gran importancia y sus límites permisibles son tomados como referencia en casi toda América. En general, las legislaciones, respecto al tema, en cada país se basan en lo estipulado por las tres organizaciones antes mencionadas.

La regulación de los plaguicidas en México es llevada a cabo por diversas dependencias federales, así el transporte de estas sustancias es regulado por la SCT, el impacto al medio ambiente por la SEMARNAT (Ley General de Equilibrio Ecológico), la eficacia biológica de los productos para uso agrícola por la SAGARPA y los aspectos sanitarios por la Secretaría de Salud.

Con esta visión la Secretaría de Salud establece que se deben cumplir una serie de requisitos que garanticen que los plaguicidas que llegan al mercado mexicano sean seguros durante su "manejo". Sin embargo, a pesar de la preocupación de las autoridades mexicanas, de los 490 plaguicidas que se venden en México, 32 están estrictamente prohibidos en casi todas las naciones del mundo porque provocan severos daños a la salud.

Según Bazán (2002), en México las Secretarías de Salud y de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación no se han preocupado por crear un organismo que vigile el estricto manejo de estos productos, y sólo se limitaron a publicar en el Diario Oficial de la Federación la normatividad para la fabricación y uso de plaguicidas, insecticidas y herbicidas. De los 433 plaguicidas agrícolas en México, 70 son para uso urbano y pecuario y 50 para los sectores doméstico, industrial y forestal, los cuales se venden libres de restricciones en el país, y ninguno es 100% inocuo a la salud.

Antes de 1994 ya se había prohibido la importación, venta y consumo de la mayoría de los plaguicidas organoclorados considerados en el Convenio de Estocolmo, con excepción del DDT y clordano. Se mantiene el uso restringido del DDT al control de

vectores (vigilancia de la SSA). Aunado a esto, se hizo el compromiso de reducir hasta en un 80% el consumo para 2000 y eliminarlo totalmente para 2005. Sin embargo, aún se siguen empleando.

3.11. El agroecosistema con caña de azúcar

Dentro del agro mexicano el cultivo de caña de azúcar se registra en 15 estados del país, donde se benefician directamente 227 municipios. Actualmente, operan 54 ingenios azucareros en México, con una superficie de 812,000 ha, de las cuales fueron cosechadas, en el ciclo 2008-2009, 663,000 de ellas; lo que representa aproximadamente, 5 millones de toneladas de azúcar y el 0.06% del PIB nacional (UNC, 2010). De este total, el 40% proviene de 22 ingenios azucareros localizados en el Estado de Veracruz, lo que le confiere el primer lugar de producción azucarera en el país (Calatayud y Jácome, 2007).

México ocupa el 7° lugar a nivel mundial en producción de azúcar en el mundo, el 7° lugar en consumo de azúcar (44 kg *per capita*/año), y el 4° y 5° lugar en la producción de azúcar por hectárea. Es una de las industrias más importantes del país con proyecciones de crecimiento y de mayor fuerza económica, política y social; generando 440 mil empleos directos y 2.5 millones de empleos indirectos, cuyo efecto socioeconómico se refleja en 12 millones de mexicanos (Calatayud y Jácome, 2007; UNC, 2010).

3.11.1. Uso de agroquímicos en el agroecosistema cañero

Para mantener esta producción y en la búsqueda de mejorarla día a día, se requiere que el cultivo tenga una importante de diversos agroquímicos, entre los que destacan los fertilizantes y los plaguicidas.

3.11.1.1. Fertilizantes

Las necesidades nutricionales del cultivo de caña de azúcar, están determinadas por la cantidad total de nutrientes que necesita extraer del suelo durante su crecimiento y desarrollo, para lograr una elevada producción. La caña de azúcar posee altos

requerimientos nutricionales debido a su elevada capacidad de producción de material vegetal (tallos, follaje, cepa y raíces), y la prolongada duración de su ciclo vegetativo y productivo. Razón por la cual, efectúa una extracción de nutrientes del suelo que puede alcanzar niveles de 800 a 1500 kg ha^{-1} por año. Algunos de los compuestos más importantes, por su cantidad, son nitrógeno, fósforo y potasio.

La caña de azúcar, en sus primeras semanas de crecimiento absorbe y acumula un exceso de nitrógeno, necesario para el desarrollo vegetativo, razón por la cual, suelen aplicarse dosis muy por encima del requerimiento. El nitrógeno constituye el elemento de mayor importancia en la productividad. Generalmente se recomiendan dosis promedio de nitrógeno de 100 kg Nha^{-1} , para plantas nuevas se divide en dos dosis. En términos generales las dosis de nitrógeno recomendadas son menores para la caña planta y aumentan por los cortes. Los fertilizantes nitrogenados más comunes son: Urea (46% N), Sulfato de Amonio (21% de N y 24% de S), Nitrato de Amonio (33% de N).

Durante la siembra, se recomienda abonar únicamente con fósforo. La dosis oscilará entre 50 y 200 kg ha^{-1} de fósforo, de acuerdo con la concentración detectada por el análisis del suelo; regional.

La aplicación de potasio a la caña es muy importante ya que los requerimientos del cultivo por este nutrimento son mayores que los de los otros elementos. Se recomienda entre 80 y 200 kg de potasio por hectárea, sin embargo, la cantidad a adicionar dependerá de la concentración de potasio existente en el suelo. Generalmente, este nutrimento se aplica junto con el nitrógeno cuando se utilizan las fórmulas completas, en vista de que es uno de los elementos más absorbidos y de mayor demanda en este cultivo.

Una situación semejante ocurre con el magnesio, el cual por su función en la planta y porque es insuficiente en la mayoría de los suelos cañeros, es recomendable incorporarlo en dosis de 60 kg de $Mgha^{-1}$.

3.11.1.2. Plaguicidas

Los efectos de las enfermedades que atacan a la caña de azúcar se reflejan en un desarrollo pobre y en una baja calidad industrial de la materia prima. Además, propician la reducción del contenido de sacarosa y de la pureza de los jugos, lo que da como resultado una pobre recuperación del azúcar en el ingenio.

Durante los primeros meses, existe una gran competencia entre la caña y las malezas. El control de las malezas en el cultivo de la caña debe ser integrado, ya que no existe un método de combate único que proporcione un control efectivo. Para realizar un manejo integrado se deben considerar los métodos culturales, mecánicos y químicos. En el Cuadro 3 se muestran las principales plagas y enfermedades de la caña de azúcar y los plaguicidas usados.

Cuadro 3. Herbicidas y sus dosis utilizados en caña de azúcar.

Producto comercial	Dosis por hectárea	Época de aplicación
Diurón	1,5 kg + 0,4 kg 80% + 2,4-D* 2	pre y postemergencia
Diurón 80% + Velpar	90kg + 2 l	pre y postemergencia
Diurón 80% + Gardoprim500	2 kg + 2 l	Preemergencia
Gesapax 500 + 2,4-D	3 l + 2 l	Postemergencia
Velpar 90 + 2,4-D 0,	4 kg + 2 l	Postemergencia
Sencor 70% + 2,4-D	1 kg + 2 l	Pots y preemergencia
Gesaprim 500 + 2,4- D	3 kg + 2 l pre	1,5 kg + 0,4 kg pre y postemergencia
Velpar 90	0,5 kg	Pots y preemergencia

Cuadro 4. Insectos dañinos para caña de azúcar y plaguicidas que los controlan

Enfermedad o plaga	Plaguicidas	
	Preventivo (dosis)	Curativos (dosis)
<i>Jobotos phyllophaga</i> spp	Mefosfolán o foxin en un dosis de (80 a 100 kg/ha) etoprofos forato carbofurán clorpirifos(60-80 kg/ha)	clorpirifos (1 l/ha), mefosfolan (1 l/ha) o foxin (1,5-2 l/ha).
<i>Elasmopalpus lignosellus</i> Lepidoptera: Pyralidae	Malatión (2 kg/200 l) Acefato (Orthene 75%) Dimetoato	
<i>Homoptera: aphididae</i>	Roxión 40% CE, 1-1,5 l/200 l)	
<i>Homoptera: Cicadellidae</i>	Mismo tratamiento usado en áfidos	
Nematodos	organofosforados carbamatos (dosis de 2,5 a 3 k/ha)	
Ratas	Sulfato de talio, Endrín, Fosfuro de zinc Warfarina	

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro del agro mexicano, el cultivo de caña de azúcar está representado por 812,000 ha, las cuales producen anualmente alrededor de 5 millones de toneladas de azúcar. De este total, el 38.4% proviene de los ingenios azucareros del Estado de Veracruz; abasteciendo el mercado nacional y exportando un millón de toneladas al mercado exterior. La industria azucarera en México es una de las más importantes del país, con proyecciones de crecimiento en los planos económico, político y social, pues de ella dependen 12 millones de mexicanos (Calatayud y Jácome, 2007). A pesar de la importancia de este cultivo en México y, en particular, en Veracruz, no se han desarrollado programas de investigación para estudiar el impacto ambiental y en la salud pública de los plaguicidas.

Aunque podamos conocer, cualitativa y cuantitativamente, los plaguicidas utilizados en la agricultura, se necesita conocer la proporción de ellos que se queda en los suelos agrícolas y en aguas para uso agrícola y de consumo humano. Otro aspecto de gran importancia es que este tipo de compuestos antes de desaparecer del ambiente se acumulan y degradan. Por lo que se requiere identificar la forma en que esto último sucede, así como los productos de degradación que se generan a través de dichos procesos.

Entonces, es importante conocer qué compuestos y en qué cantidad se encuentran en el medio ambiente. Y no sólo eso sino también los efectos y los niveles en los que, dentro de los organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas, están provocando daños.

El hecho de que los plaguicidas tengan un gran número de compuestos activos dificulta dar una respuesta general sobre los riesgos que puede causar la concentración en suelos y aguas subterráneas. En consecuencia, cada sitio debe evaluarse para conocer el estado de la calidad del agua subterránea, destinada al consumo humano. Si se tiene conocimiento de la presencia de plaguicidas en el agua subterránea, pueden

evitarse daños a la salud de los consumidores, dándose las recomendaciones pertinentes sobre los diferentes usos a los que se destinará el agua. Con base en el conocimiento de la calidad del agua de que se disponga, se debe informar a las autoridades correspondientes para que tomen las medidas pertinentes, a fin de mitigar, prevenir y evitar daños al ambiente y a la salud humana.

Al final de esta investigación se tendrá conocimiento de la calidad del agua subterránea con respecto a los plaguicidas utilizados en el área de estudio, lo que permitirá actuar a favor de la salud de la comunidad en caso de existir riesgo.

5. HIPÓTESIS

5.1. Hipótesis general

La contaminación del agua subterránea en Agroecosistemas con caña de azúcar de los ingenios La Gloria y El Modelo de Veracruz, es función del manejo y tipo de plaguicidas, y del tipo de suelos; y pone en riesgo la salud de los consumidores cuando el grado de contaminación supera los límites permisibles por las normas oficiales mexicanas.

5.2. Hipótesis específicas

1. El riesgo de contaminación del agua subterránea por plaguicidas es función del tipo y manejo de los plaguicidas y de las características de los suelos presentes en los diferentes sitios de estudio.
2. La concentración de plaguicidas en el agua subterránea, excede los límites permisibles establecidos en las normas oficiales mexicanas.
3. Las concentraciones de plaguicidas en el agua subterránea, representa un riesgo para la salud humana.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Comparar el nivel de contaminación del agua subterránea, causado por el tipo y manejo de plaguicidas y de las características de los suelos de los diferentes sitios de estudio, con los límites permisibles en las normas oficiales mexicanas y determinar el riesgo a la salud pública en la zona de abasto de los ingenios La Gloria y El Modelo.

6.2. Objetivos específicos

1. Valorar el riesgo de contaminación del agua subterránea debido al manejo y características de los plaguicidas, y al tipo de suelo en la zona de abasto de los ingenios La Gloria y El Modelo
2. Comparar los niveles de concentración de plaguicidas en el agua subterránea y norias con los límites establecidos en las normas oficiales mexicanas.
3. Determinar el riesgo potencial a la salud de los consumidores, por los plaguicidas presentes en el agua subterránea.

7. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en algunos municipios de la zona de abasto de los ingenios La Gloria y El Modelo; estos son: La Antigua, Paso de Ovejas y Úrsulo Galván, Veracruz.

7.1. Ingenio El Modelo

El Ingenio El Modelo se encuentra situado en la zona costera central del Estado de Veracruz. Con una superficie de aproximadamente 15,974 ha aproximadamente, distribuidas en los Municipios de Paso de Ovejas, Puente Nacional, Úrsulo Galván, Veracruz, Actopan y principalmente en el Municipio de La Antigua. Entre las principales localidades que comprenden el ingenio se encuentran Úrsulo Galván, Barra de Chachalacas, Cerro Guzmán, El Paraíso (La Charca), Salmoral y Playa de Chachalacas (Figura 3) (PRONAC, 2009a).

Las condiciones fisiográficas son muy variadas, su clima es cálido-regular con unatemperatura promedio de 25 °C; su precipitación pluvial media anual es menor a 1500 mm, llegando en algunas zonas incluso a poco menos de 1000 mm anuales. Los tipos de suelo que predominan en la región son de tipo Cambisol con una capa de suelo de roca y que es poco susceptible a la erosión y Vertisol, el cual presenta grietas anchas y profundas durante el estiaje. Sin embargo, en temporada de lluvias el suelo Vertisol es muy elástico y pegajoso. Es además un suelo duro y con tonalidades negras, grises o rojizas, y poco vulnerable a la erosión. La producción de caña de azúcar en condiciones de riego supera en promedio las 100 t ha⁻¹.

