

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA  
UNAN-MANAGUA  
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA  
EN QUÍMICA**



**TÍTULO: UTILIZACIÓN DE PLANTAS DE AMARANTO COMO ALTERNATIVA DE FITORREMEDIACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN LA COMUNIDAD LA TEJANA, MUNICIPIO EL VIEJO, DEPARTAMENTO DE CHINANDEGA EN EL PERÍODO 2007-2009.**

**AUTORES:**

Br. Léster Ramón Mejía  
Br. Denis Antonio Herrera Ramírez

**TUTORA:**

Dra. Martha Lacayo Romero

Managua, Septiembre del 2012

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme dado la vida, y con ella la oportunidad de emprender esta meta, así como la fortaleza y los medios para alcanzarla. Por su gracia constante y amor que cada día derrama sobre mí.

A mis padres, Ángela y Alejandro, a mis hermanos (as), por sus sacrificios y consejos, por haberme enseñado a encarar las adversidades de la vida sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento, por infundirme valores y principios e inspirarme perseverancia y empeño.

Por enseñarme el valor que tiene todo trabajo, y la responsabilidad que éste conlleva para lograr estar siempre dentro de los mejores, y por demostrarme que en la vida no sólo se requiere traer hijos al mundo, sino también se necesita hombres que enseñen a sus hijos el valor y el costo de sus propias decisiones.

Hoy que se cierra un capítulo de esfuerzo personal, dedico este gran trabajo a todos mis seres amados.

**Denis Antonio Herrera Ramírez**

A Dios, el ser más grande sobre la tierra, por brindarme salud y vida. Por estar en mis momentos más difíciles y porque sin la ayuda de él no se hubiera podido realizar este trabajo, por darme la vocación para elegir esta profesión y por poner en mí, el deseo de ser un profesional que aporte al desarrollo de Nicaragua.

En lo personal, a una mujer muy especial en mi vida, llamada Ana Mejía Solórzano, mi Madre, la cual siempre me apoyó y ayudó a tomar decisiones confiando en mi buen juicio, además de estar siempre que la necesité, me brindó cariño, paciencia y una buena educación.

Al ser que Dios puso en mi camino para que fuera mi compañera de vida, al formar parte fundamental de mi familia, mi futuro y el otro pilar de mi matrimonio como lo es Mercedes Dávila Rojas.

A mis abuelos, Rafaela Solórzano y Nicolás Mejía Duarte, quienes me enseñaron el amor a Dios e inculcaron valores y principios.

A mi compañero de monografía, Denis Antonio Herrera Ramírez, por haberme tenido paciencia y ser un buen amigo.

**Léster Ramón Mejía**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, y a todas aquellas personas que, de forma directa o indirecta, han apoyado la finalización de este trabajo.

A nuestra tutora PhD. Martha Lacayo Romero, por permitirnos realizar esta monografía bajo su dirección y asesoramiento. Su apoyo y confianza, así como su capacidad para guiar nuestras ideas han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta investigación, sino también en nuestra formación como investigadores y profesionales. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se hubiera podido concebir sin su incondicional apoyo, paciencia y gustosa disponibilidad, incluso en aquellos momentos en que sus obligaciones le exigían una dedicación plena.

A l@s analistas del laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua, que también brindaron su aporte en la realización del muestreo y análisis, ell@s son: Msc. Martha Hernández, Lic. Jorge Esquivel, Lic. Rommel Uriarte. Agradezco también el habernos facilitado los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante la realización de esta investigación. Asimismo a l@s analistas del laboratorio de Toxicología del Instituto de Medicina Legal.

A l@s trabajador@s de la cooperativa Chinantlán, del municipio de El Viejo, departamento de Chinandega, especialmente a sus coordinadores, Ing. Ajax Fonseca y al Ing. Javier Espinoza por proporcionarnos los medios necesarios para la realización del muestreo y su incondicional apoyo en los respectivos análisis de las muestras.

A los pobladores de la Comunidad “La Tejana”, municipio de El Viejo, donde se llevó a cabo el muestreo, por su amable atención y hospitalidad.

A los docentes del departamento de Química de la UNAN-Managua, por su enseñanza, valores éticos y morales inculcados, indispensables para establecer una base sólida en nuestro crecimiento personal y profesional, especialmente a la MSc. María Natalia Gutiérrez y al MSc. Ramón Cáceres Centeno, ya que sus orientaciones metodológicas contribuyeron en el avance de este trabajo. También a su directora, MSc. Rosa María González, por su apoyo y comprensión.

Además agradecemos las valiosas orientaciones del Dr. Henry Pedroza de la Dirección de Investigación de la UNAN-Managua.

Y por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para nuestras familias. A nuestros padres y herman@s. Sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo esta dura tarea.

**Los autores**

## RESUMEN

El presente estudio de fitorremediación, de tipo experimental y corte transversal se llevó a cabo para conocer la acción biorremediadora de tres variedades de la planta Amaranto: *Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*, en suelos de la comunidad La Tejana, municipio El viejo departamento de Chinandega en el período 2007-2009. Se seleccionaron estos suelos debido a que están contaminados con plaguicidas organoclorados desde el auge del cultivo de algodón (1930-1980) por la persistencia de estos plaguicidas.

Es importante destacar que para este estudio primero se determinó la concentración de los plaguicidas organoclorados en los suelos antes del cultivo de Amaranto, después del cultivo se determinó la concentración en los suelos y en cada parte de la planta (raíz, tallo, hoja, semilla) por cada variedad para posteriormente valorar el efecto que tuvo cada variedad y cada parte de la planta, todo esto con el fin de cumplir los objetivos de esta investigación.

Las tres variedades de Amaranto presentaron un efecto biorremedador positivo, sin embargo las variedades 1 y 2, *Amaranthus cruentus mexicano* y *Amaranthus caudatus peruano* respectivamente, fueron más efectivas, cada una absorbió 10 plaguicidas organoclorados, además de esto, cada parte de la planta de la variedad 2 absorbió mayor número de plaguicidas organoclorados.

En las tres variedades, la parte de la planta que absorbió mayor cantidad de plaguicidas fue el tallo, seguido por la semilla, la raíz y en menos cantidades fueron absorbidos en la hoja. Además se observó que el tallo y la semilla acumularon casi las mismas cantidades de plaguicidas organoclorados.

# ÍNDICE

1. GENERALIDADES	
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- OBJETIVOS .....	4
1.2.1.- Objetivo General.....	4
1.2.2.- Objetivos Específicos .....	4
1.3.- JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
1.4.1.- Caracterización del problema .....	6
1.4.2.- Delimitación del problema.....	6
1.4.3.- Formulación del problema.....	6
1.4.4.- Sistematización del problema .....	7
2. MARCO DE REFERENCIA	
2.1.- Características principales del suelo de la Región II .....	8
a) Suelos:.....	8
b) Clima:.....	9
c) Drenaje .....	9
d) Características morfológicas.....	9
e) Características químicas.....	9
f) Uso potencial .....	9
2.2.- Características del suelo del Municipio El Viejo.....	10
a) Características generales .....	10
b) Suelos.....	10
c) Clima .....	10
d) Temperatura.....	10
f) Uso actual .....	10
2.3.- Características generales del suelo de la comunidad La Tejana .....	11
2.4.- Plaguicidas organoclorados .....	14
2.4.1.- Clasificación de los plaguicidas organoclorados .....	14
2.4.2.- Características generales de los plaguicidas organoclorados .....	14
2.4.3.- Características fisicoquímicas de los plaguicidas organoclorados .....	15
2.4.4.- Transporte de plaguicidas en el suelo .....	19
2.4.5.- Factores que influyen en el comportamiento y destino de los plaguicidas en el suelo .....	20
2.4.6.- Evolución de los plaguicidas en el suelo .....	21
2.5.- Medidas para prevenir y disminuir la contaminación del suelo por plaguicidas.....	30
a) Control integrado de plagas .....	30
b) Plantación de cultivos tolerantes.....	30
c) Prácticas agronómicas.....	30
d) Irrigación.....	30
e) Uso de dosis mínimas de plaguicidas .....	30
f) Aplicación adecuada de plaguicidas.....	31

g) Selección de plaguicidas con escaso efecto residual .....	31
h) Alternancia de plaguicidas .....	31
i) Adiciones químicas .....	31
j) Biorremediación .....	31
2.6.- Fitorremediación .....	32
2.6.1.- Importancia de la Fitorremediación .....	33
2.6.2.- Tipos de Fitorremediación .....	33
2.6.3.- Posibles mecanismos de degradación de la planta remediadora.....	36
2.6.4.- Disposición final de las plantas bioacumuladoras .....	37
2.7.- Reseña histórica de la planta amaranto .....	38
2.7.1.- Descripción botánica.....	39
2.7.2.- Variedades .....	41
2.7.3.- Método de siembra en Nicaragua .....	43
2.7.4.- El Amaranto como planta remediadora .....	45
3. HIPÓTESIS	
4. DISEÑO METODOLÓGICO	
4.1.- Ubicación del área de estudio .....	47
4.2.- Tipo de estudio.....	47
4.3.- Universo y muestra .....	48
4.4.- Criterio de selección del sitio de muestreo .....	49
4.5.- Materiales necesarios para la toma de muestra.....	49
4.6.- Variables .....	49
4.6.1.- Operacionalización de las variables.....	50
4.7.- Material y Método .....	54
4.7.1.- Materiales para recolectar información .....	54
4.7.2. Materiales para procesar los datos e información .....	54
4.7.3.- Método .....	54
5. RESULTADOS	
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	
7. CONCLUSIONES	
8. RECOMENDACIONES	
9. BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	
GLOSARIO	





# **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

## **1.1.- INTRODUCCIÓN**

Una de las actividades económicas principales de Nicaragua es la agricultura. Esta se ha desarrollado ampliamente en las zonas rurales del occidente de nuestro país por la alta fertilidad y potencial agrícola del suelo. En el período de 1960 a 1970, el patrón de uso del suelo en esta región estuvo caracterizado por el monocultivo del algodón, en forma intensiva y extensiva, así como el cultivo de caña de azúcar y el banano en menor escala.

Este desarrollo de la agricultura conllevó al uso de plaguicidas en los cultivos, lo cual representa una forma ciertamente eficaz para controlar la proliferación de insectos nocivos para las plantas, pero también grandes riesgos para la salud humana; además implica contaminación del suelo, el aire y los recursos hídricos.

Por ejemplo, los productores de algodón al encontrarse con una mayor resistencia de las plagas aumentaron las dosis y con mayor frecuencia las aplicaciones de plaguicidas. En los años 50 utilizaron de 5-10 aplicaciones por temporada. Existen registros de casos de productores que realizaron 104 aplicaciones de un plaguicida y 27 aplicaciones haciendo uso de mezclas de 24 plaguicidas diferentes, (Matus et al., 1991).

En el año de 1991 cerca de 150 plaguicidas fueron registrados en el país con autorización para ser utilizados en la agricultura. Algunos fueron elaborados en nuestro país, por ejemplo el Toxafeno, fabricado por la extinta industria agroquímica, Herbicidas Centroamericanos S.A HERCASA, la cual estaba ubicada en las riberas del lago de Managua. Sin embargo la mayoría fueron importados y mezclados posteriormente.

De ahí que el uso de estas sustancias sea una de las mayores preocupaciones de los Organismos que velan por la Salud Humana, la protección y preservación del Medio ambiente.

Algunos estudios realizados por instituciones como el Centro Humboldt y por “El Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua” (CIRA-UNAN Managua) revelan el impacto de los plaguicidas en el ambiente y en los seres vivos expuestos. Esta última institución realizó una determinación de residuos de plaguicidas organoclorados en leche materna y grasa corporal de mujeres que habitan en la cuenca del río Atoya, ubicado en el departamento de Chinandega, departamento que reporta el mayor número de casos de intoxicación aguda y en donde se cultivó el algodón entre 1950 y 1970 (Lacayo y Cruz, 1997).