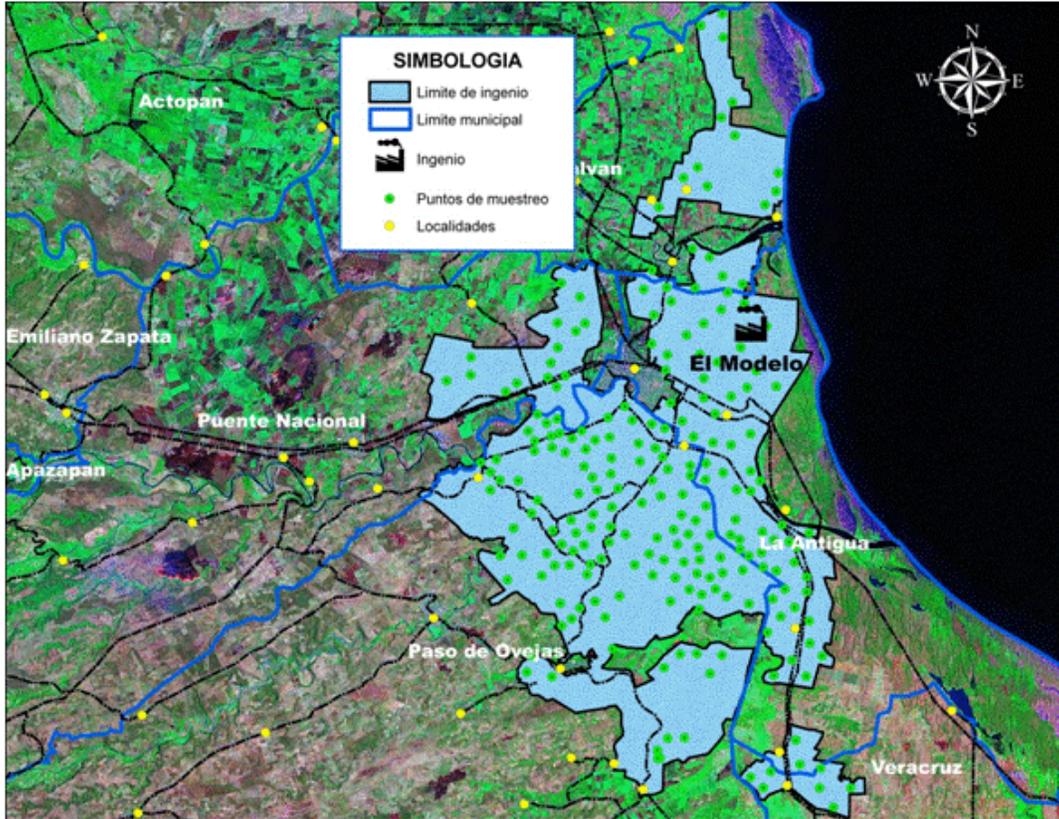


Figura 3. Localización y límites de la zona de abasto del ingenio El Modelo. Fuente: PRONAC 2009a

7.2. Ingenio La Gloria

El Ingenio La Gloria S.A. se encuentra situado en la parte sur de la región cañera XIII de la costa de Veracruz, aproximadamente 35 km al noroeste del puerto de Veracruz. Se ubica en el municipio de Úrsulo Galván, limita al norte con Actopan, al este con el Golfo de México, y al sur con Puente Nacional. Este ingenio comprende un área de aproximadamente 15,174 ha. Entre las principales localidades ubicadas en la zona de abasto del ingenio, se encuentran San Isidro, Chalahuite, Santa Rosa, Arroyo de Piedra, Jareros, Mata Verde, El Zapotito, Villa Cempoala, La Gloria, Paso del Bobo, El Arenal, El Palmar, Guayabal y La Antigua (Figura 4) (PRONAC, 2009a).

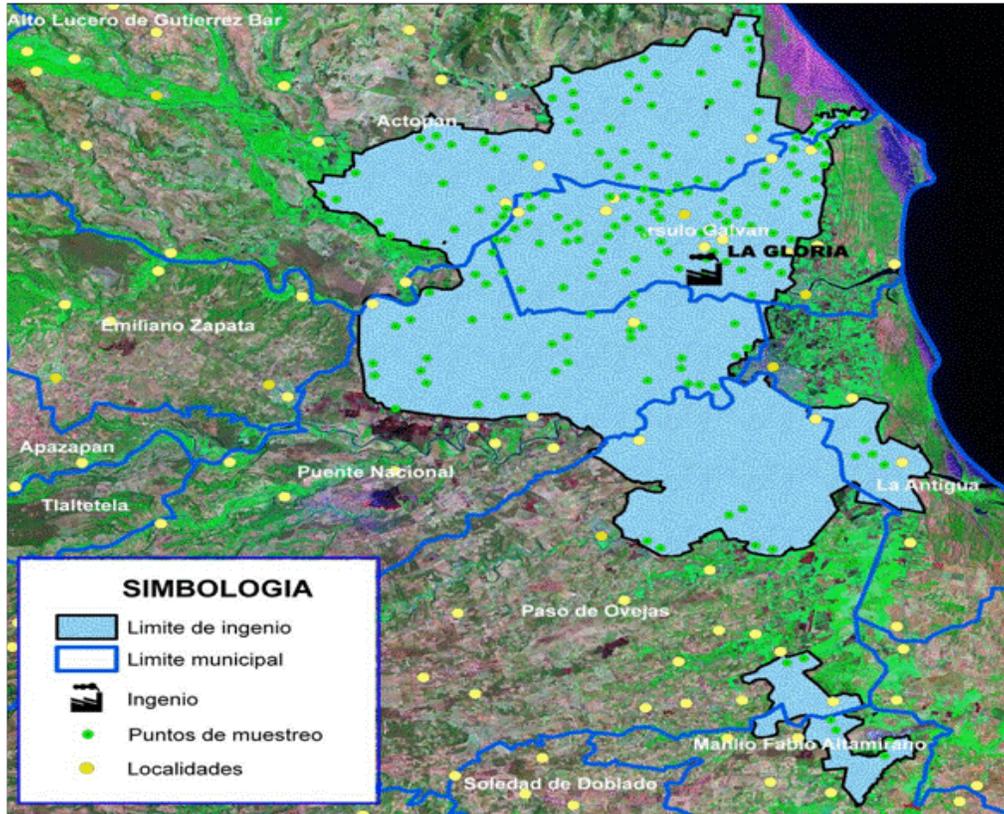


Figura 4. Localización y límites de la zona de abasto del ingenio La Gloria.
Fuente: PRONAC, 2009b.

7.3. Actividades económicas

La ubicación geográfica y las condiciones climatológicas de la región, le confieren una vocación netamente agrícola, que se ha vinculado principalmente al cultivo de la caña de azúcar, con una representatividad del 81.9% del total de la superficie cosechada. El resto de la superficie agrícola está ocupada por el cultivo de forrajes (9.3%), toronja (4.0%), maíz (1.6%), mango (1.3%), y en menor proporción, hortalizas, frijol, papaya, limón y naranja (1.9%). El predominio de cultivo de caña de azúcar se debe a la asociación comercial de los productores con los ingenios azucareros El Modelo y La Gloria, los cuales tiene una capacidad de molienda suficiente para captar toda la producción (PRONAC, 2009b).

7.4. Hidrología

El área de estudio se encuentra sobre dos acuíferos en el Estado de Veracruz, y son los siguientes:

7.4.1. Acuífero Costera Veracruz

El área que ocupa este acuífero abarca nueve municipios, de los cuales uno está incluido en su totalidad y ocho de manera parcial. El primero corresponde a Veracruz y los parciales son Boca del Río, La Antigua, Jamapa, Manlio F. Altamirano, Medellín de Bravo, Paso de Ovejas, Puente Nacional y Soledad de Doblado. Las poblaciones de mayor importancia son Veracruz, Boca del Río, Soledad de Doblado, Manlio F. Altamirano, Medellín, Tejería y El Tejar.

El usuario principal de agua subterránea destinada al consumo humano, que se tiene en el acuífero, corresponde a la Comisión Regional de Agua y Saneamiento del Puerto de Veracruz. En el sector industrial se tiene a la empresa Tamsa S.A. de C.V. y en el sector agrícola al Ejido Manlio Fabio Altamirano, a través de diferentes grupos constituidos en Asociaciones de Usuarios que operan de manera independiente, por lo que el uso principal del agua es público-urbano (48% del total del volumen extraído en el acuífero). En segundo término está el uso agrícola, con el 29.6% de la extracción total que se efectúa en todo el acuífero y el industrial con el 18.5%.

La distribución espacial de la lluvia es de poca variación, presentándose hacia la costa valores superiores con respecto al oeste del área de estudio. En promedio la precipitación media anual dentro del acuífero es de 1351.16 mm.

7.4.2. Acuífero Valle de Actopan

La zona correspondiente al acuífero del Valle de Actopan se localiza en la porción central del Estado y en su planicie costera, abarcando en forma parcial los municipios de: Úrsulo Galván, La Antigua, Puente Nacional, Actopan, y Emiliano Zapata. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, el clima predominante es del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano, donde la precipitación del mes más seco es menor a 60 mm, con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5%.

La distribución espacial de la lluvia es de poca variación, ya que tanto en la porción oeste central del acuífero, la lluvia es menor de 1000 mm anuales, mientras que en la zona de Cardel es ligeramente superior al resto del área.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1. Evaluación del riesgo del acuífero respecto a plaguicidas

8.1.2. Entrevista a informantes clave

Se realizaron visitas y entrevistas a personal directivo y operativo del Módulo de Riego I-1 La Antigua y del Módulo de Riego II-1 Actopan para recabar información relacionada con la zona de estudio. Además, se acudió a los intendentes de campo de los ingenios La Gloria y El Modelo con el fin de obtener los registros de los plaguicidas usados en los últimos 30 años. Finalmente, se constató con productores cañeros y aplicadores de plaguicidas la información sobre el uso de éstos.

8.1.3. Estudio de suelos

Para conocer el tipo de suelos en la zona de estudio se revisaron las bases de información disponibles sobre tipos de suelos de los ingenios, los estudios realizados por la CONAGUA y las tesis y artículos científicos realizados en la región de interés.

8.1.4. Selección de los plaguicidas problema

Para seleccionar los plaguicidas problema se utilizó la metodología de riesgo de contaminación del acuífero, descrita anteriormente. El análisis de riesgo del acuífero consistió en dos etapas:

8.1.4.1. Investigación de plaguicidas usados

En primer lugar, se realizaron entrevistas con informantes claves en ambos ingenios, y se obtuvo la información requerida de las bases de información, sobre los plaguicidas usados en los últimos 30 años, así como la frecuencia y dosis aplicadas.

Una vez obtenida la lista de los plaguicidas, se revisó en la literatura los usos, información toxicológica, reportes de presencia en la matriz agua y efectos en la salud humana.

8.1.4.2. Selección de plaguicidas

Una vez conocidas las características de cada plaguicida, y comparando con las características de la zona de estudio, se seleccionaron los plaguicidas que cumplieran los siguientes criterios.

- a) Alta probabilidad de llegar al acuífero
- b) Efectos severos a la salud humana
- c) Largos periodos de uso

8.2. Determinación de plaguicidas en el acuífero

8.2.1 Ubicación de los pozos

Se establecieron aleatoriamente 30 puntos de muestreo de agua subterránea, 23 pozos profundos de abastecimiento público de agua para consumo humano, 6 pozos de riego agrícola y 1 pozo artesanal, en las localidades que se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Ubicación y tipo de pozos muestreados.

Agua potable	Agrícola	Artesanal
El Bobo	Despoblado I	Chachalacas
La Gloria I	Despoblado II	
La Gloria II	La Florida	
Real Del Oro	El Canal	
El Despoblado	El Aguaje	
Cempoala	El Zapote	
Tolome		
El Hatito		
Carretas		
La Víbora		
La Ceiba		
El Faizan		
La Charca (El Paraíso)		
Cempoala		
El Zapotito		
El Mango		
El Salmoral		
San Pancho		
El Modelo		
ÚrsuloGalván I		
Úrsulo Galván II		
Mata Verde		
Chalahuite		

8.2.2. Periodicidad de monitoreo y análisis

Se realizaron tres muestreos en el año 2012; considerando para tal efecto las temporadas climatológicas reconocidas en la región y prevaecientes durante el periodo de estudio.

El primer muestreo se realizó en la temporada sin precipitación pluvial (abril) a la cual se le llamó SECAS, la segunda durante la máxima precipitación pluvial (julio-agosto) denominada LLUVIAS y la tercera etapa con fuertes vientos y precipitación pluvial mínima (octubre-noviembre) denominada NORTES. Cabe mencionar que en las temporadas de poca o nula precipitación los terrenos cultivados recibieron la aplicación de agua de riego.

8.2.3. Colecta en campo

En cada punto de muestreo se tomó la muestra de agua directamente del pozo, antes de la cloración. En los casos en los que los pozos no contaban con toma de agua, fue necesario colectar la muestra en la toma más cercana al pozo.

La colecta las muestras se realizaron de acuerdo a los lineamientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993, la cual establece los “Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados”.

En cada temporada se tomó una muestra de un litro de agua en cada sitio estudiado, para lo cual se utilizaron frascos de plástico color ámbar, previamente lavados con jabón neutro y agua esterilizada.

Inmediatamente a la toma de muestra, los frascos se cerraron, etiquetaron y colocaron en refrigeración a 4°C aproximadamente, hasta el momento de la extracción del analito en el laboratorio.

8.2.4. Análisis de laboratorio

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos del Instituto Tecnológico de Boca del Río.

8.2.4.1. Extracción de fase líquido-líquido

Las muestras se conservaron a 4°C; la extracción de los plaguicidas se realizó con el método de líquido-líquido (ELL) usándose un volumen de muestra de 100 ml. Se usó como solvente hexano grado HPLC y los extractos se purificaron con ácido sulfúrico concentrado.