Los resultados de estos estudios han evidenciado los efectos a corto y largo plazo en la población expuesta y en los recursos naturales. A tal punto llegó el nivel de contaminación por plaguicidas en el suelo que aún después de 20 años se han encontrado remanentes de éstos a una profundidad de 1.50 m. Esto evidencia la persistencia de éstos compuestos.

Estudios realizados en las dos últimas décadas revelan que los residuos químicos en el medio ambiente no son completamente biodisponibles, por lo que su absorción por la biota es menor que la cantidad total presente en el suelo (Alexander, 1995; Gevao et al, 2003; Paine et al, 1996). Por eso y otras razones se ha venido trabajando en una extensa e intensiva campaña para erradicar el uso de éstos, principalmente los organoclorados por su bioacumulación y biotransformación metabólica, (ver anexo 1).

Sin embargo, a pesar de la existencia de una variedad de estudios sobre la contaminación por plaguicidas, existe poca información sobre investigaciones enfocadas a la búsqueda de métodos y/o técnicas cuyo objetivo sea atenuar y frenar los efectos de los plaguicidas organoclorados, particularmente en los suelos, y aunque esta línea de investigación esté poco estudiada en Nicaragua, ya se ha dado el primer paso, tomando como base estudios efectuados en contextos internacionales, por ejemplo en República Checa en los años sesenta se utilizaron plantas para recuperar suelos contaminados con radionucleótidos (Ernst, 2000).

También existen reportes sobre el empleo de plantas acuáticas en aguas contaminadas con plomo, cobre, cadmio, hierro y mercurio. La biorremediación de de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas ha sido ampliamente estudiada en contextos internacionales, (Ernst, 2000).

Mientras los países desarrollados ya han realizado estudios sobre técnicas novedosas e innovadoras de biorremediación de suelos, en Nicaragua no se conocen estudios de este tipo, es decir no se encontraron antecedentes por lo que esta investigación es pionera en este campo de la ciencia.

En este trabajo se estudió la capacidad de la planta Amaranto para acumular plaguicidas organoclorados ya que se conoce que esta es capaz de atrapar metales pesados, (Antonkiewicz y Jasiewicz, 2002; Shevyakova, et al, 2011). Su introducción y estudio en Nicaragua es reciente, existe poca información bibliográfica, sólo unos pocos artículos científicos en internet, (<http://www.amaranth.future-food>).

## **1.2.- OBJETIVOS**

### **1.2.1.- Objetivo General**

Valorar el efecto fitorremediador de tres variedades de la planta Amaranto (*Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*) en suelos contaminados con plaguicidas organoclorados ( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH -Lindano-, Heptacloro-epóxido, Aldrín, Dieldrín, 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD,  $\beta$ -Endosulfano, del Toxafeno y sus congéneros) en la comunidad La Tejana, municipio El Viejo departamento de Chinandega, durante el período 2007-2009.

### **1.2.2.- Objetivos Específicos**

1. Determinar la concentración de los plaguicidas organoclorados en los suelos mediante el Método Soxhlet antes del cultivo de las tres variedades de la planta Amaranto.
2. Determinar la concentración de los plaguicidas organoclorados en los suelos y en cada parte de la planta mediante el Método Soxhlet después del cultivo de las tres variedades de la planta Amaranto.
3. Identificar la variedad de la planta Amaranto que absorbe la mayor cantidad de plaguicidas organoclorados.
4. Identificar en qué parte de la planta Amaranto se absorbe la mayor cantidad de plaguicidas organoclorados.

### 1.3.- JUSTIFICACIÓN

Este estudio tiene como finalidad valorar la acción remediadora de tres variedades de la planta Amarantho (*Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*) en suelos contaminados con plaguicidas organoclorados por el uso y abuso durante muchos años (1930-1980 aproximadamente) de estas sustancias que por sus características químicas tienden a ser muy persistentes y bioacumulables.

Se seleccionó esta planta tomando como referencia estudios realizados en contextos internacionales en los que se utilizó ésta para biorremediar suelos con presencia de metales pesados, además por su adaptabilidad a las características del suelo en estudio y resistencia a las condiciones climatológicas de la zona.

Además, esta investigación generará información acerca del efecto biorremediador de esta planta, específicamente para acumular plaguicidas organoclorados, lo cual es una información novedosa en Nicaragua y proporcionará alternativas a la población, a las alcaldías de Occidente y a los organismos que velan por la protección medioambiental para disminuir la contaminación por plaguicidas organoclorados.

Este estudio, por su naturaleza es pionero en Nicaragua, dado que no se encontraron antecedentes similares o relacionados al mismo.

## **1.4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.4.1.- Caracterización del problema**

La contaminación por plaguicidas organoclorados, cuyo tiempo de degradación es muy amplio y su transformación metabólica lenta, provocada por su uso excesivo e indiscriminado en el departamento de Chinandega ha ocasionado consecuencias a largo plazo tanto para el medioambiente como para los pobladores resultando en el deterioro de la calidad de los recursos naturales (agua, aire, suelo), afectación de la salud de los trabajadores y de la población circundante, a pesar de existen pocos estudios que aporten soluciones eficientes y eficaces para sanear y mitigar los efectos.

### **1.4.2.- Delimitación del problema**

El ámbito de este estudio está limitado a la comunidad La Tejana del municipio El Viejo, departamento de Chinandega, en donde históricamente se han utilizado plaguicidas organoclorados por décadas. Este estudio comprende la descripción de las características de estos suelos y de los plaguicidas organoclorados, así como las opciones existentes para atenuar los daños mediante la implementación de técnicas fitorremediadoras.

### **1.4.3.- Formulación del problema**

¿Cuál es el efecto fitorremediador de tres variedades de planta Amaranto en suelos contaminados con plaguicidas organoclorados en la comunidad La Tejana, municipio El Viejo departamento de Chinandega?

#### **1.4.4.- Sistematización del problema**

a) ¿Cuáles son las concentraciones de los plaguicidas organoclorados en los suelos antes del cultivo de las tres variedades de la planta Amaranto?

¿Cuáles son las concentraciones de los plaguicidas organoclorados en los suelos y en cada parte de la planta después del cultivo de las tres variedades de Amaranto?

¿Cuál variedad de la planta de Amaranto absorbe la mayor cantidad de plaguicidas organoclorados?

¿En qué parte de la planta de Amaranto se absorbe la mayor cantidad de plaguicidas organoclorados?





# **CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA**

## 2. MARCO DE REFERENCIA

Para entender cómo se comporta un plaguicida en el ambiente se necesita conocer cierta información sobre las características medioambientales y la geografía del lugar en el que se le encuentra y las propiedades físico-químicas de la molécula, su mecanismo de transporte, entre otras. Para ello se abordan las principales características de los suelos de la región II, que comprende al departamento de Chinandega, así mismo se ampliará información relevante a las particularidades de los suelos del municipio El Viejo y del área bajo estudio (comunidad La Tejana) y posteriormente se aborda información relevante sobre el grupo de plaguicidas en estudio lo que permite una mejor comprensión de la relación suelo-plaguicida.

### 2.1.- Características principales del suelo de la Región II (departamentos de León y Chinandega).

Los suelos de la región II se caracterizan por ser los mejores de Nicaragua para el uso agrícola. Estos se derivan de materiales volcánicos (cenizas volcánicas), materiales aluviales y minerales volcánicos. El 80.71% de los suelos de esta región son utilizados principalmente para actividades como la agricultura, la ganadería, pecuaria y forestal, (PROTIERRA-MARENA, 1997).

Estos suelos se clasifican como suelos Mollisoles. Dentro de las propiedades generales de estos suelos están:

**a) Suelos:** Son suelos minerales con estado de desarrollo incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial (epipedón móllico) de color oscuro, rico en humus, bien estructurado, con un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (un horizonte argílico, o un horizonte cámbico cargado de arcilla); de poco profundos a muy profundos, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroclásticas. Por sus características son de los mejores suelos para las actividades agropecuarias, (www.ineter.gob.ni).

**b) Clima:** Estos suelos se encuentran en las zonas de vida, desde bosque seco subtropical a bosque húmedo premontano tropical, con precipitaciones que oscilan entre los 800 y 3,000 mm anuales, los promedios de temperatura y biotemperatura oscilan entre los 18° y 24°C como promedio anual, (www.ineter.gob.ni).

**c) Drenaje:** El drenaje interno del suelo es de muy pobre a bien drenado, el nivel freático se encuentra bastante superficial durante la estación lluviosa en algunas áreas.

**d) Características morfológicas:** Las características de estos suelos son: texturas del suelo y subsuelo de franco arenoso a franco arcilloso y arcilloso, con colores que varían de pardo grisáceo a pardo rojizo, gris y pardo oscuro; son poco profundos a muy profundos (60 a >120 cm.), en algunas áreas se encuentra una o varias capas de talpetate de diferentes colores y grados de cementación, a diferentes profundidades, otros poseen piedras en la superficie y gravas en el perfil, (Programa CATASTRO e Inventario de Recursos Naturales, 1971-1978)

**e) Características químicas:** El contenido de materia orgánica es de muy bajo a alto, el pH es de fuertemente ácido a muy fuertemente alcalino, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de bajo a alto y el porcentaje de saturación de bases es de bajo a alto.

**f) Uso potencial:** De acuerdo a las características edafológicas y climáticas estos suelos están aptos para cultivos como algodón, ajonjolí, maní, maíz, sorgo, arroz, caña de azúcar, estos cultivos son adecuados para pendientes con rangos de 0-15% tomando en cuenta las debidas medidas de conservación y manejo. Los suelos con rangos de pendientes de 15-30% son apropiados para cultivos como pastos, piña, árboles frutales, silvopasturas, agroforestería y bosque. Los suelos con rangos de pendientes de 30-50% son para bosques de explotación, bosque de protección, bosque de conservación y para agroforestería, (Estudios de suelos y mapas de suelos 1971-1978).

## **2.2.- Características del suelo del Municipio El Viejo**

**a) Características generales:** El municipio El Viejo está ubicado geográficamente entre las coordenadas 12°40'00" de Latitud Norte y 87°10'00" de Longitud Sur y a 43 m.s.n.m. y políticamente pertenece al departamento de Chinandega.

**b) Suelos:** Llano en algunas zonas, quebrado con lomas y mesetas. La mayor parte del suelo es franco-arcilloso y en algunas zonas tiene característica franco-arenoso. Este municipio se caracteriza por poseer un terreno con variedad topográfica, siendo estas características las que le dan un alto potencial económico, (Programa CATASTRO e Inventario de Recursos Naturales, 1971-1978).

**c) Clima:** Tropical seco con una estación lluviosa de seis meses y seis de verano. Los meses de mayor sequía son marzo y abril y los más lluviosos septiembre y octubre. Debido al tipo de clima, los bosques son poco densos. Predominan amplias llanuras, (Estudios de suelos y mapas de suelos 1971-1978).

**d) Temperatura:** La temperatura oscila entre 27.2°-39°C disminuye hasta 22°C en la estación lluviosa.

**e) Precipitación pluvial:** En la época de mayor precipitación lluviosa se registran hasta 1,200 mm de agua. La humedad relativa es de 65% durante el verano, la radiación solar es de 450.2 W/m<sup>2</sup>, la evaporación media es de 1550 mm/día.

**f) Uso actual:** Por su extensión territorial y las diferentes formas geográficas que existen en este municipio se pueden desarrollar algunas modalidades de cultivos como son: extensivos, intensivos y artesanales, siendo el cultivo de maní el que ocupa un 60% de las áreas cultivables, (Estudios de suelos y mapas de suelos 1971-1978).