Este método se realizó de acuerdo a lo descrito en la NOM-041-1SSA1-1993 para la determinación de plaguicidas organoclorados. Se colocó 1 litro de muestra en un embudo de separación y se añadieron 60 ml de hexano grado HPLC y 20 ml de solución saturada de hidróxido de sodio. Posteriormente, las mezclas anteriores se agitaron manualmente durante 3 minutos y se dejaron reposar hasta que las fases se separaron, recuperándose así la fase orgánica. La fase inorgánica obtenida en el proceso de separación, se sometió al procedimiento antes mencionado dos veces más. Después de esto, los extractos orgánicos obtenidos se mezclaron en un matraz redondo con fondo plano, el cual se acopló a un rotaevaporador para reducir a la mitad el volumen de las mezclas puestas en los matraces redondos. Después se agregó 1 ml de ácido sulfúrico concentrado para purificar la muestra, se agitó en un vórtex y se dejaron separar las fases y el ácido sulfúrico se eliminó nuevamente. Posteriormente se filtró en una columna de sulfato de sodio activado, con el fin de eliminar cualquier residuo de agua; la columna de sodio se enjuagó con 150 ml de hexano. Nuevamente se llevó al rotaevaporador hasta reducir las mezclas a un volumen de 2 ml. El extracto de plaguicidas se depositó en viales ámbar con tapa de teflón para su lectura en el cromatógrafo de gases.

8.2.4.2. Determinación cromatográfica

La determinación cualitativa y cuantitativa se realizó de acuerdo al método descrito por EPA (1982), separando los plaguicidas organoclorados en un cromatógrafo de gases

marca TRADE GC-ultra, con columna capilar TR-5 no polar, 5% fenil, 320 μm de diámetro y 30 m de longitud y un programa de temperatura descrito en el Cuadro 6. Las condiciones de operación del cromatógrafo fueron las siguientes: temperatura del inyector 250 °C, temperatura del DCE 300°C, usando dos rampas y con un flujo de nitrógeno constante.

Cuadro 6. Programa de temperatura de cuantificación de plaguicidas.

Rampa	Temperatura °C	Tiempo (min)
	160	1.0
3.5	160	7.0
4.0	260	1.0

La curva de calibración se elaboró con hexano a intervalos de, 50, 75, 100, 150 y 200 ng/l con una mezcla de estándares marca RESTEK, la cual incluía los siguientes analitos: α -hch, lindano, β -hch, δ -hch, heptacloro, aldrin, heptacloro epóxido, 4,4'-DDE, endosulfán α , dieldrín, endrín, 4,4'-DDT, 4,4' DDT, endrínaldheído, methoxicloro, y endosulfán sulfato. De éstos, sólo 5 estaban reportados por los ingenios: heptacloro, heptacloro epóxido, endosulfán α , endosulfán β y sulfato de endosulfán. Para determinar el tiempo de retención, se inyectó la mezcla de plaguicidas usando un inyector automático acoplado al cromatógrafo de gases, cada muestra se inyectó por triplicado con el fin de tener una curva de calificación confiable.

Para la cuantificación de los plaguicidas se inyectaron muestras de 1 μl , por duplicado, con inyector automático.

8.2.4.3. Métodos oficiales para análisis de plaguicidas

El método para la determinación de plaguicidas en este estudio corresponde al descrito en la NOM-041-SSA1-1993, con el cual se determina un grupo de 10 plaguicidas de la familia química de los organoclorados, usando la Extracción Líquido-Líquido (ELL)

como técnica de extracción y Cromatografía de Gases con Detector de Captura de Electrones para el análisis posterior de los extractos.

También se usaron los métodos EPA 608 y EPA 608.1, descritos por la EPA (1995a). La EPA incluye a éstos dentro de los métodos oficiales para la determinación de compuestos orgánicos, diferentes grupos y familias químicas de plaguicidas, tales como: carbamatos, organofosforados y organoclorados, entre otros. Con respecto a los plaguicidas organoclorados, los métodos contemplan el análisis de hasta 45 analitos. Ambos métodos describen el uso de Cromatografía de Gases con Detector de Captura de Electrones para el análisis de estos compuestos (EPA, 1995b).

8.2.4.4. Análisis estadísticos

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa STATISTICA versión 7.0, mediante pruebas estadísticas paramétricas. Lo anterior incluyó el análisis de frecuencias y factorial; así como el análisis de varianza simple, gráfico (ANAVA) y prueba de medias (TUCKEY HSD), para identificar diferencias significativas entre categorías.

8.3. Análisis de riesgo a la salud

Una vez obtenidas las concentraciones de cada plaguicida, se calculó el Índice Potencial (Sistémico) de riesgo a la salud, mediante la fórmula siguiente:

$$IP \text{ (Sistémico)} = C1/LMP1 + C2/LMP2 + Cn/LMPn$$

Donde:

C: Concentración del residuo

LMP: Límite Máximo Permisible en las Normas Oficiales Mexicanas.

Un resultado igual a 1 indica un riesgo real a la salud de los consumidores del agua.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Análisis de riesgo del acuífero

De acuerdo a la hipótesis y objetivo uno, se obtuvieron los siguientes resultados.

9.1.1. Identificación del uso de plaguicidas en el agroecosistema

Los resultados del registro de la base de datos del ingenio indican que durante el periodo 1980-2012, para el control de plagas en el cultivo de caña de azúcar se han utilizado 45 ingredientes activos distintos.

Entre ellos se encuentran 16 insecticidas, de los cuales nueve aún están vigentes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Insecticidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980- 2012.

Producto	Ingrediente activo	Dosis	Año(s) de uso	Tipo
BHC 3%	Hexaclorobenceno	20 kg/ha	1980-1985	Organoclorado
Dipterex 80 PH	Triclorfon	2 kg/ha	1980-1985	Organofosforado
Sevin 80 PH	Carbaril	25 kg/ha	1980-1985	Carbamato
Malathion 4%	Malation	20 kg/ha	1980-1985	Organofosforado
Nuvacron 60	Monotocrofos	1 l/ha	1985-2005	Organofosforado
Furadan 350 L	Carbofurán	1.5 l/ha	1985-*	Carbamato
Pirimor 50 PH	Pirimicarb	0.15 kg/L	2005+	Carbamato
Thiodan 35 CE	Endosulfán	1.5 l/ha	1985-2004	Organoclorado
Lorsban 380 CE	Clorpirifos	1 l/ha	1985-1990	Organofosforado
Foley	Paratión metílico	1.5 l/ha	1985-*	Organofosforado
Arrivo 200	Cipermetrina	0.4 l/ha	2000-*	Piretroide
Karate Zeon	Lambda cyhalotrina	0.4 l/ha	2000-*	Piretroide
Lucadrin 50	Monocrotofós	1 l/ha	2005-*	Organofosforado
Mustang Max	Zeta cipermetrina	0.5 l/ha	2008-*	Piretroide
Marshall 250 CE	Carbosulfán	1.5 l/ha	2008-*	Carbamato
Engeo	Thiametoxam, lambda cyhalotrina	0.3 l/ha	2009-*	Neonicotinoides

*Plaguicidas que siguen en uso.

También se han usado 16 herbicidas, de éstos 14 aún se siguen usando (Cuadro 8).

Cuadro 8. Herbicidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo periodo 1980-2012.

Producto	Ingrediente activo	Dosis	Año(s) uso	Tipo
Gesapax 50 PH	Ametrina	2 kg/ha	1980-1985	Triazina
Karmex 80 PH	Diuron	2 kg/ha	1980-1985	Urea
Gesapax 500 FW	Ametrina	2 l/ha	1985-1990	Triazinico
Gesapax H-375	Ametrina, 2,4-D Ester	5 l/ha	1980-	Acido
Hierbamina	2,4-D Amina	2 l/ha	1985-	Fenoxi
Hierbester	2,4-D Ester	2 l/ha	1985-	Fenoxi
Tordon 101	Picloram, 2,4-D amina	2 l/ha	1990-2000	Piridina
Faena	Glifosato	Solución al 2%	1995-	Organofosfonato
Gramoxone	Paraquat	Solución al 2%	1985-	Paraquat
Coloso	Glifosato	Solución al 2%	1995-	
Gramoxil	Paraquat, diurión	2 l/ha	1995-2000	Bipiridilo Sistémico
Gesapax COMBI	Ametrina, atrazina	4 kg/ha	1982-	Triazina
Gesaprim 90	Atrazina, terbutrina	4 kg/ha	1995-2000	Triazina
Fusilade	fluazifop-p-butil	1 l/ha	1995- 1998	Fenoxi
Advance	Diuron, hexazinona	3 kg/ha	2000-	Triazina Sol agua
Gesapax H autosuspensible Cerillo	Ametrina, 2,4-D Amina Paraquat	3.5 l/ha Solución al 2%	1995- 2005-	
Banvel 1224	Dicamba, 2,4-D-Amina	2 l/ha	2000-	Sal del ácido benzoico
Gramopol	MSMA	Solución al 2%	2005-	Organoarsenical
Gesapax GOLD	Diurion, Ametrina, 2,4,-D-Amina	2 l/ha	2007-	
Krismat	Ametrina, Trifoxisulfurón	2.5 kg/ha	2007-	Sulfonilurea
Plateau	Imazapid	0.21 kg/ha	2007-	Imidazolinona Persistente

*Plaguicidas que siguen en uso

Los tres fungicidas mostrados en el Cuadro 9 aún siguen vigentes. Dos rodenticidas probados siguen en uso (Cuadro 10).

Cuadro 9. Fungicidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo periodo 1980-2012.

Producto	Ingrediente activo	Dosis	Año(s) de uso	Grupo químico
Manzate	Mancozeb	2 kg/ha	1980-	Carboxamida
Captán 50 PH	Captan	1 kg/ha	1990-	Carboxamida
Prozycarb	Carbendazim	0.25 kg/ha	2005-	Benzimidazol

*Plaguicidas que siguen en uso.

Cuadro 10. Rodenticidas usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980-2012.

Producto	Ingrediente activo	Dosis	Año(s) de uso	Grupo químico
Fosfuro de Zinc	Fosfuro de Zinc	2 kg/ha	1980-1990	Fosfuro
Klerat	Brodifacoum	2.0-2.5 kg/ha	2000*	Anticoagulante
Storm	Flocoumafen	3 kg/ha	1995-2005	Cumarina
Felino	Difacinona	3 kg/ha	2005*	Indandiona

*Plaguicidas que siguen en uso.

Además, cuatro de los plaguicidas biológicos han permanecido hasta la fecha. Cabe señalar que éstos últimos no se usan habitualmente y que sólo han sido probados para verificar su utilidad esporádicamente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Plaguicidas biológicos usados en los ingenios La Gloria y El Modelo en el periodo 1980-2012.

Producto	Ingrediente activo	Dosis	Año(s) de uso	Tipo
Evitect's	Tyocyclam	0.5 kg/ha	2010-	
Metharhizium	<i>Metarhizium anisopliae</i>	0.4 kg/ha	1995*	
Cotesia	<i>Cotesia flavipes</i>	100 cocones/ha	1995-1998	
Tricchograma	<i>Trichogramma minutum</i>	6.45 cm ² /ha	1995-1998	
Fungi	<i>Trichoderma viride</i>	2 l/ha	2009*	
Bs	<i>Bacillus subtilis</i>	2 l/ha	2009*	

*Plaguicidas que siguen en uso.

9.1.2. Identificación del manejo de plaguicidas

En la producción cañera el uso de agroquímicos es alto, ya que incrementan, en el corto plazo, los rendimientos y disminuyen la carga de trabajo. Las especies crean resistencia y el control de ellas requiere productos más fuertes y peligrosos. Productos prohibidos en los países desarrollados, por su alta toxicidad, todavía se usan en países en vías de desarrollo como México. El manejo de los agroquímicos muchas veces es inadecuado, esto es: no se siguen las recomendaciones indicadas por los organismos oficiales, se almacenan en lugares inapropiados y se emplean sin equipo protector.

Las malezas que se presentan en el cultivo de caña de azúcar se controlan con productos químicos (herbicidas pre-emergentes y/o post-emergentes), de forma manual y mecánicamente. Para la realización de limpieas y cultivos se utilizan cultivadoras, arados, azadón, machetes, y palas. Las actividades más habituales son raspadilla, escardilla, arroje o aporque, despacho o levantamiento de surco, socas y descarne. El control químico es un método usual, presente en el 90% de la superficie.

9.1.3.Suelos

9.1.3.1.La Gloria

En el área de abasto del Ingenio hay un gradiente de humedad que por su pluviosidad delimita tres zonas, esto es, donde precipitan 900 mm de lluvia al año o menos; una intermedia donde se captan alrededor de 1100 mm anuales y la más lluviosa, recibiendo un volumen agua equivalente a 1300 mm o más durante el año.

El área de abasto del ingenio donde llueve menos se encuentra en valles y llanuras donde predominan suelos de tipo Feozem, los cuales tienen suficiente materia orgánica y nutrimentos; así como Vertisoles, caracterizados por ser duros, con grietas anchas y profundas durante el estiaje, con tonalidades negras y susceptibles a la erosión. La productividad de estos suelos es relevante bajo condiciones de riego, alcanzando rendimientos incluso superiores a 110 tha^{-1} de caña de azúcar. Si se conserva de manera apropiada la humedad del suelo y se hace un buen manejo, en condiciones de temporal también es factible tener producciones aceptables de caña de azúcar, pero

desde luego no comparables con las de los terrenos irrigados. Los terrenos ubicados en la parte intermedia de humedad predominan los Vertisoles con tonalidades negras, grises o rojizas, la temperatura anual está en 26.5 °C, cuyos rendimientos de caña de azúcar son del orden de las 100 t ha⁻¹ en los terrenos irrigados, aunque pueden incrementarse sustancialmente a través del manejo.