### **2.3.- Características generales del suelo de la comunidad La Tejana**

Es importante recalcar que no existe bibliografía detallada ni estudios específicos sobre las principales propiedades de los suelos de esta comunidad, ya que los estudios existentes son más generales que particulares, como por ejemplo el estudio detallado sobre la región II, el cual abarca a este territorio. Por tanto la siguiente descripción se basó en mapas de suelos existentes.

Son suelos casi planos, profundos, bien drenados, moderadamente permeable, retención de la humedad moderadamente alta. El contenido de la materia orgánica es moderadamente alto en la superficie y moderado en el subsuelo, el fósforo es bajo y medio alto el potasio. La reacción del pH es neutra. Específicamente pertenecen a la serie de Chinandega, son suelos profundos con más de 90 centímetros, textura franco-arenosa en el suelo y el subsuelo. Suelos con pendiente casi horizontal, con erosión moderada, (Estudios de suelos y mapas de suelos 1971-1978).

En cuanto a los parámetros físico-químicos de estos suelos antes del cultivo se encontró el siguiente resultado:

**Tabla 2.3:** Resultados del análisis fisicoquímico realizado antes del cultivo de las tres variedades de Amarantho.

<b>Análisis</b>	<b>U/M</b>	<b>Resultados</b>
pH		5.6
Materia Orgánica (M.O)	%	3.20
Nitrógeno (N)	%	0.16
Fósforo (P)	Ppm	34.8
Potasio (K)	meq/100g	0.3
Calcio (Ca)	meq/100g	6.9
Magnesio (Mg)	meq/100g	1.0
Hierro (Fe)	Ppm	164.6
Cobre (Cu)	Ppm	11.9
Zinc (Zn)	Ppm	3.0
Manganeso (Mn)	Ppm	4.0
Boro (B)	Ppm	0.1
Azufre (S)	Ppm	41.0
Densidad	g/ml	1.00
Arcilla	%	9.92
Limo	%	21.28
Arena	%	68.80
Textura		Franco-arenoso
Ca+Mg/K		26.33
Ca/Mg		6.90
Ca/K		23.00
Mg/K		3.33

Fuente: Laboratorios LAQUISA, 2007

Cabe destacar que las características de la textura franca del suelo de la comunidad La Tejana permiten buena penetración de raíces, mientras que la textura arenosa influye en una mayor disponibilidad de las sustancias en la solución del suelo. Por otra parte el pH ácido del suelo en estudio permite que los plaguicidas se absorban con mayor facilidad, mientras que el alto contenido en Materia Orgánica le confiere más capacidad al para absorber plaguicidas.

Un dato muy importante sobre estos suelos, desde el punto de vista agronómico, es que son tierras del tipo AAA, lo que las convierte en las mejores del mundo para cultivar, después de las tierras del Río Nilo, por su fertilidad. Esto favoreció su utilización indiscriminada para sembrar una diversidad de cultivos por parte de los agricultores lo que generó los efectos ambientales de hoy.

Para conocer la relación e interacción suelo-plaguicida es importante introducir los principales términos y conceptos relativos a los plaguicidas, en particular la clasificación que nos interesa en este estudio, como son los plaguicidas organoclorados.

Un plaguicida se refiere a una sustancia o mezcla de sustancias destinadas a destruir cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, especies no deseadas de organismos que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma con la producción y comercialización de alimentos y productos agrícolas. Generalmente un plaguicida se considera como un compuesto xenobiótico, sustancia creada por el hombre de interés agrícola e industrial y que nunca se forma por vía natural, (Smidt et al., 2000).

Los plaguicidas se clasifican principalmente en compuestos organoclorados, organofosforados y carbamatos. De los tres grupos, los organoclorados son los más altamente persistentes en los ecosistemas acuáticos por su baja biodegradabilidad y notable amplificación en las cadenas alimenticias de los ecosistemas acuáticos, siendo reconocidos entre los contaminantes más agresivos para el medio ambiente, debido a su gran capacidad de acumulación en los sedimentos y en los organismos, (Narváez, 2005).

## 2.4.- Plaguicidas organoclorados

Los organoclorados de mayor uso a nivel mundial son el DDT (1,1,1-tricloro-2,2-di(p-clorofeniletano), los bifenilos policlorados, los ciclodienos como aldrín, dieldrín y endrín, los isómeros del hexaclorociclohexano como el  $\gamma$ -HCH (Lindano) y los terpenos clorados como el Toxafeno y Estrobeno, (Addison, 1976).

### 2.4.1.- Clasificación de los plaguicidas organoclorados

<b>Aromáticos Clorados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ DDT</li><li>✓ Dicofol</li><li>✓ Metoxicloro</li><li>✓ Clorobencilato</li></ul>	<b>Ciclodiénicos Clorados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Endrín</li><li>✓ Dieldrín</li><li>✓ Aldrín</li><li>✓ Clordano</li><li>✓ Heptacloro</li><li>✓ Mírex</li><li>✓ Endosulfán</li></ul>
<b>Cicloalcanos Clorados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ <math>\gamma</math>-HexaClorocicloHexano (Lindano)</li></ul>	
<b>Terpenos Clorados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Canfeclor (Toxafeno)</li></ul>	

Fuente: Meister Pro Information Resources, 2004

### 2.4.2.- Características generales de los plaguicidas organoclorados

Son liposolubles con baja solubilidad en agua y elevada solubilidad en la mayoría de los disolventes orgánicos. Tienen estructura cíclica, en general, poseen baja presión de vapor, una alta estabilidad química, una notable resistencia al ataque de los microorganismos y tienden a acumularse en el tejido graso de los organismos vivos, acumulándose en el suelo y las napas subterráneas, (Fisher, 1999).



### **2.4.3.- Características fisicoquímicas de los plaguicidas organoclorados**

El comportamiento de una sustancia química (por ejemplo un plaguicida en el suelo o en el sedimento) depende de varias propiedades fisicoquímicas y muchas de ellas son difíciles de determinar. Por tanto en este estudio se tendrá en cuenta dos parámetros: coeficiente de reparto ( $K_{OW}$ ) y el tiempo de vida media ( $T_{1/2}$ ). Estas propiedades pueden usarse para analizar la absorción y degradación de diferentes plaguicidas en un área determinada. Naturalmente, hay muchas otras propiedades que son necesarias para describir completamente el comportamiento hidrogeoquímico, pero las dos anteriores pueden brindar una comprensión clara y amplia, (Bergström, 2002).

#### **a) Coeficiente de reparto Octanol/Agua ( $K_{OW}$ )**

Se define como la relación de concentraciones de cualquier especie molecular entre dos fases en equilibrio. La hidrofobia de un elemento es de mucha importancia para comprender su comportamiento en el ambiente y esta propiedad es descrita por el parámetro  $K_{OW}$ . Para determinar el valor  $K_{OW}$ , el compuesto se disuelve en una mezcla de octanol y agua. La proporción entre las concentraciones de los dos solventes determina el  $K_{OW}$ , (Apello y Postma, 1996). Esta relación se expresa mediante la ecuación:

$$K_{ow} = C_{octanol}/C_{agua}$$

Normalmente esta propiedad se expresa como el  $\text{Log } K_{OW}$  y tiene diferentes magnitudes, incluso entre compuestos que normalmente son "hidrofóbicos" o "insolubles en agua". Por ejemplo es posible disolver el benceno (el  $\text{Log } K_{OW}=2.11$ ), que normalmente es considerado como insoluble en agua, 12000 veces más en la fracción de agua que en DDT (el  $\text{Log } K_{OW}=6.19$ ), (Apello y Postma, 1996). Los valores de  $\text{Log } K_{OW}$  para todos los plaguicidas organoclorados estudiados en esta investigación se presentan en la tabla 2.4.3 (a). Los plaguicidas están ordenados de acuerdo a un  $\text{Log } K_{OW}$  ascendente (incremento de la propiedad hidrofóbica).

Como puede verse en la tabla 2.4.3 (a), los valores de  $K_{OW}$  divergen ya que fueron tomados de tres referencias bibliográficas diferentes. La baja solubilidad en agua entre estos plaguicidas hace a los análisis de laboratorio muy sensibles a las impurezas presentes en

éstos. Estas impurezas presentes eran más comunes en las épocas pasadas y son a menudo la razón por la que los valores de Log K<sub>OW</sub> son demasiado bajos, (Verschueren, 1996).

**Tabla 2.4.3 (a):** Valores de Log K<sub>OW</sub> para plaguicidas organoclorados

<b>Plaguicida</b>	<b>Log K<sub>OW</sub> (1)</b>	<b>Log K<sub>OW</sub> (2)</b>	<b>Log K<sub>OW</sub> (3)</b>
γ-HCH (Lindano)	3.72	3.7	3.6
β-HCH	3.78	-	-
α-HCH	3.80	-	-
Endosulfán	3.83	-	-
δ-BHC	4.14	-	-
Heptacloro-epóxido	4.98	5.4	
Endrín	5.20	5.7	4.6
Dieldrín	5.40	6.2	4.3
Toxafeno	5.78	5.3	4.8
4,4'-DDD	6.02	3.7	-
Heptacloro	6.10	5.4	
Aldrín	6.50		6.5
4,4'-DDE	6.51	4.3	
4,4'-DDT	6.91	6.2	

Fuente: (1) Environmental Fate Data base, 2002

(2) Verschueren, 1996

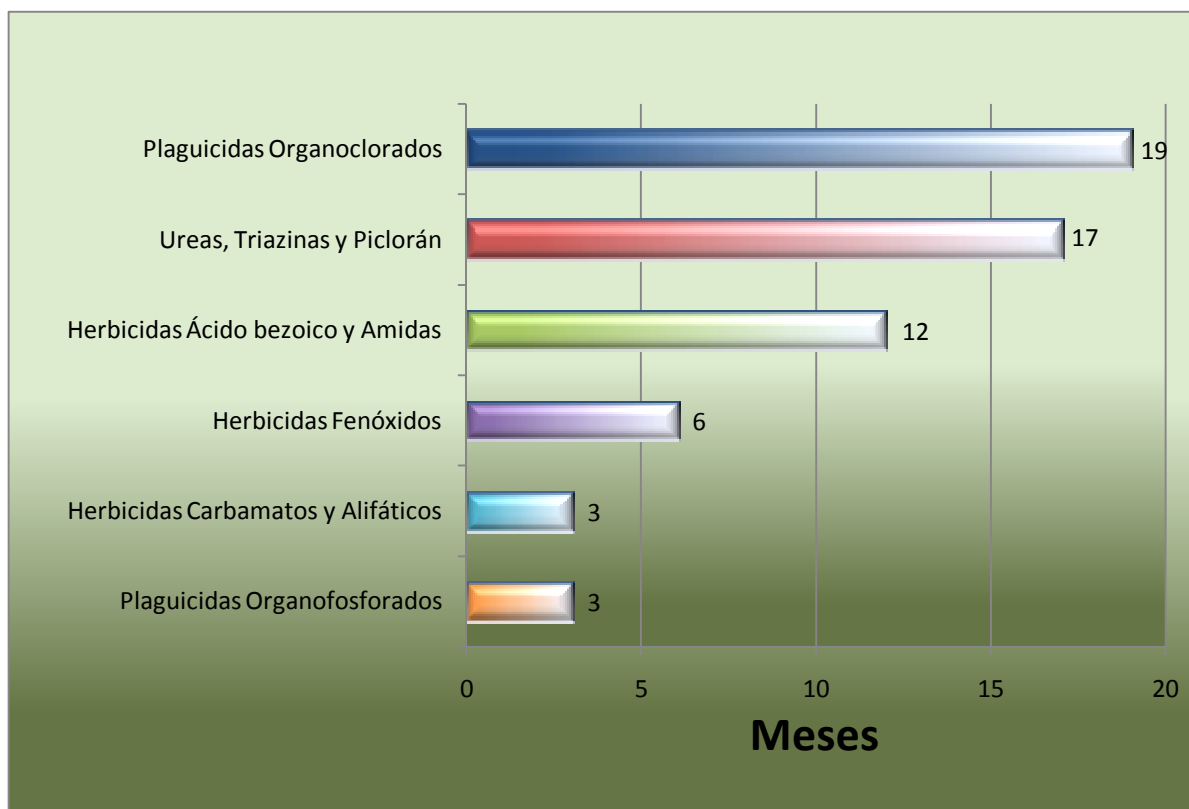
(3) Howard, 1991

## **b) Persistencia**

Se denomina persistencia al tiempo que permanece el plaguicida en el suelo manteniendo su actividad biológica ( $T_{1/2}$ ). El tiempo de degradación mide la vida media, que es el tiempo que tiene que transcurrir para que se degrade la mitad del plaguicida. Las consecuencias de la persistencia pueden ser muy importantes para su estudio, dependiendo de la toxicidad del plaguicida y de su biodisponibilidad, (Helweg, 1999). La velocidad de degradación de un plaguicida depende de tantos factores que es necesario hacer pruebas de campo en un ambiente con similar humedad, temperatura, tamaño de grano, actividad biológica, presencia de otros elementos, etc, para obtener una comparación apropiada del tiempo de vida media ( $T_{1/2}$ ).

En las tablas 2.4.3 (b) y 2.4.3 (c) se puede observar la persistencia de distintos grupos de plaguicidas en el suelo.

**Tabla 2.4.3 (b):** Persistencia de distintos grupos de plaguicidas en suelos.



Fuente: Sánchez, M. J. y Sánchez, M., 1984

Estos datos muestran que los plaguicidas más persistentes son los organoclorados (19 meses). La mayoría van desapareciendo del suelo en un período inferior a un año.

**Tabla 2.4.3 (c):** Persistencia ( $T_{1/2}$ ) de plaguicidas organoclorados (en días) en el suelo.

<b>Plaguicida</b>	<b><math>T_{1/2}</math> más alto</b>	<b><math>T_{1/2}</math> más bajo</b>
$\gamma$ -HCH (Lindano)	240	14
$\beta$ -HCH	124	14
$\alpha$ -BHC	135	14
Endosulfán	9	0.2
$\delta$ -BHC	100	14
Heptacloro-epóxido	552	33
Endrín	1095	175
Dieldrín	1095	175
Toxafeno	-	-
4,4'-DDT	5694	730
Heptacloro	5.4	1
Aldrín	584	21
4,4'-DDE	5694	730
4,4'-DDD	5694	730

Fuente: Howard et al., 1991

En la tabla 2.4.3 (c) se puede observar como el 4,4'-DDT es el que presenta una mayor persistencia (además, su principal producto de degradación, el 4,4'-DDE, es también muy persistente).

Es muy importante tomar en cuenta que las condiciones óptimas para la velocidad de degradación de un plaguicida no necesariamente son óptimas para otro plaguicida. La tabla 2.4.3 (c) puede ser usada para hacer estimaciones tentativas. Note la variación considerable entre el más alto y más bajo tiempo de vida media para el mismo plaguicida. Las características ambientales son obviamente muy importantes para la rapidez con que puede ser degradado un plaguicida.

#### **2.4.4.- Transporte de plaguicidas en el suelo**

Predecir y describir con buena exactitud el movimiento de un contaminante en el suelo y en el subsuelo es muy difícil y los modelos que han sido desarrollados en los laboratorios han mostrado poca correspondencia con la realidad. Esto se debe principalmente a la complejidad de los suelos y a que las condiciones de transporte raramente están estáticas, siempre cambian, (Bergström y Stenström, 1998).

Para poder hacer una valoración razonable de la velocidad de rociado y la velocidad de infiltración o absorción en un área, los experimentos deben realizarse a largo plazo. Los resultados de los experimentos en Uppsala, Suecia en perfiles de suelos reales que tenían que resistir los cambios de temperatura y humedad mostraron poco en común con modelos basados en los resultados de laboratorio, (Bergström y Stenström, 1998). Por consiguiente, en un estudio de este tipo no es muy razonable hacer cálculos cuantitativos sobre la velocidad de rociado y velocidad de infiltración de plaguicida en la zona.

Aparte de las propiedades mencionadas anteriormente, la alta toxicidad y sus efectos en los organismos vivos, son dos características de los plaguicidas organoclorados de mucha importancia, las cuales son otras de las razones por las que se seleccionó a este grupo de sustancias y sus metabolitos para ser estudiadas en esta investigación. Estas características se abordan a continuación.

#### **2.4.5.- Factores que influyen en el comportamiento y destino de los plaguicidas en el suelo**

**a) Tipo de suelo:** Influye sobre el equilibrio de absorción de los plaguicidas, debido al papel de las arcillas y la materia orgánica por ser coloidales y tener altas cantidades de intercambio catiónico. La adsorción de plaguicidas para sitios cargados negativamente sobre la arcilla o la materia orgánica puede ocurrir por atracción dipolar-dipolar, puentes de hidrógeno o por enlace iónico. Si los plaguicidas catiónicos son absorbidos, por lo tanto para suelos con las características anteriores se requiere una mayor cantidad de producto dado que una parte es adsorbida por el suelo quedando inactivo, (Meneses, 2001).

**b) Naturaleza del plaguicida:** La estructura química determina su índice de adsorción, contribuye en la solubilidad o afinidad por la solución del suelo. Influye la formulación del plaguicida en su persistencia en el suelo, ya que el tipo granular son usualmente más persistentes; los polvos humectantes y polvos por el contrario son más bajos en su persistencia que las preparaciones emulsificantes, (Meneses, 2001).

**c) Contenido de humedad:** Para suelos moderadamente ligeros o muy ligeros (arenosos), es más probable que un plaguicida se adsorba cuando los suelos están secos, que húmedos.

**d) pH:** La adsorción es más alta en suelos ácidos, cuando existe variación en la acidez del suelo el plaguicida puede convertirse de un anión cargado negativamente sobre las moléculas no cargadas o planas en cationes cargados positivamente y así incrementar su adsorción, lo cual origina que en suelos en extremo ácidos sean ocupados los sitios de intercambio por cationes hidrogenados, y por lo tanto, la adsorción sea baja debido a la falta de sitios negativos por ocupar, (García, 1997).

**e) Temperatura del suelo:** La adsorción de plaguicidas es un proceso exotérmico, pues cuando los enlaces de Hidrógeno o iónicos son formados, el calor se libera. Así cuando la temperatura se incrementa, el calor interno puede romper los enlaces y causar la desorción de moléculas de plaguicidas, por lo tanto, a altas temperaturas se pueden considerar más moléculas de plaguicidas disponibles en la disolución del suelo, (García, 1997).

Debido al aumento en la utilización de plaguicidas más tóxicos y persistentes, en los últimos años ha surgido una gran preocupación en torno a los efectos de los plaguicidas sobre la fertilidad del suelo. Esta fertilidad está en función directa de los organismos vivos (bacterias, hongos y gusanos del suelo) y de su interacción en los suelos con los materiales orgánicos e inorgánicos que forman parte de ellos. Se ha demostrado que muchos plaguicidas pueden destruir la fauna y la flora del suelo o impedir los procesos biológicos necesarios para mantener la fertilidad, (Millar et al., 1980).

La fertilidad del suelo es afectada desde el momento en que el plaguicida entra en contacto con el suelo, éste comienza a moverse y transportarse a través del subsuelo y las aguas subterráneas, acumulándose y afectando a los microorganismos y plantas presentes en ese ambiente; sin embargo éstos responden degradándolos y transformándolos, mediante distintos mecanismos, en sustancias menos tóxicas, lo cual es un proceso evolutivo constante que se amplía a continuación.

#### **2.4.6.- Evolución de los plaguicidas en el suelo**

La movilidad relativa de los elementos trazas en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica, (Burt et al., 2003). Los mecanismos que rigen la evolución de los plaguicidas en el suelo son diversos. Entre ellos tenemos:

**a) Descomposición química,** tiene lugar por procesos de oxidación, reducción, hidroxilación, desalquilación, rotura de anillos, hidrólisis e hidratación.

**b) Descomposición fotoquímica,** se produce por efecto del espectro de luz ultravioleta del sol. Las fuentes de luz y su intensidad regulan el grado de descomposición de un compuesto.

**c) 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, (Helweg et al., 1997).

**d) Volatilización**, es la 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 encuentre y de la temperatura ambiente.

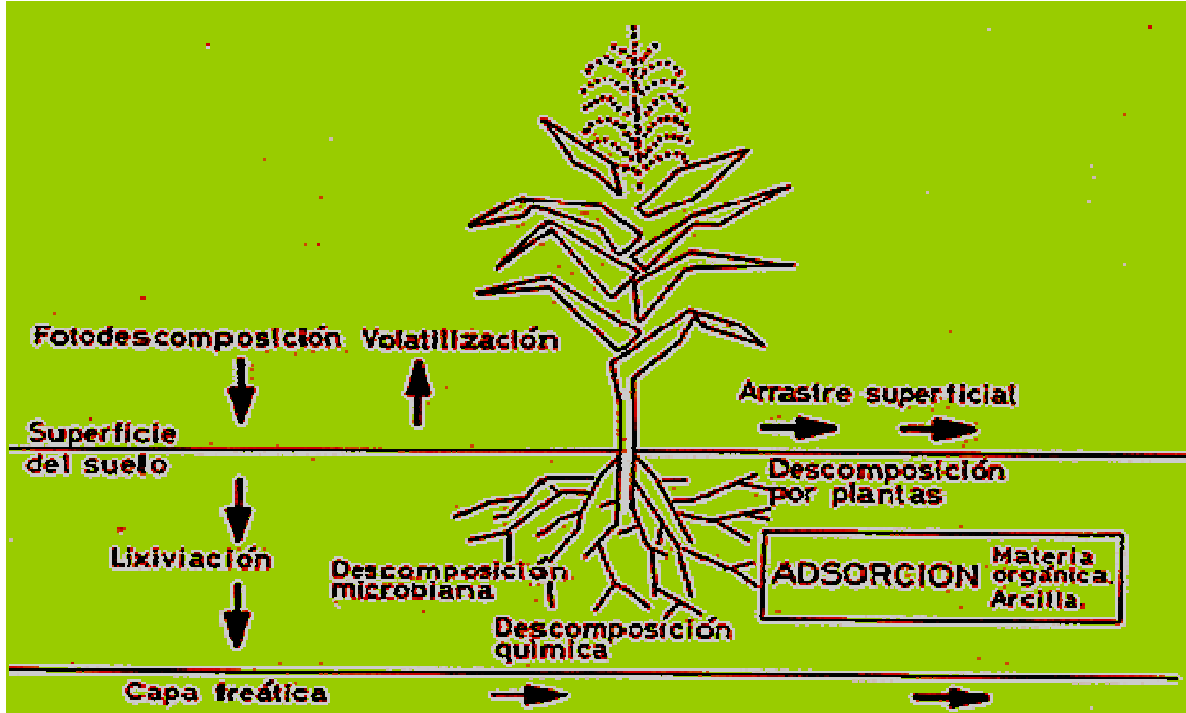
**e) Movimiento**, el transporte de un plaguicida en el suelo, por disolución o arrastre mecánico, se hace bajo la influencia del agua. El grado de lixiviación está influido por las características fisicoquímicas del suelo, solubilidad del producto, frecuencia e intensidad de la lluvia, etc., (Merkl et al., 2004).

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

Estas distintas vías de transformación de los plaguicidas en el suelo se esquematizan en la siguiente figura.