9.1.3.2. El Modelo

El área de abasto del Ingenio se ubica en la zona central del Estado y la llanura costera del Golfo Sur cuyas condiciones fisiográficas son muy variadas, su clima es cálido-regular con una temperatura promedio de 25.0 °C; su precipitación pluvial media anual es menor a 1500 mm en la región, llegando en algunas zonas incluso a poco menos de mil mm anuales. Los tipos de suelo que predominan en la región son de tipo Cambisol con una capa de suelo de roca y que es poco susceptible a la erosión y Vertisol, el cual presenta grietas anchas y profundas durante el estiaje y durante la temporada de lluvias es muy elástico y pegajoso, son suelos duros y con tonalidades negras, grises o rojizas. También es poco vulnerable a la erosión. La producción de caña de azúcar en condiciones de riego supera en promedio las 100 t ha⁻¹.

Aunque hay terrenos susceptibles a problemas con posible inundación prolongada en el subsuelo (sin encharcamientos perceptibles), la severidad de su efecto sobre la producción de la caña de azúcar dependerá de la frecuencia e intensidad de la precipitación en las partes planas, aunado a condiciones de mal drenaje natural. Por lo tanto, cuando esto sea una condición recurrente es conveniente hacer las obras correspondientes para drenar los excesos. En el área de abasto del Ingenio todavía se encuentran suelos con suficiente cantidad de materia orgánica, lo cual beneficia la producción de caña de azúcar. Es importante preservar esta característica de los suelos, a través de prácticas apropiadas de manejo (aportes de los residuos de cosecha, compostas de los materiales de desecho de la agroindustria, entre otros).

9.1.4. Identificación de plaguicidas problema

De acuerdo al análisis de riesgo, se encontró que los organoclorados endosulfán y hexaclorobenceno, los cuales por ser de alta persistencia y estar considerados por la EPA como probables cancerígenos, representan un riesgo para la salud de los usuarios.

9.1.4.1. Endosulfán

El uso de endosulfán está restringido a ciertas cosechas y la cancelación de todo uso se ha programado para el año 2016. El α - y el β -endosulfán pueden ser degradados en el aire por reacciones químicas. El sulfato de endosulfán puede ser degradado por la luz solar. En el agua, el α - y el β -endosulfán se transforman en una sustancia menos tóxica, diol-endosulfán.

Este plaguicida afecta principalmente al sistema nervioso. La exposición a cantidades altas de endosulfán produce hiperactividad y convulsiones, no importa cuál sea la ruta de exposición. La intoxicación grave puede causar la muerte.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA no han clasificado al endosulfán en cuanto a su capacidad para producir cáncer.

No se sabe si el endosulfán puede producir defectos de nacimiento en seres humanos. Algunos estudios en seres humanos han sugerido posibles asociaciones entre exposición materna al endosulfán y autismo y alteraciones de la tiroides y del desarrollo del sistema nervioso en niños recién nacidos. Otros estudios han sugerido que la exposición directa de niños podría estar asociada con cáncer de la sangre y alteraciones del desarrollo sexual de niños hombres. En todos estos casos la evidencia fue sugestiva pero no conclusiva. Se ha encontrado endosulfán en leche de mujeres, lo que significa que esta sustancia puede ser transferida a bebés lactantes (ATSDR, 2013).

La EPA recomienda que los niveles de sulfato de endosulfán en lagos, ríos y arroyos no excedan 62 microgramos por litro (62 µg/l). Esto debería prevenir la manifestación de cualquier efecto adverso en personas que toman agua o consumen pescados o mariscos que viven en el agua.

9.1.4.2. Hexaclorobenceno

El hexaclorobenceno es un fungicida que se degrada muy lentamente en el aire y puede ser transportado largas distancias en el aire. Es poco soluble en agua. Una vez en el agua, se adhiere a sedimentos y se deposita en el fondo. La mitad del hexaclorobenceno detectado en agua de superficie desaparecerá en un tiempo de 3 a 6 años, igualmente en suelo.

La exposición breve a niveles muy altos de hexaclorobenceno puede causar efectos sobre el sistema nervioso tales como debilidad, temblores y convulsiones, úlceras en la piel, y efectos del hígado y la tiroides. La exposición prolongada puede causar daño del hígado y del sistema reproductivo; también puede causar efectos sobre el desarrollo.

Estudios en animales sugieren que la ingestión prolongada de alimentos con el plaguicida puede producir cáncer del hígado, el riñón y la tiroides. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), considera que es razonable anticipar que el hexaclorobenceno es carcinogénico en seres humanos. La EPA ha indicado que es probablemente carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha señalado también que el hexaclorobenceno posiblemente es carcinogénico en seres humanos (IARC, 1987a).

En una epidemia de intoxicación con pan que ocurrió en Turquía, los niños pequeños parecieron ser especialmente susceptible a los efectos del hexaclorobenceno. Los bebés alimentados con leche de pecho de madres que comieron pan contaminado con este plaguicida contrajeron una enfermedad que les produjo lesiones de la piel conocidas como “úlceras rosadas.” Otros síntomas que se observaron fueron debilidad y convulsiones. Muchos de los niños que exhibieron síntomas murieron a causa de esta

enfermedad. En niños mayores de 2 años de edad no ocurrieron lesiones de la piel, pero más adelante se observaron numerosas anomalías en la piel, el sistema nervioso y en los huesos (IARC, 1987a).

La EPA ha determinado que la exposición de adultos o niños (10 años de edad o menores) a concentraciones de hasta 0.05 miligramos por litro (0.05 mg/l) de hexaclorobenceno por hasta 10 días no producirá efectos adversos, asumiendo que 100% del hexaclorobenceno proviene del agua potable. Bajo las mismas condiciones, la EPA también determinó que la exposición de por vida de adultos a 0.03 mg/l de hexaclorobenceno no causará efectos adversos sobre la salud (excluyendo a cáncer) (IARC, 1987a).

9.1.5. Plaguicidas no reportados

Los otros organoclorados encontrados, pese a no estar reportados por los ingenios, al menos en los últimos 30 años, fueron los siguientes:

9.1.5.1. Aldrín y dieldrín

La IARC (1987) definió al aldrín y al dieldrín como no clasificables en cuanto a su carcinogenicidad para la especie humana. Debido a que la absorción por vía oral del aldrín y dieldrín no ha sido determinada para la mayoría de los animales domésticos, aunque sí existen datos que indican que la tasa de absorción gastrointestinal es significativa en estas especies.

En humanos voluntarios a los que se administró dieldrín durante 18 meses se observó que con dosis de: 0,1µg/kg peso, la concentración en tejido adiposo era de 0,4mg/kg de tejido. 0,7µg/kg peso daban en tejido adiposo 0,7mg/kg tejido. 3µg/kg peso daban en tejido adiposo 2mg/kg tejido (IARC, 1987b).

El aldrín y el dieldrín son de los compuestos organoclorados que mayor toxicidad aguda presentan. Producen excitación del Sistema Nervioso Central, con síntomas predominantemente neuromusculares. En toxicidad crónica se producen síntomas de

neurotoxicidad más graduales, comenzando con temblores, convulsiones y depresión. Suele disminuir la ganancia de peso corporal y aumentar el tamaño relativo del hígado.

La principal fuente de dieldrín para el ser humano son los alimentos, sobre todo aquellos con altos porcentajes de grasa. Al ser lipofílicos y acumularse en tejido graso las materias primas que podrían contener niveles más altos son las de origen animal, y sobre todo el aceite y otros productos de pescado. El comité de la FAO y la OMS para residuos de plaguicidas (JMPR) propuso como ingesta tolerable diaria provisional (IDTP) de aldrín y dieldrín el valor de: 0.1 µg/kg de peso al día (IARC, 1987b).

Actualmente, ningún método válido para descontaminar productos o materias primas que contengan aldrín y dieldrín.

9.1.5.2. Hexaclorociclohexano

El hexaclorociclohexano (HCH) es una sustancia química manufacturada que existe en ocho formas de isómeros. Una de estas formas, el gama-HCH (o γ-HCH, comúnmente llamado lindano) es usado como plaguicida en frutas, hortalizas y plantaciones forestales. Es un sólido blanco que puede evaporarse al aire en forma de vapor incoloro con un leve olor a moho. También se encuentra en medicamentos (lociones, cremas o champús) para tratar piojos y sarna en el cuerpo.

Existen varias formas de exposición a los plaguicidas; al comer alimentos o tomar agua contaminada con HCH. Al respirar aire contaminado con HCH en o cerca de fábricas que manufacturan productos que contienen γ-HCH. A través de la piel cuando se aplica en forma de loción o champú para combatir piojos o sarna. Los trabajadores que participan en la formulación o aplicación de productos que contienen γ-HCH pueden estar expuestos a concentraciones más altas. Algunas personas que respiraron aire contaminado en el trabajo durante la manufactura de plaguicidas, entre los que se encontraba γ-HCH, sufrieron alteraciones de la sangre, mareo, dolores de cabeza y alteraciones del nivel de hormonas sexuales. Algunas personas que tragaron grandes cantidades de HCH sufrieron convulsiones y algunas fallecieron. La administración de

γ - y α -HCH a animales ha producido convulsiones, y animales que recibieron β -HCH cayeron en coma. Todos los isómeros pueden producir efectos del hígado y del riñón. En animales tratados en forma oral con γ -HCH se observó una reducción de la habilidad para combatir infecciones, y en animales tratados con γ -HCH y β -HCH se observaron lesiones en los ovarios y los testículos.

La administración oral prolongada de α -HCH, β -HCH, γ -HCH o HCH de grado técnico a roedores de laboratorio produjo cáncer del hígado. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que el HCH (todos los isómeros) produce cáncer en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado al HCH (todos los isómeros) como posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA ha determinado que hay evidencia que sugiere que el lindano (γ -HCH) es carcinogénico, pero la evidencia no es suficiente para evaluar su carcinogenicidad en seres humanos. La EPA ha clasificado al HCH de grado técnico y al α -HCH como probablemente carcinogénicos en seres humanos, al β -HCH como posiblemente carcinogénico en seres humanos, y al δ -HCH y ϵ -HCH como no clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

Los efectos observados en adultos expuestos al HCH también son materia de preocupación en niños. No se sabe si el HCH causa defectos de nacimiento en seres humanos. El γ -HCH y el HCH de grado técnico no producen defectos de nacimiento serios en animales. Se ha demostrado que el HCH puede atravesar la placenta en mujeres embarazadas. El HCH se ha detectado en leche materna, lo que sugiere que puede ser transferido a los bebés de mujeres que lactan (ATSDR, 2005).

La EPA recomienda que el agua potable que consumen los niños durante 10 días o menos contenga no más de 1.2 miligramos de γ -HCH por litro de agua (1.2 mg/L) y que el agua que consumen los niños de por vida contenga no más de 0.0002 mg/L. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite para el γ -HCH en el aire del trabajo de 0.5 mg por metro cúbico de aire (0.5 mg/m³) durante una jornada diaria de 8 horas, 40 horas a la semana (ATSDR, 2013b).

9.1.5.3. Heptacloro y epóxido de heptacloro

El heptacloro es una sustancia química manufacturada que no ocurre naturalmente en el ambiente. El heptacloro puro es un polvo blanco que huele a alcanfor (bolas de naftalina). Se usó extensamente en el pasado como plaguicida en viviendas, edificios y en cosechas de alimentos. Estos usos terminaron en el año 1988.

No hay información confiable acerca de los efectos de estas sustancias en seres humanos. En animales que ingirieron heptacloro se han observado daño del hígado, excitabilidad y disminución de la fertilidad. Aunque hay muy poca información acerca del epóxido de heptacloro, probablemente produce efectos similares a los producidos por el heptacloro.

La exposición de por vida de animales al heptacloro produjo tumores en el hígado. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA han clasificado al heptacloro como posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA también considera al epóxido de heptacloro como posiblemente carcinogénico en seres humanos. Los animales expuestos al heptacloro durante la gestación y la infancia parecen ser muy sensibles a los efectos de estas sustancias. En estos animales se observaron alteraciones del sistema nervioso y sistema inmunitario. La exposición de animales a dosis más altas de heptacloro también puede producir pérdida de peso y la muerte de las crías recién nacidas (IARC, 2001).

La EPA requiere que el agua potable no contenga más de 0.0004 miligramos de heptacloro por litro de agua (0.0004 mg/L) y no más de 0.0002 mg/L de epóxido de heptacloro. La Administración de Drogas y Alimentos (FDA) controla la cantidad de heptacloro y epóxido de heptacloro en hortalizas crudas y en mariscos comestibles. El límite en hortalizas es 0.01 partes de heptacloro por millón de partes de hortaliza (0.01 ppm). El límite en la leche es de 0.1 parte por millón de partes de grasa en la leche. El límite en mariscos comestibles es de 0.3 ppm. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite de 0.5 miligramos de heptacloro por

metro cúbico de aire (0.5 mg/m³) para heptacloro en el aire del trabajo durante una jornada diaria de 8 horas, 40 horas semanales (ATSDR, 2013a).

9.1.5.4. DDT, DDE y DDD

El DDT (diclorodifeniltricloroetano) es un plaguicida usado extensamente en el pasado para controlar insectos en cosechas agrícolas e insectos portadores de enfermedades tales como la malaria y el tifus. Actualmente se usa solamente en unos pocos países para controlar la malaria. El DDT de calidad técnica es una mezcla de tres formas de DDT: p,p'-DDT (85%), o,p'-DDT (15%) y de pequeñísimas cantidades de o,o'-DDT. Todas estas formas son sólidos blancos cristalinos, sin sabor y casi sin olor. El DDT de calidad técnica también puede contener DDE (diclorodifenildicloroetileno) y DDD (diclorodifenildicloroetano) como contaminantes. El DDD también se usó para matar plagas, pero su uso fue mucho menos extenso que el del DDT. Una forma de DDD ha sido usada en medicina para tratar el cáncer de la glándula adrenal. Tanto el DDE como el DDD son productos de degradación del DDT (IARC, 1991).