**Figura 2.4.6:** Procesos metabólicos de los plaguicidas en el suelo



Fuente: Sánchez, M. J. y Sánchez, M., 1984

En síntesis, los procesos que afectan a la evolución de los plaguicidas en los suelos los podemos agrupar en:

- Procesos de acumulación (adsorción).
- Procesos de degradación (descomposición química y degradación biológica).
- Procesos de transporte (difusión, lixiviación, volatilización).

#### **2.4.6.1.- Procesos de acumulación: Mecanismos de adsorción**

La adsorción es la interacción superficial entre un elemento o molécula (adsorbato) y una fase sólida (adsorbente). Y como resultado la molécula del plaguicida queda retenida en el suelo.

Los plaguicidas quedan absorbidos en el suelo al absorberse sobre las arcillas y la materia orgánica, según los siguientes mecanismos.

#### **a) Cambio iónico**

Cuando las moléculas de los plaguicidas tienen comportamiento catiónico pueden intercambiarse con los cationes inorgánicos que saturaban inicialmente la arcilla o la materia orgánica y quedan retenidas por fuerzas electrostáticas. Este mecanismo depende del pH del suelo, ya que éste influye en la carga de los minerales de la arcilla y de la materia orgánica y además el pH también afecta la carga en las moléculas de varios plaguicidas, (Lombi et al., 2001).

#### **b) Enlace por puentes de hidrógeno**

Es el mecanismo principal por el que las moléculas no iónicas polares se adsorben a los minerales arcillosos y a la materia orgánica. En este enlace los átomos de hidrógeno, forman puentes entre dos átomos electronegativos. También se pueden establecer puentes de H<sub>2</sub>O entre la molécula del compuesto orgánico y la partícula mineral, tal como sucede en los suelos húmedos, (Helweg, 1991).

#### **c) Cambio de ligando**

Reemplazamiento de uno o más ligandos en los complejos entre iones metálicos y el suelo. El plaguicida actúa de agente quelante fuerte, desplazando los ligandos que estaban previamente, como por ejemplo el agua. Así pues, el metal en esta ocasión actúa de puente en la adsorción del plaguicida, (Helweg, 1991).

#### **d) Enlace por transferencia de carga**

Interacción que se produce cuando existe una transferencia de electrones entre un dador rico en electrones, como son muchos plaguicidas, y un aceptor deficiente en electrones, como las quinonas que existen en la materia orgánica, (Helweg, 1991).

### **e) Fuerzas de Van der Waals**

Los compuestos orgánicos neutros (moléculas apolares) pueden interaccionar con partículas minerales a través de débiles interacciones físicas. Para ello la molécula debe tener tamaño grande.

Las fuerzas físicas, relativamente débiles, en general, se superponen a las demás interacciones. Su importancia aumenta con el tamaño de la molécula adsorbida, (Helweg, 1991).

### **e) Interacciones hidrofóbicas**

Son propiedades de los compuestos de baja solubilidad en agua, plaguicidas no polares, como los PCBs y disolventes orgánicos.

Consiste en la adsorción de compuestos de elevado coeficiente de reparto octanol:agua (lipofílicos) a la superficie de un adsorbente hidrófobo (ceras, lípidos, porciones apolares de sustancias húmicas). La adsorción es función de las características de la sustancia potencialmente contaminante, naturaleza de la fase sólida y del medio, (Millar et al., 1980).

## **2.4.6.2.- Procesos de degradación**

### **a) Procesos fisicoquímicos de degradación**

#### **a.1) Hidrólisis**

Este proceso viene determinado por la reacción de una sustancia con el agua con rotura de enlaces, y depende estrechamente del pH.

#### **a.2) Deshalogenación**

Este proceso es común para plaguicidas organoclorados, y es una de las etapas de degradación del DDT.

### **a.3) Desalquilación**

Consiste en la eliminación de grupos alquilo. Este es un proceso que se da con frecuencia en derivados de la urea, en plaguicidas triazínicos y en derivados amídicos, (Helweg et al, 1997).

### **a.4) Hidroxilación**

Corresponde al ataque del grupo  $\text{OH}$ , principalmente a grupos aromáticos. Es un proceso frecuente en plaguicidas organoclorados, (Helweg et al, 1997).

### **a.5) Condensación**

Este proceso tiene lugar entre compuestos diferentes y en particular entre un compuesto amínico y otro ácido.

### **a.6) Oxidación**

Ocurre en los plaguicidas organofosforados al pasar el enlace  $\text{P}=\text{S}$  a  $\text{P}=\text{O}$  También se pueden formar epóxidos a partir de compuestos con doble enlace, (Helweg et al, 1997).

### **a.7) Reducción**

Los procesos de reducción se concentran en la conversión del grupo nitro ( $-\text{NO}_2$ ) a amino ( $-\text{NH}_2$ ).

### **a.8) Fotodescomposición**

Esta modificación química de los plaguicidas viene producida por la interacción de la radiación solar ultravioleta y visible (240-700nm) con los enlaces y afecta especialmente a los grupos -OH, -SH, C=O, -Cl, -N=, así como a dobles enlaces, sobre todo si están conjugados. La fotodescomposición también puede tener lugar a través de sustancias fotorreceptoras (clorofilas, carotenos, y sobre todo compuestos húmicos) capaces de captar energía lumínica y de traspasarla a los plaguicidas. Los compuestos orgánicos neutros, moléculas apolares, pueden interactuar con partículas minerales a través de débiles interacciones físicas. Para ello la molécula debe tener tamaño grande, (Helweg et al, 1997).

Las fuerzas físicas, relativamente débiles, en general, se superponen a las demás interacciones. Su importancia aumenta con el tamaño de la molécula adsorbida (<http://edafologia.ugr.es>).

### **b) Procesos microbiológicos de degradación**

Son los sistemas de degradación más activos y versátiles, ya que son siempre catalizadas por enzimas y aportan energía a través de los procesos metabólicos. Los tipos más relevantes son:

#### **b.1) Reacciones oxidativas**

Destaca el complejo MFO (Mixed Function Oxidase) que convierte xenobióticos liposolubles en hidrosolubles. Uno de sus componentes, el citocromo P450, aparece en invertebrados y microorganismos.

#### **b.2) Reacciones de reducción**

Comprenden la reducción de grupos cetónicos y nitros hasta hidroxilos y aminas respectivamente.

### **b.3) Reacciones de hidrólisis**

Catalizadas por las hidrolasas, afectan a reacciones como la hidrólisis de ésteres aromáticos o alifáticos, amidas, etc.

### **b.4) Ruptura de anillos aromáticos**

Estos procesos requieren que el anillo contenga al menos dos grupos hidroxilo en posición orto- o para- que pueden ser introducidos a su vez por oxidasas, (Brown, S. L. et al., 2003).

## **2.4.6.3.- Procesos de transporte**

### **a) Difusión**

Es el movimiento de moléculas a causa de un gradiente de concentración. Este movimiento es al azar pero trae como consecuencia el flujo de materiales desde las zonas más concentradas a las menos concentradas, (Helweg, 1991).

Para medir la difusión de un compuesto en el suelo hay que considerar la interacción conjunta de parámetros tales como la porosidad, el factor tortuosidad, los procesos de adsorción, la naturaleza del compuesto, etc., (Brown, S. L. et al., 2003).

### **b) Lixiviación**

Es el parámetro más importante de evaluación del movimiento de una sustancia en el suelo. Está ligado a la dinámica del agua, a la estructura del suelo y a factores propios del plaguicida. Los compuestos aplicados al suelo tienden a desplazarse con el agua y lixiviar a través del perfil, alcanzando las capas más profundas y al acuífero, que en consecuencia resulta contaminado, (Millar et al, 1980).

### **c) Evaporación**

La tasa de pérdidas de plaguicidas por volatilización depende de su presión de vapor, de la temperatura, de su volatilidad intrínseca y de la velocidad de difusión hacia la superficie de evaporación, (Millar et al, 1980).

Particularmente, no existe un estudio detallado que indique la relación entre las condiciones climáticas y las propiedades físico-químicas de los suelos de la comunidad La Tejana con respecto a los tipos de plaguicidas utilizados. Por tanto en este estudio se aborda de manera general la relación suelo-plaguicida, ya que no es la directriz principal de esta investigación.

Dentro del marco de la relación suelo-plaguicida se detalló la forma en que un plaguicida puede entrar en contacto con el suelo y los factores determinantes para sus mecanismos de transporte, evolución y degradación. También se expusieron los mecanismos físicos, químicos y biológicos que el suelo y los microorganismos emplean para depurar estos plaguicidas y todo tipo sustancia química perjudicial presente en él.

Cuando estas sustancias se acumulan, aumenta la carga contaminante, se produce una alta intoxicación, disminuyendo la fertilidad y potencial del suelo para producir. Precisamente esto es lo que ha sucedido con la mayoría de los suelos agrícolas de Nicaragua, sobre todo en Chinandega, concretamente en la zona bajo estudio (comunidad La Tejana). Sin embargo, según estudios realizados en otros contextos, esta carga contaminante también puede ser sobrellevada por algunas plantas hiperacumuladoras, que absorben y degradan sustancias tóxicas presentes tanto en el suelo como en el agua.

También se conoce de bacterias biorremediadoras, tal es el caso de bacterias del género *Serratia* y *Pseudomonas* que degradan el Malathion, un plaguicida altamente perjudicial para el medio ambiente, (Acero y Antolinez, 1999). Incluso, ha sido posible aislar e identificar especies bacterianas con la habilidad de degradar gasolina, (Salamanca, 1999), tolueno y xileno, (Suárez, 2004).

En síntesis, la utilización de plantas remediadoras es una alternativa que implica costos, y no es una opción cuando se está perdiendo la capacidad de producción y la fertilidad de un suelo que le da un valor agregado, por lo tanto es necesario hacer conciencia entre la población y especialmente en los agricultores para que busquen soluciones prácticas e implementen una explotación sostenible y sustentable del suelo, debido a que es un recurso renovable que tarda mucho tiempo en recuperar sus propiedades.

La prevención es menos costosa y más beneficiosa que la descontaminación de un suelo, y es importante mencionar algunas medidas que deben tomar los agricultores, lo cual ayuda a establecer un equilibrio entre la carga contaminante y el suelo.

## **2.5.- Medidas para prevenir y disminuir la contaminación del suelo por plaguicidas**

**a) Control integrado de plagas:** Aplicación coordinada de diversos medios de combate de plagas, respetando la ecología del suelo y considerándolo como una unidad. Incluye aspectos tales como la lucha biológica, la rotación de cultivos, el empleo de variedades resistentes, etc., (Pérez, 1991).

**b) Plantación de cultivos tolerantes:** Permite evitar las aplicaciones excesivas y dejar un margen de tiempo adecuado para la disipación del plaguicida.

**c) Prácticas agronómicas:** Se incluyen prácticas como el barbecho, el laboreo y el arado, que contribuyen a inactivar y eliminar los plaguicidas del suelo.

**d) Irrigación:** La adición de agua al suelo acelera todos los procesos de eliminación de plaguicidas. No obstante, si el suelo es lo bastante permeable, puede inducir la lixiviación del plaguicida, con el consiguiente riesgo de contaminación de acuíferos, (Helweg et al, 1997).

**e) Uso de dosis mínimas de plaguicidas:** Se ha de respetar la dosis mínima recomendada, ya que no siempre es necesario un control total de la plaga.



**f) Aplicación adecuada de plaguicidas:** Debe contarse con los medios técnicos adecuados para una aplicación correcta del plaguicida, a fin de lograr una eficacia óptima, (Helweg, 1991).

**g) Selección de plaguicidas con escaso efecto residual:** Es preferible aplicar compuestos específicos y poco persistentes, (Pérez, 1991).

**h) Alternancia de plaguicidas:** Es aconsejable cambiar el principio activo aplicado, evitando así el desarrollo de variedades resistentes y la acumulación de residuos, (MARENA. Memorias del Congreso Nacional: Impacto de Plaguicidas en Ambiente, Salud, Trabajo y Agricultura. Managua, 1997).

**i) Adiciones químicas:** Ciertos compuestos pueden facilitar la eliminación de plaguicidas adsorbidos al complejo coloidal del suelo. Otros aditivos funcionan como adsorbentes de residuos, (Helweg et al, 1997).

**j) Biorremediación:** Consiste en inducir la proliferación de organismos del suelo capaces de degradar metales pesados, compuestos radioactivos, plaguicidas y/o sus metabolitos, (Helweg et al, 1997).

En el siguiente apartado se detalla en qué consiste una técnica de biorremediación muy novedosa, específicamente la fitorremediación y algunas especies de plantas que según algunos investigadores, pueden realizar un papel biorremediador, lo cual es una opción prometedora tanto para el agricultor como para el suelo en cuestión.

## **2.6.- Fitorremediación**

El concepto de usar plantas para limpiar suelos contaminados no es nuevo, desde hace 300 años las plantas fueron propuestas para el uso en el tratamiento de aguas residuales. Hasta ahora, se han identificado unas 400 plantas con distintos grados de eficiencia en la acumulación de sustancias tóxicas, las cuales han tenido éxito en la remoción de metales pesados provenientes de la actividad minera, de ahí que las bases conceptuales de la fitorremediación provienen de la identificación de plantas que hiperacumulan metales.

La fitorremediación podría ser definida como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o desintoxicar suelos y aguas con alta presencia de metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas, (Merkl et al., 2004).

En estudios recientes se ha demostrado que la fitorremediación es una solución prometedora para la limpieza de sitios contaminados por una variedad de metales, y aunque también tiene una serie de limitaciones una de las ventajas es que los procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos, (Singh et al. 2003).

Esta ventaja es una capacidad intrínseca en algunos vegetales, pero también pueden obtenerse plantas con estas cualidades por medio de técnicas propias de la Ingeniería Genética.

La habilidad de seleccionar especies de plantas que son resistentes a los metales pesados y/o plaguicidas y que pueden acumular grandes cantidades de ellos, ciertamente ayudará a recuperar áreas contaminadas, (Kucharski R., et al, 1999).

### 2.6.1.- Importancia de la Fitorremediación

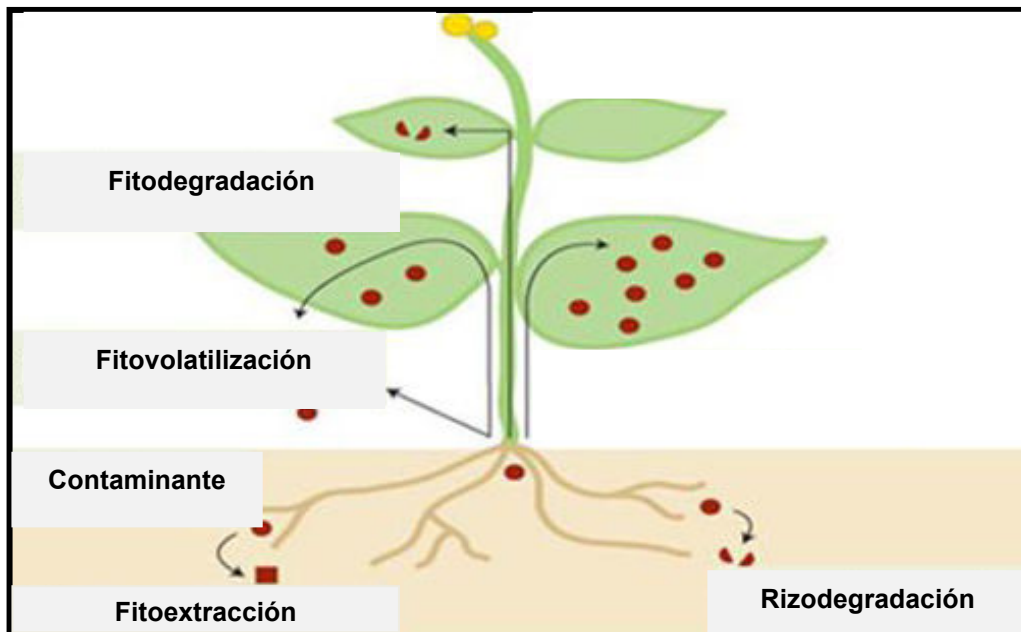
Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación es una tecnología naciente que sirve para explotar las capacidades metabólicas proporcionando un medio barato, simple y seguro para paliar áreas contaminadas y/o aguas de desecho, (Millar et al., 1980). Ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable, útil para remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes y presenta un impacto ambiental mínimo o nulo respecto a otros métodos de descontaminación físicos y químicos, (Frick et al., 1999).

Al proceso de adsorción le sigue un proceso de absorción y por tanto de distribución de las especies acumuladas en el resto de la planta en su proceso de germinación y crecimiento (habrá que evaluar en qué parte de la planta la preconcentración es máxima).

### 2.6.2.- Tipos de Fitorremediación

Las plantas presentan diversas estrategias para limpiar un suelo que dependerán del tipo de contaminante presente en el lugar; de este modo se identifican cuatro procesos: fitodegradación, fitoextracción, fitovolatilización y rizodegradación.

*Figura 2.6.2:* Técnicas de fitorremediación

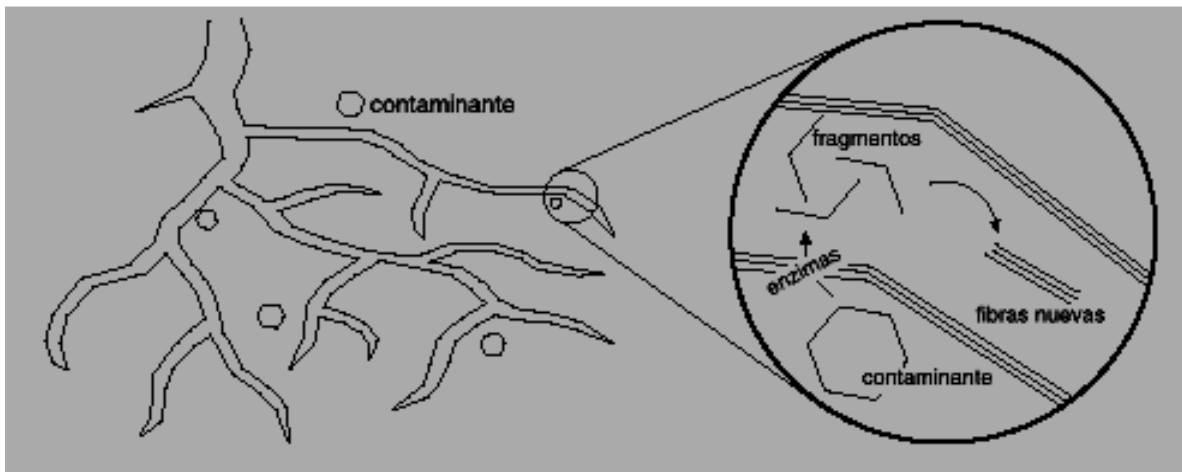


Fuente: Pilon-Smits, 2005

### 2.6.2.1.- Fitodegradación

Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos. Ejemplos de contaminantes tratados con esta técnica son: municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, plaguicidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc., (<http://www.miliarium.com>).

**Figura 2.6.2.1:** Destrucción de contaminantes orgánicos por fitodegradación. Las enzimas de las plantas descomponen (degradan) los contaminantes orgánicos. Los fragmentos se incorporan en el tejido nuevo de las plantas.



Fuente: <http://www.miliarium.com>

### 2.6.2.2.- Fitoextracción

Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (principalmente, la parte aérea). Se pueden tratar contaminantes tales como: cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc (ver anexo 2). Algunos de los ejemplos de plantas que se han usado en la descontaminación de suelos con presencia de metales pesados son:

a) En la familia de plantas *Asteraceae* se ha reportado por ejemplo tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* (Lechuguilla Común) y se le ha propuesto como especie remediadora de ambientes contaminados con este metal, (Xiong, 1997).

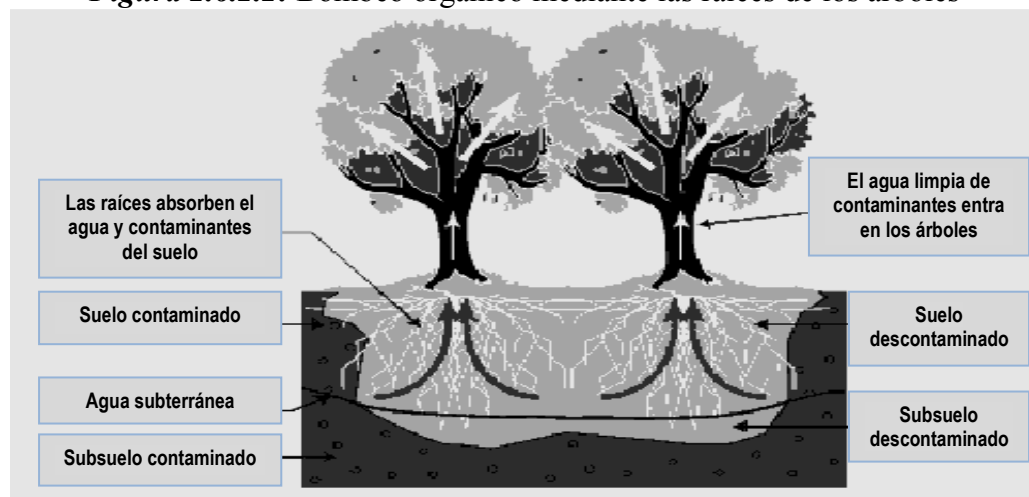
b) La especie *Thlaspi caurulencens* (carraspique alpino) en suelos contaminados con zinc y cadmio logra eliminar más de 8 mg/Kg de cadmio y 200 mg/Kg de zinc, representado estos valores el 43% y 7 % de estos metales en un suelo agrícola, respectivamente (Lombi et al., 2001).

c) El girasol (*Helianthus annuus L.*) es la especie que absorbe los metales pesados en mayor cantidad acumulándose más en sus raíces que en sus brotes si se cosecha la biomasa entera de la planta, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos, (Christie et al., 2004).

La fitoextracción debe considerarse como una tecnología de largo plazo, que puede requerir de varios ciclos de cultivo para reducir la concentración de los contaminantes a niveles aceptables. El tiempo requerido depende de la concentración y tipo de contaminante(s), de la duración del período de crecimiento y de la eficiencia de remoción de la especie utilizada y puede tomar entre uno y 20 años, (Prasad y Freitas, 2003).

Esta técnica se encuentra todavía en su etapa inicial de investigación y de desarrollo, no obstante el número de pruebas de campo realizadas hasta la fecha es pequeña, (Brown et al., 2003), y está surgiendo como un método de rehabilitación atractivo debido a su simplicidad, además su costo es relativamente bajo.

**Figura 2.6.2.2:** Bombeo orgánico mediante las raíces de los árboles



Fuente: <http://www.miliarium.com>

### **2.6.2.3.- Fitovolatilización**

Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración. Esta técnica se ha utilizado para descontaminar suelos con presencia de mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).

### **2.6.2.4.- Rizodegradación**

Aunque la rizofiltración es una técnica parecida a la fitoextracción, esta difiere en que las plantas que se utilizan para descontaminar se cultivan en invernaderos con las raíces sumergidas en agua, en vez de tierra, es decir que en esta técnica las raíces absorben los contaminantes del agua, (Ara y Marchand, 1991).