El DDT, DDE y DDD permanecen en el suelo por mucho tiempo, posiblemente cientos de años. La mayoría del DDT se degrada lentamente a DDE y DDD, generalmente por la acción de microorganismos. Estos productos químicos también pueden evaporarse al aire y depositarse en otros lugares.

Este plaguicida se acumula en altos niveles en peces y en mamíferos acuáticos, alcanzando niveles miles de veces más altos que en el agua. En estos animales, los niveles más altos de DDT se encuentran en el tejido adiposo. El DDT en el suelo también puede ser absorbido por algunas plantas y por animales o por personas que consumen esas plantas (Castañeda *et al.*, 2011).

Los metabolitos del DDT abandonan el cuerpo principalmente en la orina, pero también pueden eliminarse en la leche materna y así pasar directamente a los bebés que lactan. Un estudio en seres humanos demostró que las concentraciones elevadas de p,p'-DDE en la leche materna estaban asociadas con períodos de lactación más breves

que lo normal. Otro estudio en seres humanos encontró que a medida que los niveles de DDE en la sangre de mujeres embarazadas aumentaban, las probabilidades de tener un bebé prematuro también aumentaban (IARC, 1991).

Basado en toda la evidencia disponible, el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), en Estados Unidos ha determinado que es razonable predecir que el DDT es un carcinógeno en seres humanos. Así mismo, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha determinado que el DDT es posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA ha determinado que el DDT, DDE y DDD son probablemente carcinogénicos en seres humanos (IPCS, 1989).

Los niños pueden estar expuestos al DDT, DDE o DDD al comer alimentos o tomar leche materna contaminada con estos compuestos. El DDT puede pasar de la madre al feto a través de la placenta. El DDT se ha detectado en el líquido amniótico, en la placenta de seres humanos, en el feto y en la sangre del cordón umbilical.

Actualmente la mayoría de la gente está expuesta al DDT y a sus productos de degradación a través del consumo de alimentos y bebidas que pueden estar contaminados con pequeñas cantidades de DDT. El DDT es un plaguicida cuyo uso se prohibió en el año 1972. Sin embargo, debido a sus características químicas, ha permanecido en el ambiente, y bajos niveles de DDT pueden ocurrir en los alimentos (por ejemplo frutas, verduras, carne y pescado) por muchos años.

El DDT, DDE y DDD pueden medirse en la grasa, la sangre, la orina, el semen y la leche materna. Las muestras de sangre y de orina son fáciles de obtener, y los niveles en estas muestras pueden sugerir la cantidad a la que se expuso. Los exámenes pueden indicar exposición baja, moderada o excesiva a estos compuestos. Sin embargo, estos exámenes no pueden indicar la cantidad exacta de DDT, DDE o DDD a la que una persona se expuso, ni pueden predecir si ocurrirán efectos a la salud.

9.2. Cuantificación de plaguicidas en el acuífero

De acuerdo al planteamiento de la segunda hipótesis y al objetivo número dos, se obtuvieron los siguientes resultados:

9.2.1. Presencia y concentración de plaguicidas

De los 17 plaguicidas analizados, nueve aparecieron en las muestras analizadas, cabe señalar que todos los pozos tuvieron presencia de alguno de los plaguicidas y/o sus metabolitos: β -HCH, heptacloro, epóxido de heptacloro, α endosulfán, β endosulfán, sulfato de endosulfán, aldrín, dieldrín y 4,4'DDE. En todos los pozos muestreados se encontró residuos de plaguicidas. El Cuadro 12 resume las concentraciones medias de los plaguicidas encontrados, por temporada y por municipio.

Con la información de las concentraciones de plaguicidas, se hizo una factorización de las cuales se obtuvieron cuatro categorías significativamente diferentes ($p < 0.05$) que dividen las cantidades en bajo, medio, alto y muy alto (Cuadro 13). El 54% de las concentraciones se encuentran dentro de los niveles altos, mientras que el 31% se incluyen dentro del nivel medio (Figura 5). No se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de las categorías por temporada o por municipio.

Cuadro 12. Comparación de los niveles de plaguicidas (mg/l) por temporada y municipio.

Plaguicidas	Por temporada			Por municipio		
	Secas	Lluvias	Nortes	La Antigua	Úrsulo Galván	Paso de Ovejas
Beta-hch	0.033 ^a	0.037 ^b	0.028 ^a	0.030 ^a	0.036 ^b	0.028 ^a
Heptacloro	0.025 ^a	0.28 ^b	0.017 ^a	0.037 ^a	0.027 ^a	0.010 ^b
Epóxido de heptacloro	0.017	0.016	0.011	0.011	0.016	0.015
Endosulfán alfa	0.024	0.025	0.022	0.024	0.021	0.030
Endosulfán beta	0.016	0.018	0.013	0.030 ^a	0.013 ^b	0.017 ^a
Sulfato endosulfán	0.0008	0.001	0.004	0.001	0.001	0.0004
Aldrín	0.007	0.007	0.008	0.009	0.003	0.017
Dieldrín	0.0008	0.001	0.004	0.0016	0.002	0.0007
4,4'DDE	0.0008	0.001	0.004	0.021 ^a	0.012 ^b	0.023 ^a

*Las filas con superíndices, indican las diferencias significativas ($p < 0.05$), para cada categoría. Los datos con superíndice diferente, son diferentes entre sí.

Cuadro 13. Frecuencias de los plaguicidas categorizados de acuerdo a la concentración.

	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Secas	4	18	32	6
Lluvias	3	21	22	12
Nortes	0	18	30	0

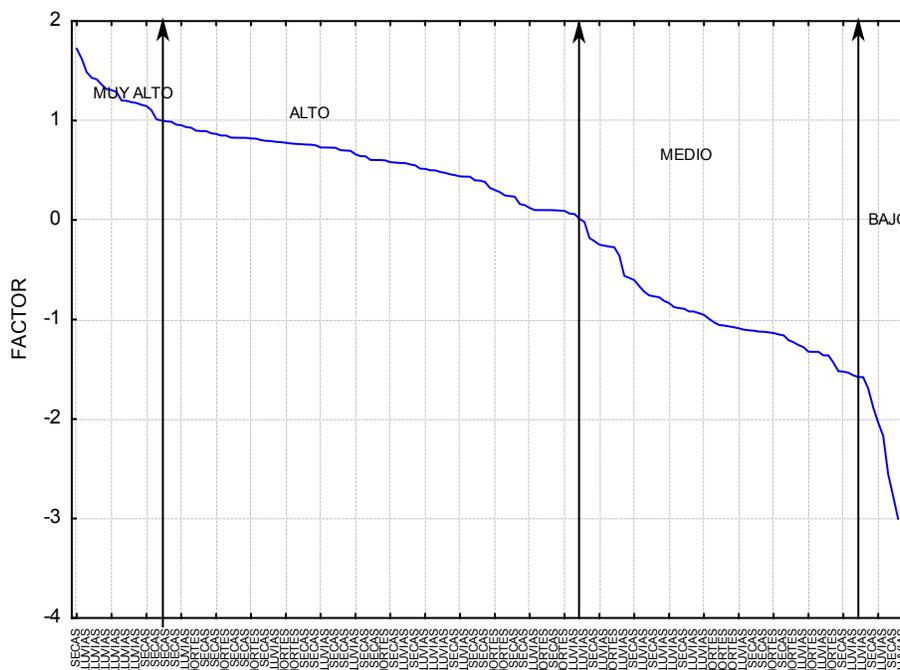


Figura 5. Clasificación de las concentraciones de plaguicidas en los pozos muestreados.

En el Cuadro 14 se muestran las concentraciones medias de los plaguicidas encontrados. El endosulfán α , endosulfán β , y el β HCH superan los límites establecidos por las normas.

Cuadro 14. Comparación de los niveles de plaguicidas con los límites permisibles establecidos en las normas oficiales (media± DE)

Plaguicida	Límite permisible mg/l	Media* ± de En muestras Mg/l	Mínimo detectable Mg/l
B- HCH	0.01	0.032456 ± 0.014937	0.0001
Heptacloro	0.03	0.026467 ± 0.025572	0.0001
Epóxido de heptacloro	0.03	0.014995 ± 0.018524	0.0001
Endosulfán α	0.0003	0.024500 ± 0.013373	0.0001
Endosulfán β	0.0003	0.016594 ± 0.021799	0.0001
Sulfato endosulfán	0.0003	0.001071 ± 0.001714	0.0001
Aldrín	0.03 (Combinado con dieldrín)	0.005287 ± 0.008432	0.0001
Dieldrín	0.03 (Combinado con Aldrín)	0.002156 ± 0.014252	0.0001
4,4 DDE	1(Total isómeros DDT)	0.016444 ± 0.021863	0.0001

La alta concentración de endosulfán puede deberse a que es el compuesto que se ha usado más recientemente, sin embargo, las concentraciones de α-endosulfán (0.023± 0.01), β endosulfán (0.014± 0.005), y sulfato-endosulfán (0.0009± 0.0004), indican que el compuesto se ha ido metabolizando a su forma menos contaminante, aunque este último permanece largo tiempo en agua. En el agua, el α-endosulfán y β endosulfán se transforman en una sustancia menos tóxica, endosulfán diol. El sulfato de endosulfán es más difícil que se degrade en el agua.

La presencia de metabolitos de endosulfán no es rara, debido a que en los reportes emitidos por los ingenios del estudio ubican su uso dentro de los últimos 10 años, sin embargo, el uso del plaguicida aún es permitido en el país. No cabe duda que las casas comerciales siguen vendiendo el producto a fin de agotar las existencias antes del 2016. Al tener el endosulfán una vida media de hasta 6 años, las concentraciones encontradas corresponderían a una cuarta parte de la cantidad que ha llegado al acuífero durante el tiempo de uso.

Se debe tomar en cuenta que los organoclorados se absorben en varios grados en el intestino, pulmón y piel. La eficiencia de la absorción dérmica es variable. El endosulfán es absorbido eficientemente a través de la piel (Echobichon, 1996). Lo que significa un riesgo de exposición aun cuando no se ingiera el compuesto.

En habitantes de plantaciones de nueces cashew en Kasaragod, Kerala, India, donde se utiliza endosulfán, se encontró prevalencia significativa de bajo coeficiente intelectual y otros problemas de aprendizaje en población infantil, serias anomalías congénitas con malformaciones, problemas neurológicos y anomalías del sistema reproductivo (NIOH, 2007).

En otro estudio, realizado en Almería, España, se encontró presencia de endosulfán y sus derivados en pozos de agua potable (Martínez *et al.*, 2004).

También en Estados Unidos, una investigación demostró que el agua subterránea es la receptora de los residuos de plaguicidas, al encontrar en pozos profundos residuos de clorpirifos y DDT (González *et al.*, 2007).

En cuanto al HCH, el único isómero encontrado fue el beta. Esto puede estar relacionado con el hecho de que los distintos isómeros tienen propiedades fisicoquímicas diferentes entre sí. Aunque todos los isómeros de HCH son poco solubles en agua, el isómero beta es el que presenta menor solubilidad (Rodríguez, 2009).

Los demás plaguicidas encontrados no superan los límites permisibles en las normas. Sin embargo, la sola presencia de éstos es un indicador de la contaminación de aguas subterráneas.

No se rechaza la hipótesis uno que indica, que la combinación del uso de plaguicidas y su manejo, así como las características de los suelos, ponen en riesgo el acuífero y es probable encontrar residuos de plaguicidas en las muestras.

9.2.2. Comparación de plaguicidas por temporada.

No se encontraron diferencias significativas entre temporadas para ninguno de los plaguicidas encontrados. Sin embargo, se observó que las concentraciones medias para la temporada de lluvias fueron superiores para todos los plaguicidas, excepto sulfato endosulfán. Lo anterior puede tener como argumento, el hecho de que la mayor cantidad de precipitación ayudó a la separación de los plaguicidas adheridos a las partículas del suelo y a su posterior lixiviación. En el caso del sulfato endosulfán no es soluble en agua ni degradado fácilmente; por lo que su máxima concentración en temporada de Nortes equivale a que se acumuló más que los otros plaguicidas después de las lluvias.

En la Figura 6 se muestran los resultados gráficos del ANAVA de los plaguicidas encontrados de acuerdo a las temporadas de estudio.