### **2.6.3.- Posibles mecanismos de degradación de la planta remediadora**

Concretamente, una planta bioconcentradora limpia a través de diversos mecanismos, algunos no del todo conocidos, por los cuales determinados vegetales pueden sustraer del medio e incorporar cationes pesados o hidrocarburos de medios contaminados. La mayoría de ellos involucran complejos enzimáticos como los de metalotioneínas, que se combinan químicamente con los tóxicos y eventualmente los degradan. Por ejemplo, pueden cambiar el estado de oxidación de un catión, llevándolo a una forma menos tóxica.

Aun así, se han reportado pocos estudios científicos amplios, sobre la transferencia de contaminantes de suelos a plantas, (Chiou et al., 2001; Fuhrmann et al., 2002; Fuhrmann et al., 2003; Gao y Zhu, 2004).

Sin embargo se ha demostrado que algunas especies adsorben contaminantes orgánicos de suelos contaminados, agua y aire a través de la masa de raíces y la cutícula de las hojas, que pueden ser trasladados a otras partes de la planta para la degradación enzimática o almacenamiento. La absorción de los plaguicidas en las plantas depende de las propiedades fisicoquímicas de los compuestos, el modo de aplicación, el tipo de suelo, factores climáticos y las especies de las plantas. Los compuestos adsorbidos a través de las raíces de las plantas pueden ser trasladados a otras partes de las plantas a través del xilema.

La penetración de raíces a las plantas al xilema, sin embargo, es óptimo para aquellos compuestos que son sólo ligeramente hidrofóbicos ( $\log K_{ow}$  1.8). Más compuestos hidrofóbicos tienden a unirse con las membranas de lípidos en las raíces. Así, la translocación del xilema de compuestos con  $\log K_{ow} > 3$  pueden ser muy limitada en las plantas, por ejemplo en el caso del toxafeno tiene un  $\log K_{ow}$  de 3.23 a 5.50. Los compuestos hidrofílicos, en cambio, tienen una absorción limitada a través de las ceras de la cutícula foliar, (Qasim et al., 2002).

La actividad microbiana en la rizósfera también desempeña un papel crucial en la transformación de contaminantes químicos que pueden ayudar a la absorción a través de las raíces y además en la degradación por las plantas.

En resumen, se puede afirmar que las plantas fitoconcentradoras captan especies tóxicas a través de las raíces, y en cooperación con microorganismos del suelo (microflora). Una vez en el interior del vegetal, el tóxico o xenobiótico ingresado es metabolizado, siendo transportado a depósitos situados en el tallo y las hojas. Este proceso es guiado por genes de transporte específicos, y tiene lugar sin alterar el ciclo vital del vegetal.

#### **2.6.4.- Disposición final de las plantas bioacumuladoras**

Una vez concluido el tratamiento de limpieza de un suelo, se deben tener previstos sistemas de disposición final de los residuos de las plantas tratadas. Éstos suelen incluir, para volúmenes reducidos de vegetales, la combustión, el reciclado y recuperación de contaminantes de las cenizas en caso de metales pesados.

Después de confirmar la presencia de plaguicidas organoclorados en las plantas de Amarantho que se utilizaron en este estudio se incineraron con el objetivo de que los plaguicidas se transformen  $CO_2$ .

Los graves problemas de contaminación existentes en los suelos requieren de tecnologías efectivas y económicas que puedan aplicarse a gran escala, de este modo la fitorremediación surge como una alternativa interesante que presenta numerosas ventajas.

La enorme versatilidad metabólica con que cuentan las plantas, asociada a las complejas interacciones que establecen con la rizósfera, confiere a esta tecnología importantes ventajas entre las que resalta la gran variedad de contaminantes para los que puede ser aplicada. Sin embargo, hacen falta estudios que clarifiquen tanto la manera en que se presentan las interacciones plantas-microorganismos rizosféricos, como el papel que juegan las enzimas de ambos en los procesos de fitorremediación.

En la medida en que este conocimiento se incrementa, será posible su aplicación a gran escala de manera controlada y eficiente.

En el siguiente acápite, se describe el origen y propiedades de la planta Amaranto, así como su potencial para captar sustancias químicas contaminantes.

## **2.7.- Reseña histórica de la planta amaranto**

La palabra amaranto significa "inmortal" e "inmarchitable"; y viene del griego Amaranton, a (sin) y marainein (marchitar, palidecer). Los indígenas llamaban al amaranto huautli o huauquiltil, y los conquistadores lo denominaron bleado, ([www.amaranth:future-food](http://www.amaranth:future-food)).

Según evidencias arqueológicas se cree que es originario de Puebla, México. Su cultivo se remonta a más de siete mil años. Algunos autores afirman que los Mayas serían los primeros en cultivarlo y que luego poco a poco lo fueron haciendo los aztecas y los Incas. El amaranto se entrelazaba con los rituales: en varias fechas del calendario religioso las mujeres aztecas molían la semilla, la mezclaban con miel y formaban figuras de víboras, aves, montañas, venados y dioses, para ser comidas en las ceremonias, en los grandes templos o en pequeñas reuniones familiares, ([www.amaranth:future-food](http://www.amaranth:future-food)).

La conquista española terminó con su uso como un artículo de primera necesidad en América, porque aparentemente su utilización en los rituales espantó a los conquistadores españoles, y con el colapso de las culturas indias después de la conquista, el amaranto cayó en el olvido. Su cultivo cayó en desuso y solamente sobrevivió en América en pequeñas áreas de cultivo esparcidas en zonas montañosas de México y los Andes, (Asociación de Ingenieros, 20001-2004, p.3).



La diseminación de este alimento altamente nutritivo en la agricultura mundial tuvo que esperar a su "descubrimiento" por la ciencia del siglo XX. En la actualidad la planta continúa cultivándose después de un largo período de abandono y es muy apreciada por sus propiedades nutricionales, además posee la particularidad de no contener gluten, (Hernández y Herrerías, 1998).

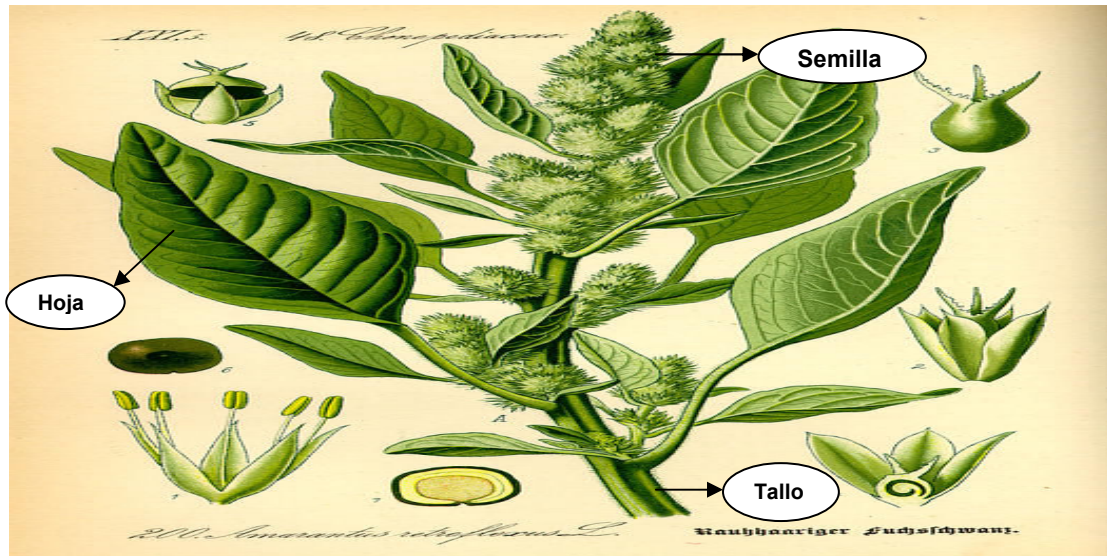
### **2.7.1.- Descripción botánica [ver figuras 2.7.1 (a) y 2.7.1 (b)]**

El amaranto es una planta que pertenece a la familia de los *amaranthacea* y al género *Amaranthus*. Su nombre científico es *Amaranthus Spp*. El amaranto es una planta de cultivo anual que puede alcanzar de 0.5 a 3 metros de altura; posee hojas anchas y abundantes de color brillante, espigas y flores púrpuras, naranjas, rojas y doradas, ([www.amaranth:future-food](http://www.amaranth:future-food)).

La familia Amaranthaceae reúne cerca de 60 géneros y más de 800 especies cuyas características cambian notablemente, dependiendo del ambiente en el que crecen, lo que dificulta la identificación de la planta. Existen tres variedades de amaranto que producen semilla y que, a su vez, son las más apreciadas:

- *Amaranthus caudatus* [ver figura 2.7.2 (a)]: se cultiva en la región de Los Andes y se comercializa como planta de ornato, principalmente en Europa y Norteamérica.
- *Amaranthus cruentus* [ver figura 2.7.2 (b)]: es originaria de México y Centroamérica, donde se cultiva principalmente para obtener grano. También se consume como vegetal.
- *Amaranthus hypochondriacus* [ver figura 2.7.2 (c)]: procedente de la parte central de México, se cultiva para obtener grano.

**Figura 2.7.1 (a):** Partes de la planta Amaranto\*



La semilla de amaranto es muy pequeña, de forma lenticular, mide entre 1 y 2 mm de diámetro. Para tener una idea sobre su peso: 1.000 semillas pesan 0.6-1.2 g. El color del grano es de tipo blanquecino bronceado.

**Figura 2.7.1 (b):** Semilla de *Amaranthus cruentus*\*



\*Fuente: <http://www.amaranth:future-food>.

## 2.7.2.- Variedades

A continuación se presentan las variedades más comunes de la planta Amaranto.

<i>Amaranthus acanthochiton</i> *	<i>Amaranthus floridanus</i>	<i>Amaranthus pringlei</i>
<i>Amaranthus acutilobius</i> *	<i>Amaranthus greggii</i>	<i>Amaranthus pumilus</i>
<i>Amaranthus albus</i> *	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	<i>Amaranthus quitensis</i>
<i>Amaranthus Arenicola</i> *	<i>Amaranthus hybridus</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>
<i>Amaranthus barownii</i>	<i>Amaranthus leucocarpus</i>	<i>Amaranthus rudis</i>
<i>Amaranthus californicus</i>	<i>Amaranthus lineatus</i>	<i>Amaranthus scleropoides</i>
<i>Amaranthus cannabinus</i>	<i>Amaranthus lividus</i>	<i>Amaranthus spinosus</i>
<i>Amaranthus caudatus</i> (peruano) ▲	<i>Amaranthus minimus</i>	<i>Amaranthus standleyanus</i>
<i>Amaranthus chihuahuensis</i>	<i>Amaranthus montegazzianus</i>	<i>Amaranthus taudatus</i>
<i>Amaranthus chlorostachys</i>	<i>Amaranthus muricatus</i>	<i>Amaranthus thunbergii</i>
<i>Amaranthus crassipes</i>	<i>Amaranthus obcordatus</i>	<i>Amaranthus torreyi</i>
<i>Amaranthus crispus</i>	<i>Amaranthus palmeri</i>	<i>Amaranthus tricolorus</i>
<i>Amaranthus cruentus</i> don león ▲	<i>Amaranthus paniculus</i>	<i>Amaranthus tuberculatus</i>
<i>Amaranthus cruentus</i> (mexicano) ▲	<i>Amaranthus polygonoides</i>	<i>Amaranthus viridis</i>
<i>Amaranthus fimbriatus</i>	<i>Amaranthus powelii</i>	<i>Amaranthus wrightii</i>

▲ Especies en estudio

(Hernández y Herrerías, 1998)\*.

Fuente: (Tomado de [http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Amaranthus\\_caudatus1](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Amaranthus_caudatus1), excepto las que tienen asterisco).