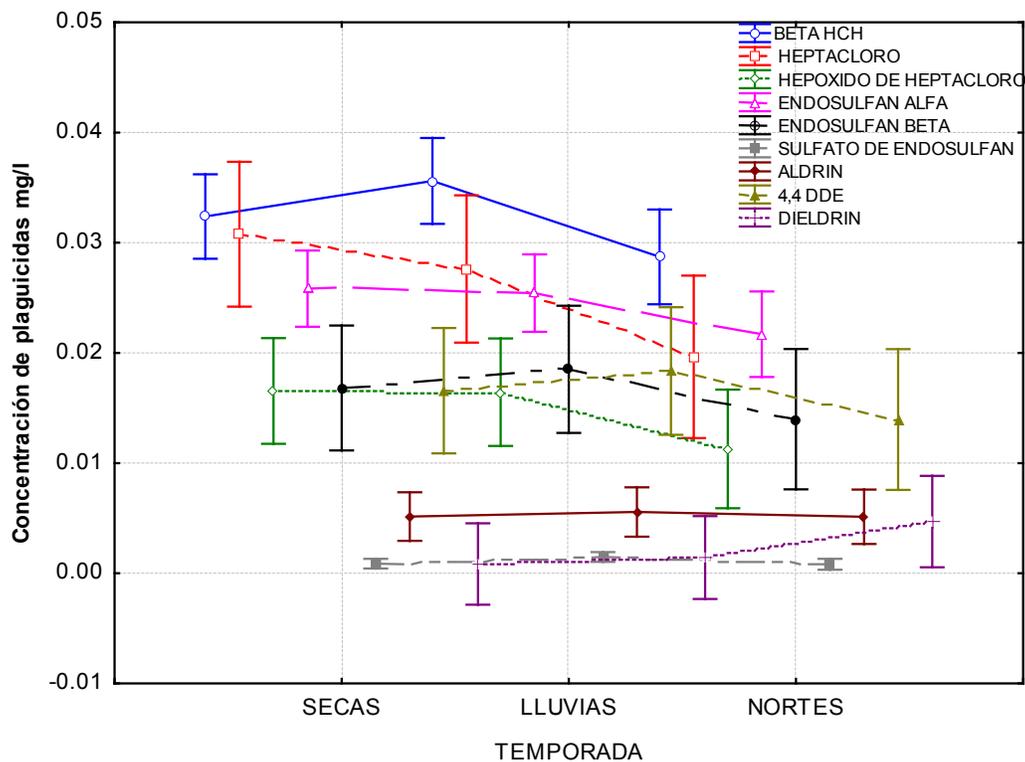


Figura 6. ANAVA de la concentración de plaguicidas en el agua de pozos por temporada.

Para beta-HCH se encontraron diferencias significativas entre la temporada de LLUVIAS y la temporada de NORTES. Siendo mayor la concentración en LLUVIAS.

Este plaguicida puede permanecer por largo tiempo en el ambiente. Se encontró solo en la segunda fase de su degradación por lo que se esperaría que en próximos años se encuentren otros metabolitos menos tóxicos.

En el caso de heptacloro la concentración fue mayor en SECAS, por lo que presentó una diferencia significativa con NORTES. La principal amenaza del heptacloro y el epóxido de heptacloro es la capacidad para afectar la fertilidad y la producción de tumores.

9.2.3. Comparación de plaguicidas por municipio

En la Figura 7 se muestran los resultados gráficos del ANAVA de los plaguicidas encontrados en los municipios incluidos en el estudio.

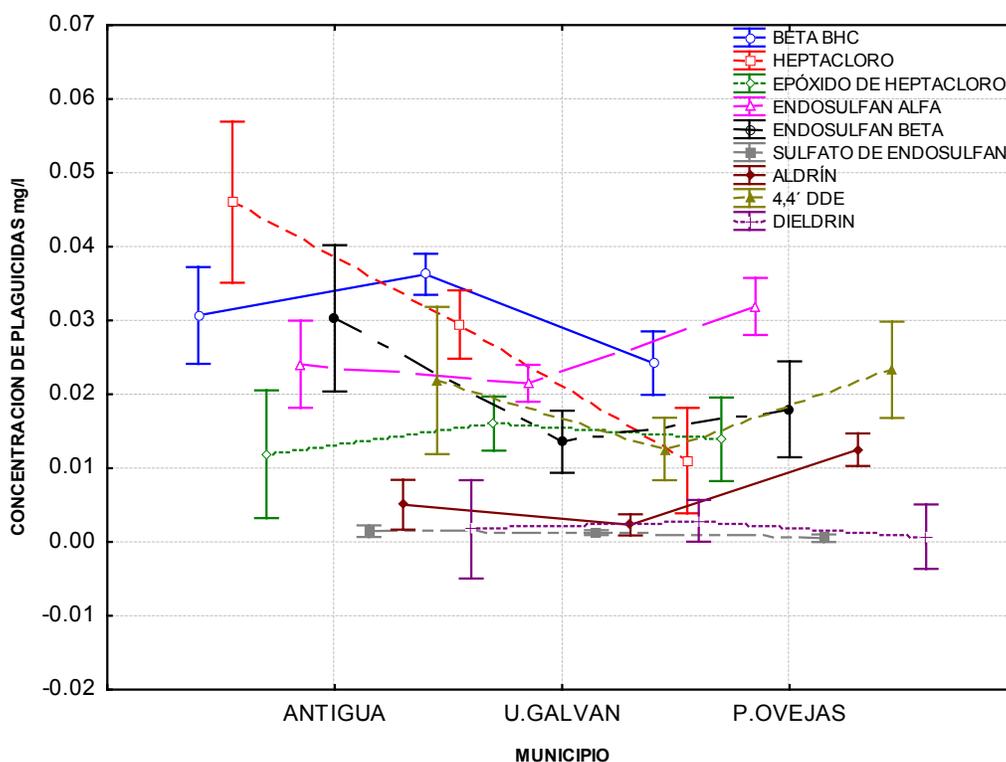


Figura 7. ANAVA de la concentración de plaguicidas en el agua de pozos por municipio.

Beta-HCH presentó diferencia significativa entre Úrsulo Galván y Paso de ovejas, la mayor concentración se presentó en Paso de Ovejas (Figura 8). Entre los isómeros del

HCH, el β -HCH es el que abandona el cuerpo más lentamente. Los otros productos que se forman a partir de ellos en el cuerpo se excretan más rápidamente en la orina, mientras que pequeñas cantidades se eliminan en las heces y en el aliento. El HCH se degrada en el cuerpo a muchas otras sustancias entre las que se incluyen varios clorofenoles, algunos de los cuales son tóxicos.

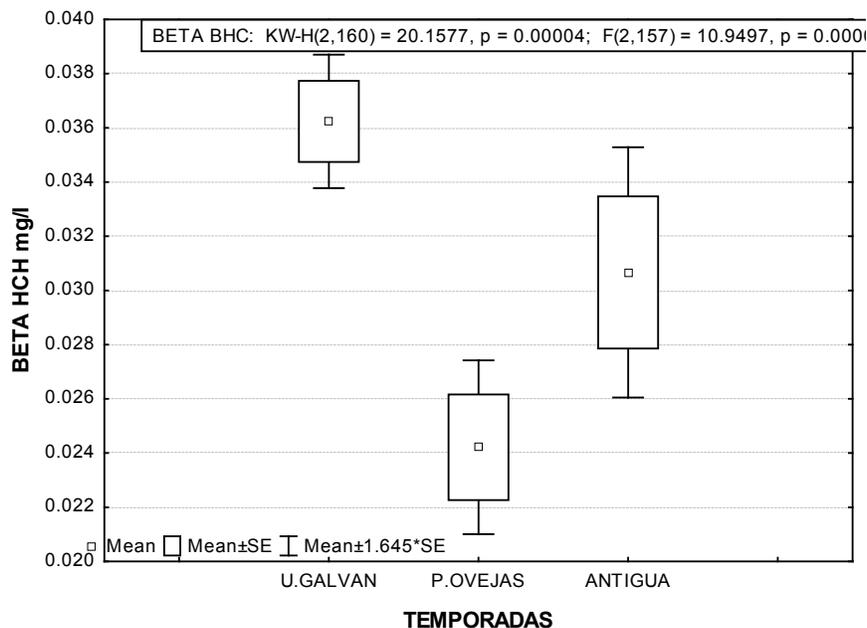


Figura 8. ANAVA de la concentración de beta HCH en el agua de pozos por municipio.

Para el metabolito heptacloro, los tres municipios presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 9). El heptacloro no se disuelve en agua fácilmente, puede permanecer mucho tiempo en el suelo y el agua, además, las plantas pueden incorporar heptacloro del suelo; por lo que las diferencias en las condiciones del agua y el suelo en cada municipio hace que las concentraciones sean muy diferentes.

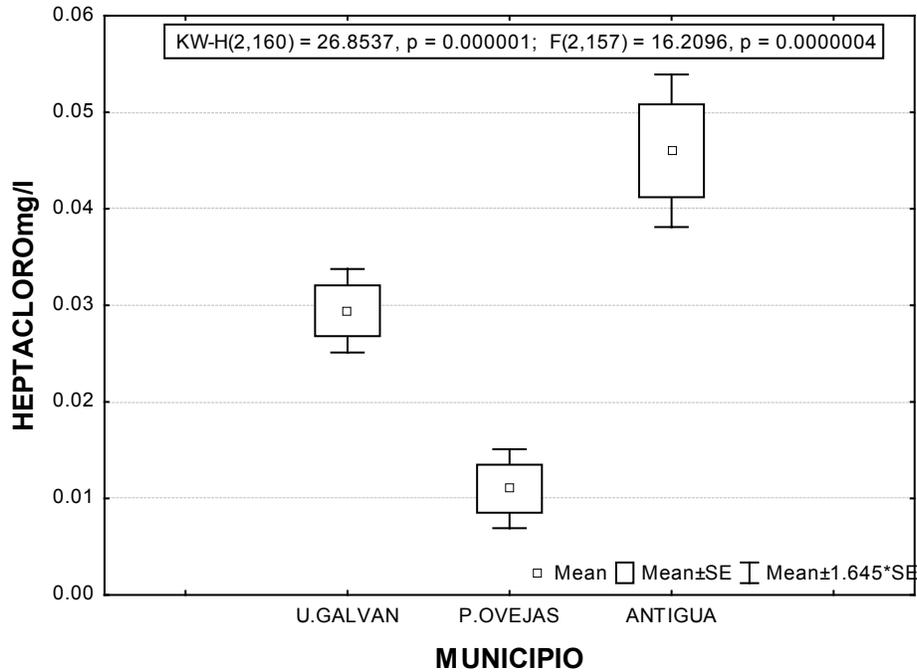


Figura 9. ANAVA de la concentración de heptacloro en el agua de pozos por municipio.

En cuanto a endosulfán alfa, la concentración mayor se presentó en paso de Ovejas por lo que ésta concentración fue significativamente diferente con respecto a los otros dos municipios (Figura 10).

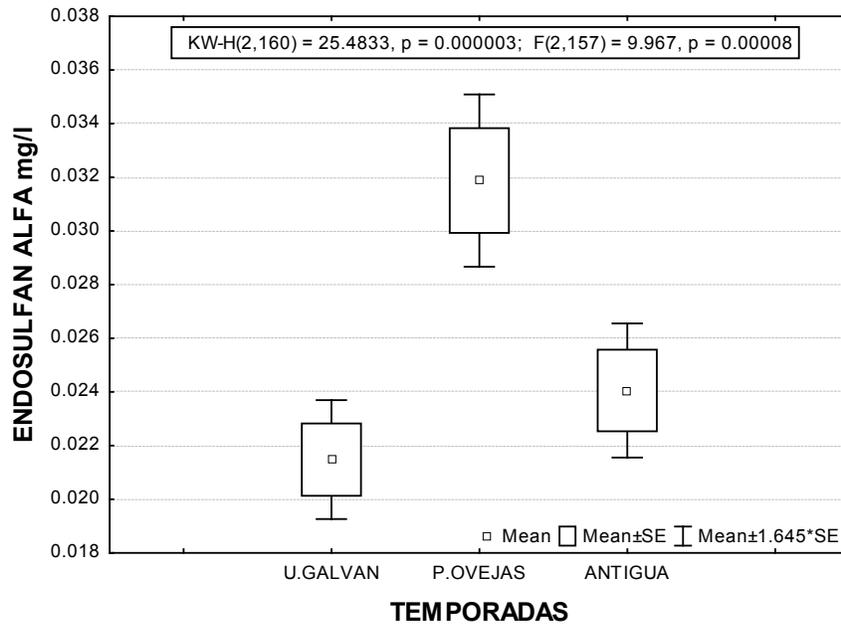


Figura 10. ANAVA de la concentración de endosulfán alfa en el agua de pozos por municipio.

Sin embargo en el caso del endosulfán beta hubo una mayor concentración en La Antigua, por lo que este municipio fue significativamente diferente con los otros dos (Figura 11).

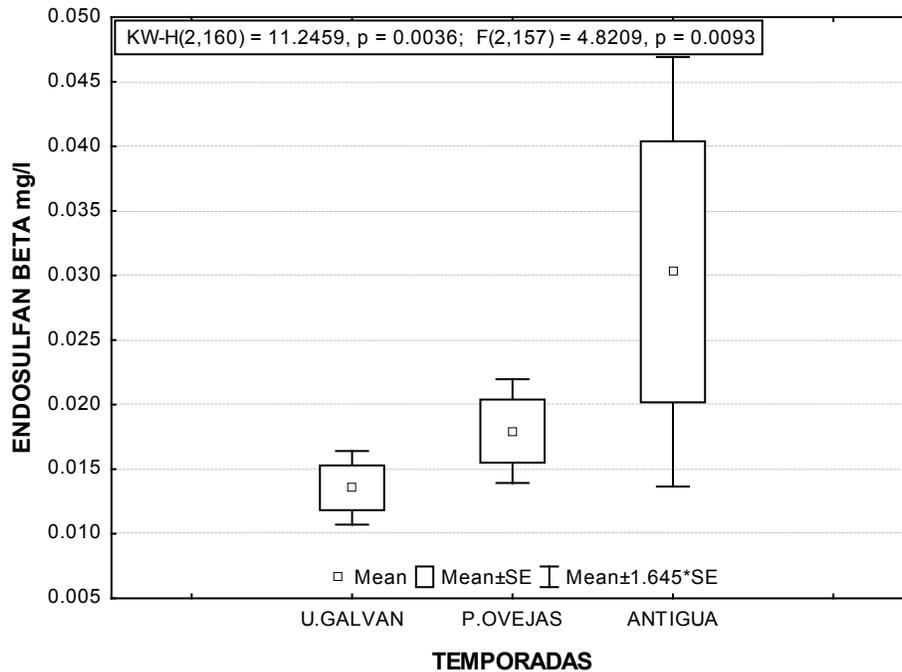


Figura 11. ANAVA de la concentración de endosulfán beta en el agua de pozos por municipio.

A diferencia del anterior, sulfato endosulfán fue menor en concentración en La Antigua, por lo que resultó significativamente diferente con Úrsulo Galván y Paso de Ovejas (Figura 12).

El sulfato de endosulfán es más resistente a degradación en el agua. Los suelos en el municipio de La Antigua suelen ser más arcillosos y con mayor contenido de materia orgánica, por lo que su menor concentración puede deberse a una mayor retención en el suelo o bien a una más rápida degradación por parte de los microorganismos.

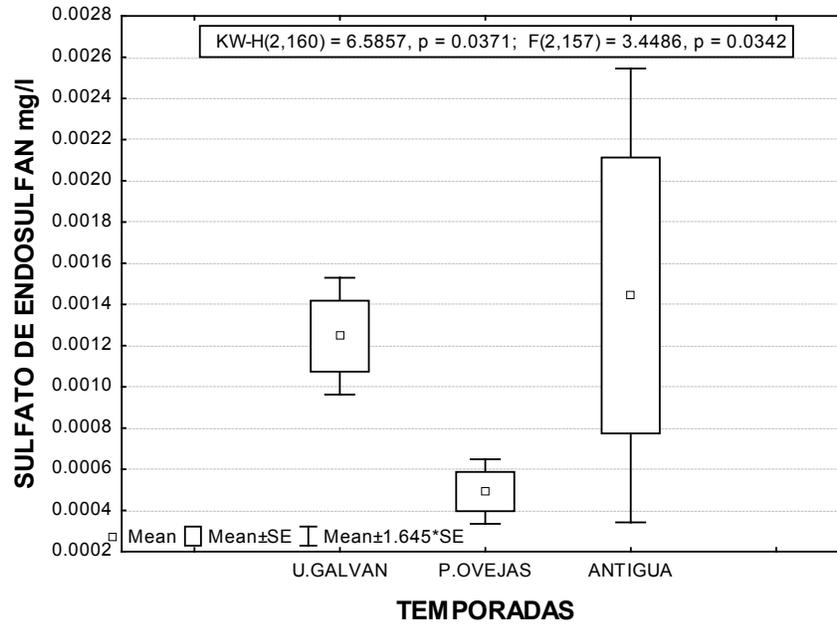


Figura 12. ANAVA de la concentración de sulfato endosulfán en el agua de pozos por municipio.

Aldrin fue significativamente mayor en Paso de Ovejas y presentó diferencia significativa con los otros dos municipios (Figura 13). Este compuesto tiene la característica de adherirse fuertemente al suelo, sin embargo, el suelo en Paso de Ovejas suele ser arenoso, por lo que el plaguicida puede pasar más fácil y rápidamente a las capas inferiores, dando lugar a altas concentraciones pese a la poca solubilidad de éste en el agua.

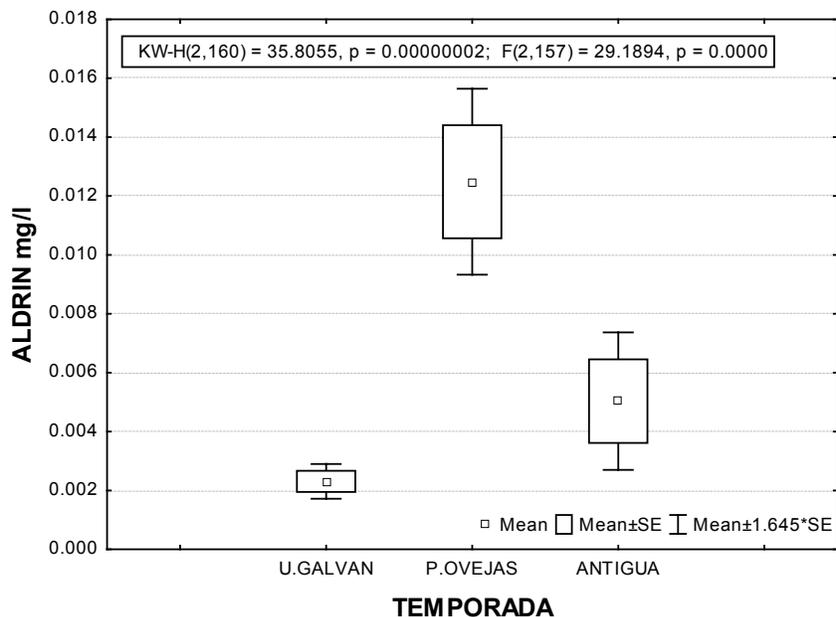


Figura 13. ANAVA de la concentración de aldrín en el agua de pozos por municipio.

4,4'DDE mayor en Paso de Ovejas, siendo significativamente diferente con los otros dos municipios (Figura 14). Este caso es similar al anterior, el mayor tamaño de las partículas del suelo, permite pasar mayor cantidad del compuesto a las aguas subterráneas.

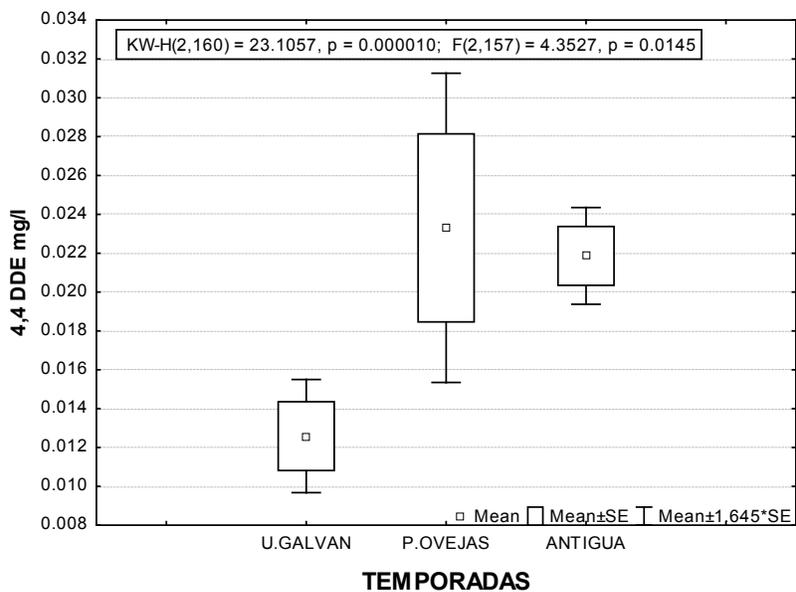


Figura 14. ANAVA de la concentración de 4,4 DDE en el agua de pozos por municipio.

De acuerdo con los resultados anteriormente expuestos, se rechaza parcialmente la hipótesis dos que indica, que los plaguicidas se encuentran en el agua subterránea en concentraciones mayores a las establecidas en las normas oficiales mexicanas; debido a que no todos los plaguicidas exceden el límite máximo permisible.

9.3. Riesgo de la salud humana

De acuerdo con la hipótesis y objetivo tres, se obtuvieron los siguientes resultados.

La conceptualización del análisis de riesgo, indica que si la suma de los residuos es igual a la unidad, el riesgo potencial es real y ocurre en el tiempo en que fueron tomadas las mediciones.

En este caso, los plaguicidas que exceden los límites permisibles en las normas oficiales (endosulfán y HCH), por si mismos, superan la unidad. El factor aditivo de estos compuestos eleva el IP(sistémico) a niveles alarmantes de riesgo para la salud de los consumidores. Éste índice alcanza niveles de hasta 1000 unidades. En las tres temporadas, en los municipios y en cada sitio específico.

De acuerdo con Galaviz *et al.*, (2011), en la región el 88% de las familias de los productores consume agua envasada por purificadoras de la localidad o de la zona; el 9 y 3% restante, consume agua potable y de pozo, respectivamente, el 100% de estos usuarios utilizan el agua para aseo personal y doméstico. Incrementando el riesgo potencial al estar expuesto por ingestión y a través de la piel.

Si bien no existen estudios a largo plazo del efecto sinérgico de los plaguicidas, entre sí y con otros compuestos químicos, no se debe rechazar la idea de que éste efecto es aún mayor que el aditivo. Es necesaria una revisión en la normatividad respecto a los límites permisibles, a fin de considerar en lo posible estos efectos, para el establecimiento de LMP en beneficio de la salud humana.

No se rechaza la hipótesis tres que indica, que los plaguicidas presentes en el acuífero representan un riesgo para la salud de los consumidores.

10. CONCLUSIONES

El enfoque de sistemas fue útil para observar el fenómeno estudiado en la mayor integralidad posible, lo cual no es frecuente en los estudios de los agroecosistemas.

De acuerdo a lo observado, el manejo de plaguicidas dentro del agroecosistema cañero, se basa en el paquete tecnológico ofrecido por los ingenios o bien por las recomendaciones de las casas comerciales de agroquímicos; aplicándose sin diferenciar características climatológicas o de suelos y, en muchas ocasiones, ni siquiera se considera la densidad de la población considerada plaga. Hay en un alto grado desconocimiento, por parte de productores, técnicos y aun autoridades, acerca de la normatividad (Normas Oficiales Mexicanas) sobre el uso de plaguicidas. Además, la ausencia de un buen diagnóstico de la plaga, hace imposible diseñar un programa de manejo adecuado y por lo tanto los plaguicidas aplicados en dosis elevadas y con mucha frecuencia, vulneran la calidad del agua de los acuíferos.

Debido a lo anterior, los plaguicidas se encuentran en la capacidad de llegar al acuífero en altas concentraciones, que aun cuando no rebasan los límites permisibles deben considerarse un riesgo para la salud de los consumidores.

Los resultados demostraron que la movilidad de los plaguicidas desde el suelo hasta el acuífero, se potencia con el escurrimiento de agua. Sin embargo, los compuestos con menor solubilidad en agua, pueden liberarse a la atmósfera cuando los suelos en los que se encuentran son inundados. Al contrario, la menor humedad del suelo provoca una adhesión de los plaguicidas a las partículas del suelo.

Cabe hacer hincapié en que la situación de la contaminación por plaguicidas del agua subterránea en la zona de estudio, por los resultados obtenidos, debería ser un aspecto prioritario en la agenda de todos los actores involucrados en la producción de caña de azúcar. Es importante recalcar que esta condición, además de afectar el ambiente y la salud de los habitantes de la zona, influye también en la seguridad toxicológica de los ecosistemas. Si bien, no todos los plaguicidas sobrepasan los límites permisibles

establecidos por la normatividad mexicana, es necesario tomar en cuenta el factor de adición de estos compuesto y, más importante aún, estudiar los efectos sinérgicos de los mismos. La extracción de agua proveniente de estos pozos debe sermonitoreada periódicamente por los municipios localizados en el área de estudio, ya que la ingestión de ésta constituye el mayor riesgo de exposición a estos compuestos que según algunos estudios reportados en la literatura son cancerígenos.

11. LITERATURA CITADA

- Albert L., A. 2001. Estudio sobre plaguicidas caducos. FAO. México
- Albert L., A. 2005. Panorama de los plaguicidas en México. 7° Congreso de Actualización en Toxicología Clínica. Revista de toxicología en línea. [En Línea] URL: <http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf>. (Consulta 12.08.2012).
- Arata A.,A. 1984a. El uso de plaguicidas en la agricultura y la salud pública. El punto de vista de la ecología humana. Folia Entomología Mexicana 59: 139-185.
- Arata A.,A. 1984b. Perspectivas del uso de plaguicidas: Historia, situación actual y necesidades futuras. En: Memorias del III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". L.A. Albert (ed.) ECO-OPS/OMS e INIREB, Xalapa, México. 24-34
- ATSDR. 2005. Departamento De Salud Y Servicios Humanos De Los E.U., Servicio de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Hexaclorociclohexano. [En línea] URL: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts43.html (Consulta 10.12.12)
- ATSDR. 2007. Departamento De Salud Y Servicios Humanos De Los E.U., Servicio de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Dieldrín. [En línea] URL: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts80.html. (Consulta 18.11.12)
- ATSDR. 2013a. Departamento de Salud y Servicios Humanos De Los E.U., Servicio de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Heptacloro. [En línea] URL: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs90.pdf. (Consulta 10.12.12).
- ATSDR. 2013b. Departamento de Salud y Servicios Humanos De Los E.U., Servicio de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Endosulfán [En Línea] URL: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs41.pdf. (Consulta 10.12.12).
- Alawi M., A., N. Ammari., J. Al-shuraiki. 1992. Organochlorine pesticide contaminations in human milk samples from women living in Amman, Jordan. Archive Environmental Contamination Toxicology. 23: 235-239.
- Botello A. V., G. Diaz., L. Rueda., and F. Villanueva S. 2002. Organochlorine compounds in oysters and sediments from coastal lagoons of the Gulf of México. Bulletin Environmental Contamination Toxicology. 53: 238-245.
- Bassil K., L., C. Vakil., M. Sanborn., D. Cole C., and K. Kaur. J. 2007. Cancer health effects of pesticides. Canadian Family Physician 53: 1704-1711.

- Bottura J., A. 2003. Caracterização da contaminação e remediação de solos e águas subterrâneas. Universidade Gualruhos, Centro de Pós-Graduação Pesquisa e Extensão. Sao Paulo. Brasil.
- Calatayud L., y S. Jácome. 2007. El CEVIM suma fuerzas para diversificar la industria cañera. Centro Virtual de Investigación Multidisciplinaria. [En Línea] URL: <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol16num1/articulos/cevim/cevim.html>. (Consulta 27.11.2012)
- Carvalho F., N. Zhong T., y S. Klaine. 1998. Rastreo de plaguicidas em os trópicos. Boletín del OEIA No 40.
- Castañeda C., M. R. 2006. Evaluation des niveaux de contamination de l'huître *Crassostrea virginica* par les pesticides organochlorés DDT et des métabolites. Tesis de doctorado en Biología Marina. École De La Mer, Francia. Université de Bretagne Occidentale.
- Castañeda C., M. R., F. Lango, R. and C. Landeros, S. 2011. DDT in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) of coastal lagoons in the Gulf of Mexico. *Journal of Agriculture Science* 3:183-193.
- CICOPLAFEST. 1993. Catálogo Oficial de Plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, México, D.F., 407 pp.
- COLPOS-FUNPROVER. Colegio de Postgraduados-Fundación Produce Veracruz. 2003. Necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva de caña de azúcar en el estado de Veracruz. [En línea] URL: <http://www.cofupro.org.mx>. (Consulta. 01.02.13)
- Conway R., G. 1985. Agroecosystem Analysis. *Journal Agricultural Administration* 20: 31-55.
- Córdoba P., D. 2008. Toxicología de Plaguicidas. Toxicología. Bogotá: Manual
- Díaz B., F. 2000. Factores de exposición y toxicidad del DDT y de la deltametrina en humanos y en vida silvestre. Informe técnico apoyado por la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. México.
- Dua V., K., S. Pant C., and P. Sharma V. 1996. Determination of level of HCH and DDT in soil, water, and whole blood from bioenvironmental and insecticide sprayed areas of malaria control. *Indian Journal of Malariology*. 33:1 7-15 India.
- Durham W., F. 1974. Significance of pesticide residues to human Health, *J. Dairy, Sci.* 54 (5): 701-706.

- Durkin P., R. 2010. Lambda-Cyhalothrin. Human health and ecological risk assessment. Final Report. Syracuse Environmental Research Associates, Inc. Nueva York. 2010. 175p.
- Echobichon D., J. 1996. Toxic effects of pesticides. In Klaassen CD (ed), Casarett&Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, 5th ed. New York. McGraw-Hill, 1996, pp. 649-655.
- EPA. 1982. Method-608. Organochlorine and PCB's pesticides. Cincinnati, OH. United States Environmental Protection. Environmental Support Laboratory
- EPA. 1995a. Methods for the Determination of Organic Compounds in Drinking Water. Supplement III. EPA/600/R-95/131. United States Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Washington, D.C.
- EPA. 1995b. 505. Analysis of organohalide pesticide and commercial polychlorinated biphenyl (PCB) products in water by microextraction and gas chromatography.
- EPA. 2011. Drinking water Contaminants. United States Environmental Protection Agency. [En línea] URL: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm>. (Consulta 07.12.12).
- FAO. 2002. Informe de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación: cinco años después. FAO, 2002. 84 p.
- FAO/UNEP. 1991. Aplicación del procedimiento de información y consentimiento previos a las sustancias químicas prohibidas o severamente limitadas que son objeto de comercio internacional. . [En línea] URL: <http://www.pic.int/es/DGDs/DDTSp.DOC>. (Consulta 12.12.12)
- Fernández N., V. Viciano., y A., Drovand. 2000. Valoración del impacto ambiental total por agroquímicos en la cuenca del río Mendoza. Proyecto OEI/DG.
- Ferrer A. (2003). Pesticide poisoning. *Annales Sis. San Navarra*. 26:155-171.
- Foster S., H. Garduño., K. Kemper., A. Tuinhof., M. Nanni., y D. Charles. 2005. Gestión Sustentable del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas Serie de Notas Informativas Nota 8. Banco Mundial.
- Galaviz V., I., C. Landeros S., M. R. Castañeda C., F. Lango R., J. P. Martínez D., A. Pérez V., y I. Nikolskii G., 2011. Presencia de nitratos y nitritos en agua para consumo humano y su impacto en la salud pública en zonas cañeras. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13:381-388. ISSN Electrónico: 1870-0462

- García I. y C. Dorronsoro. 2002. Contaminación del suelo: Contaminación por fitosanitarios: plaguicidas. Tema 13. Universidad de Granada España, Edafología
- Gliessman S., R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible, CATIE, 2002. 359 p. Título original: Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture.
- Goode W., y J. Hatt. 1972. Métodos de Investigación Social. Editorial Trillas. México. 469 p
- Green B., J., A. Aschengrau., W. McKelvey., A. Rudel R., H. Swartz C., and T. Kennedy. 2004. Breast Cancer Risk and Historical Exposure to Pesticides from Wide-Area Applications Assessed with GIS. Environmental Health Perspectives 112 (8): 887-899
- Gutiérrez-Carrillo N., E. Palacios V., S. Peña D., y O. L. Palacios. V. 2002. Escenarios para el aprovechamiento sustentable del acuífero del valle de Querétaro. Agrociencia 36: 1-10.
- Hart R., D. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba pp
- Hecht, S. La evolución del pensamiento agroecológico. 1999. IN: Agroecológica. Bases científicas para una agricultura sustentable. Altieri, M. 1999. 338p.
- Heeschen W., A. Blüthgen. 1991 Basic Terms-Definitions. En: Monograph on residues and contaminants in milk and milk products. International Dairy Federation Special Issue 9101. FIL - IDF. Brussels. Belgium: 2-11.
- Hendi E., J., y M. Peake B. 1996. Organochlorine pesticides in a dated sediment core from Mapua, Waiwea Inlet, New Zealand. Marine Pollution Bulletin. 32:10 751-754. New Zealand.
- Herrscher G., E. 2005. Pensamiento Sistémico. Caminar el cambio o cambiar el camino. Ed. Granica México S.A. de C.V. México D.F. 266 pp. 67-78
- Hurtado B., J. 2000. Metodología de la Investigación Holística. Sypal, Caracas.
- IPCS. 1989. Environmental Health Criteria 83. DDT and its derivatives. Environmental Aspects. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- IARC. 1987a. International Agency for Research on Cancer. Hexaclorobenceno. (Suplement 7) 229
- IARC. 1987b. International Agency for Research on Cancer. Dieldrín. (Suplement 7) 196. p

- IARC.1991. International Agency for Research on Cancer.DDT. (53)179.
- IARC.2001. International Agency for Research on Cancer.Clordano yHeptacloro. (79)411.
- JoyR.,M. 1985. The effects of neurotoxicants on kindling and kindled seizures. *Fundamentals of Applied Toxicology* 5:41-65.
- Jury W., A., F. Spencer, W., and J. Farmer W.1983.Use of models for assessing relative volatility, mobility and persistence of pesticides and other trace organics in soil systems.En: *Hazard Assessment of Chemicals*. Vol. 2 Pp. 1-43. AcademicPressInc. San Diego California, USA.
- Karam M., A., G. Ramírez., L. P. Bustamante M., y G. Galván J. 2004. Plaguicidas y salud de la población. *Ciencia Ergo Sum* 11, 246 - 254
- KolaczinskiJ., H., and C. Curtis F. 2004.Chronicillness as a result of lowlevel exposure to synthetic pyrethroid insecticides: a review of the debate, *Food Chem. Toxicol.* 42 (2004) 697-706.
- LarsenJ.,C. 1988. Toxicologicalimplications of persistentorganohalogens in mothersmilk as indicatedby animal experiments. En: A. A. Jensen y S. A. Storch(Eds.). *Chemical Contaminants in Human Milk*.Denmark, CRC Press Inc., pp.223-270.
- Larson P., O. Berglund., C. Backe., G. Bremle.,A.Eklov., C. Jarnmark., and A. Persson. 1995. DDT-Fate in tropical and temperate regions. *Naturwissenschaften* 82: 559-561.
- Leeds-Harrison P., B. 1995. Movement of Water and solutes to Surface and ground Water, 3-12.Preceeding of a Symposium held at The University of Warwick, Coventry, 3-5/05/95.
- León S.,T. 2009. Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. En: Altieri (editor.) 2009. *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Medellín, Colombia.
- Marshall E.,R. BonnevialeJ., and I. Francfort. 1994. Fonctionnement et diagnostic global de l'explotationagricole. ENESAD-SED. Dijon, Francia. 173 p.
- McCauley L., A., K. Anger W.,M. Keifer R.,M. Langley., and G. Robson. 2006. Studying Health Outcomes in Farmworker Populations Exposed to Pesticides.*EnvironHealthPerspect* 114(6): 953-960.

- Masís F., J. Valdez., T. Coto., and León. 2008. Residuos de agroquímicos en sedimentos de ríos, Poás, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(1): 113-123. ISSN:0377-9424/2008.
- Moreno S., J. C., C. Landeros S., A. Pérez V., O. L. Palacios V., M. R. Castañeda C. 2011. Fertilización nitrogenada en caña de azúcar en el módulo I-1 La Antigua Veracruz, México. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13:381-388.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. 1992. Consecuencias Sanitarias del Empleo de Plaguicidas en la Agricultura. Ginebra, Suiza. 128 p.
- NIOH. 2007. Health Hazards of Aerial Spraying of Endosulfán in Kasaragod District, Kerala Report of the Expert Committee, Government of Kerala, August 2003, In "Ban Endosulfán Campaign". IPEN Pesticide Working Group, THANAL, ESPAC 2007.
- OMS. 2004. Organización Mundial de la Salud. Análisis Sectorial del Sector Agua Potable y Saneamiento en Nicaragua. Resumen Ejecutivo. OPS. 31 p.
- Ongley E., D. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Burlington, Canadá: FAO, 1997. Vols. Cap. 4. Los plaguicidas, en cuanto a contaminantes del agua.
- Pérez V., A y C. Landeros S. 2009. Las Pérdidas de nitrógeno (N-NO₃) proveniente de fertilizantes en los ingenios La Gloria y El Modelo del estado de Veracruz. *Elementos* 2009 73: 19 – 25.
- Pimentel D., and A. Edwards C. 1982. Pesticides and ecosystems *BioScience*, Vol. 32, pp. 595-600
- PRONAC. 2009a. "Digitalización del campo cañero en México para alcanzar la agricultura de precisión de la caña de azúcar", Desarrollo de un modelo integral de sistema de información geográfica y edáfica como fundamento de la agricultura de precisión en la caña de azúcar en México. Etapa I. Ingenio El Modelo S.A.
- PRONAC. 2009b. "Digitalización del campo cañero en México para alcanzar la agricultura de precisión de la caña de azúcar", Desarrollo de un modelo integral de sistema de información geográfica y edáfica como fundamento de la agricultura de precisión en la caña de azúcar en México. Etapa I. Ingenio La Gloria S.A.
- Ruckart P., Z., F. Kakolewski K., J. Bove., and E. Kaye W. 2003 Long-Term Neurobehavioral Health Effects of Methyl Parathion Exposure in Children in Mississippi and Ohio. *Environmental Health Perspectives* 112(1): 46-51.

- Ruiz R., O. 2008. Línea De Investigación Prioritaria En Agroecosistemas Sustentables. [EnLínea]
URL:<http://www.colpos.mx/slp/inv/AVANCES%20LPI%202%20Agost08.pdf>.
(Consulta 22.03.13)
- Saldana T., M., D. Basso O., J. Baird D., A. Hoppin C., R. Weinberg., and A. Blair. 2007. Pesticide exposure and self-reported gestational diabetes mellitus in the Agricultural Health Study. *Diabetes Care* 30, 529–534.
- Saldana T., M., D. Basso O., J. Baird D., A. Hoppin C., R. Weinberg., and A. Blair. 2009. Pesticide exposure and hypertensive disorders during pregnancy. *Environ. Health Perspect.* 117, 1393-1401
- Sánchez M. y C. Sánchez. 1984. Los plaguicidas, adsorción y evolución en el suelo. Instituto de recursos naturales y agrobiología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC. Edición electrónica promovida por Ceres Net. Salamanca España. 51p.
- Sasson A. 1993. La alimentación del hombre del mañana. UNESCO. Ed. Reverté S.A. Vari R. (1984). Estudio de Plaguicidas en el Hato Masaragual. SmithsonianInstitute. Guárico Venezuela.
- Silva C., Y., M. R. Castañeda C., F. Lango R., Landeros, S. C., 2011. Environmental impact of floating cage marine fish production in Isla arena, Campeche. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 13: 291-298. ISSN Electrónico: 1870-0462
- Soesilo J., A. and R. Wilson S. 1997. Site Remediation Planning and Management. Lewis Publishers. United States of America. 409 pp.
- Tanabe S., F. Gondaira., A. Subramanian., A. Ramesh., D. Mohan., P. Kumaran.,V. Venugopalan.,R. Tatsukawa. 1990. Specific pattern of persistent organochlorine residues in human breast milk from South India, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38 (3): 899-903.
- Vannuchi M., T., A. F. Antunes I., y H. P. Pinotti M. 1992. Residuos de plaguicidas organoclorados em leite materno no municipio de Londrina-Pr, *Ci Biol/Saoede. Londrina*, 2 (13): 52-53.
- Waliszewski S., M., V. Pardio S., P. Chantiri., and G. Aguirre. 1996. Organochlorine pesticide body burden of young Mexican. *Fresenius environmental Bulletin.* 5: 5-6 357-360. Veracruz. México.
- Waliszewski S., M., T. Bermúdez M., y M. Rosa. 2002. Niveles de DDT en tejido adiposo materno, suero sanguíneo y leche de madres residentes en Veracruz, México.

Estudio 1997-1999. Revista Internacional de. Contaminación Ambiental. 18 (1)
1725-2002.

Weiss B., S., R. Amler., and W.Amler. 2004. Pesticides. Pediatrics 113: 1030-1036.

White A. 1998. Children,pesticides and cancer. Ecologist 28: 100-105.

WHO1999.World Health Organization.Environmental Health Criteria. Geneva.

Zhao M., Y. Zhang W., C. Liu X., L. Wang. AndJ. Gan. 2008. Estrogenic Activity of
Lambda Cyhalothrin in the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell
Line.EnvironmentalToxicologyChemistry27 (5):1194-1200.