**Figura 2.7.2:** Algunas variedades de la planta Amaranto

**Figura 2.7.2 (a):** *Amaranthus caudatus*



Fuente: <http://edgarespinozamontesinos.blogspot.com>



*Figura 2.7.2 (b): Amaranthus cruentus*



Fuente: Evgeny, N. Ofitserov. (2001)

*Figura 2.7.2 (c): Amaranthus hypochondriacus*



Fuente: <http://www.brechas.org>

**Figura 2.7.2 (d): *Amaranthus montegazzianus***



Fuente: [www:Amaranth:Future-Food.net](http://www.Amaranth:Future-Food.net)

### **2.7.3.- Método de siembra en Nicaragua**

En la comunidad La Tejana, municipio El Viejo, departamento de Chinandega, es el único lugar donde se ha sembrado El Amaranto como parte de proyectos implementados por organismos extranjeros. Las principales variedades que sean cultivado son: *Amaranthus tricolor*, *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus mexicano* y *Amaranthus cruentus don león*, siendo estas tres últimas, las variedades que se seleccionaron para este estudio por ser las que resistieron a las condiciones climáticas y características del suelo de esta zona y presentaron un mejor grado adaptabilidad.

El amaranto se produce en un ciclo corto, aproximadamente de 150 a 180 días, según la especie y la variedad. En el área de estudio (comunidad La Tejana) el cultivo duró aproximadamente 4 meses (120 días). Todas las variedades se sembraron en la misma época, el cual está comprendido entre Mayo, que es el inicio de las primeras lluvias, y la postrera después de la estación de sequía conocida como Canícula. La distribución de especies se hizo en orden aleatorio porque hay problemas de homogeneidad. La distancia entre surco fue de 60cm y entre planta fue de 10cm. Es importante resaltar que no se utilizó ningún tipo de plaguicida en ningún momento de su crecimiento y desarrollo.

En nuestro país, el costo de producción puede variar, de acuerdo con las condiciones del terreno y fenómenos climáticos. En cuanto al costo de la semilla, un quintal tiene un costo de \$68.

El grano almacenado libre de plagas y enfermedades conserva su potencial nutritivo, entre los 5 y 7 años si se mantiene en un lugar seco, fresco y ventilado, (<http://www.amaranto.org.mx>).

En cada contexto se implementan diferentes métodos de siembra, los que están determinados por el clima y características propias de cada suelo. Estos factores fueron determinantes para que unas variedades se desarrollaran y adaptaran más que otras. El método puesto en marcha por los técnicos e ingenieros de la comunidad La Tejana presenta las siguientes ventajas:

- 1) Sembrar el amaranto en regiones con poca lluvia.
- 2) Reducir al mínimo el riesgo de que el cultivo se marchite si las lluvias escasean o se presentan en forma muy irregular.
- 3) Sembrar con poca inversión.
- 4) Utilizar terrenos pequeños.
- 5) Tener buena producción de semilla.
- 6) Alternativas y procesos de participación social.

#### **2.7.4.- El Amaranto como planta remediadora**

Con el objetivo de encontrar métodos (tales como la fitorremediación) para limpiar suelos contaminados con plaguicidas y particularmente con metales pesados se han emprendido numerosos esfuerzos. También, con este mismo objetivo se han estudiado plantas que presentan una alta capacidad de acumular metales pesados, (Gambu, F., 1997; Jasiewicz Cz., Antonkiewicz J., 2000).

En este estudio se espera comprobar la capacidad remediadora de Amaranto en suelos contaminados con plaguicidas organoclorados en la comunidad La Tejana, cuantificando la concentración de éstos en sus partes principales: raíces, tallos, hojas, semillas, para lo cual se ha tomado como referencia los artículos científicos existentes, que son unos pocos, sobre su eficiencia en la extracción y bioacumulación de metales pesados, (Nalborczyk E., 1995).

Cabe mencionar que hasta ahora las únicas potencialidades conocidas de Amaranto en cuanto a la fitorremediación y recuperación de suelos prácticamente no se han explotado, (Evgeny, N. O., 2001).

Una vez investigado el potencial fitorremediador de Amaranto, se seleccionaron las tres variedades (*Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*) que fueron las que mejor se adaptaron a las condiciones del suelo y del clima de esta zona en específico. Se realizaron los muestreos y análisis correspondientes y se estudió su comportamiento como receptoras de plaguicidas organoclorados determinando la concentración de éstos en el suelo antes de su siembra y posterior a su cosecha se realizaron las determinaciones tanto en el suelo como en las partes de cada planta de cada una de las variedades. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente apartado.



# CAPÍTULO III: HIPÓTESIS



## HIPÓTESIS

Las tres variedades de la planta Amaranto (*Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*) tienen acción biorremediadora en suelos, contaminados con plaguicidas organoclorados ( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH -Lindano-, Heptacloro-epóxido, Aldrín, Dieldrín, 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD,  $\beta$ -Endosulfano, Toxafeno y sus congéneros), en la comunidad La Tejana, municipio El Viejo departamento de Chinandega, Nicaragua.



# **CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO**

## **4. DISEÑO METODOLÓGICO**

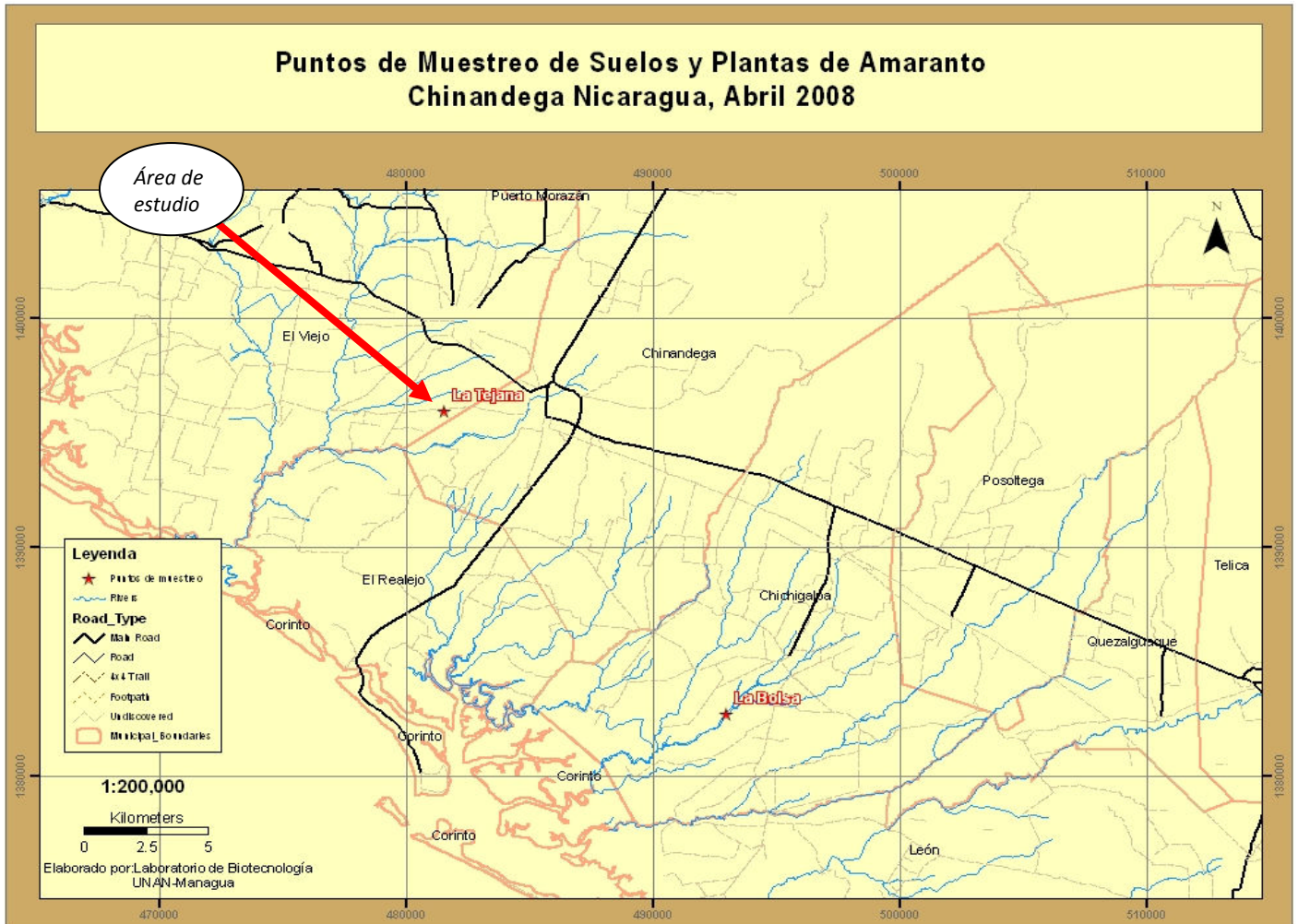
### **4.1.- Ubicación del área de estudio**

Este estudio se llevó a cabo en los suelos de la comunidad “La Tejana”, ubicada al oeste de la ciudad de Chinandega a 5 km aproximadamente, sobre la carretera que conduce a la hacienda La Chilama. Entre el límite municipal Chinandega-El Viejo y en las siguientes coordenadas: 12°37'37” latitud Norte y 87°10'33” Longitud Oeste del municipio El Viejo, departamento de Chinandega durante el período 2007-2008.

### **4.2.- Tipo de estudio**

La presente investigación es experimental porque se evaluó la eficacia de la planta de Amarantho, en tres diferentes variedades, para reducir el nivel de concentración de organoclorados en los suelos del ámbito de estudio. Además, es de corte transversal debido a que se analizó la información y los datos generados durante en el período 2007.

**Figura 4.2:** Ubicación de la comunidad “La Tejana”, Chinandega



### 4.3.- Universo y muestra

El universo de este estudio está constituido por los suelos de la comunidad La Tejana, municipio El Viejo, departamento de Chinandega.

La muestra está constituida por  $\frac{1}{4}$  de hectárea de suelo de la comunidad La Tejana, municipio El Viejo, departamento de Chinandega.

### 4.4.- Criterio de selección del sitio de muestreo

Se realizó por conveniencia de acuerdo a los siguientes criterios:

- El lugar siempre ha sido un lugar de cultivo.
- Son suelos que han sido expuestos a los plaguicidas organoclorados desde que se inició el cultivo de algodón.
- Por la persistencia y el tipo de plaguicida usado en la zona.

### 4.5.- Materiales necesarios para la toma de muestra

Mapa de localización del punto de muestreo	Piocha o pico
Guantes desechables	Machetes
Formato de campo	Coba
Termómetro	Azadón
Lapicero	Termo
Marcador indelible	Bandejas
Etiquetas de identificación	Balde
Pala o palín	Bolsas plásticas
Rastrillo	Papel aluminio

### 4.6.- Variables

#### Aromáticos clorados

1. 4,4'-DDT
2. 4,4'-DDE
3. 4,4'-DDD

#### Cicloalcanos clorados

4.  $\alpha$ -HCH
5.  $\beta$ -HCH
6.  $\gamma$ -HCH (Lindano)

#### Ciclodiénicos clorados

7. Aldrín
8. Dieldrín
9. Heptacloro-epóxido
10.  $\beta$ -Endosulfano

#### Terpenos clorados

11. Toxafeno
12. Parlar 11
13. Parlar 15
14. Parlar 31
15. Parlar 32
16. Parlar 39/40
17. Parlar 44
18. Parlar 50

#### **4.6.1.- Operacionalización de las variables**

Matriz de Operacionalización de Variables

Objetivo general	Objetivos específicos	Variable	Subvariables	Indicadores <sup>(1,2)</sup>	Método para obtener de datos
<p>Valorar el efecto fitorremediador de tres variedades de planta Amaranto (<i>Amaranthus cruentus</i> mexicano, <i>Amaranthus caudatus</i> peruano, <i>Amaranthus cruentus don león</i>) en suelos contaminados con plaguicidas organoclorados (<math>\alpha</math>-HCH, <math>\beta</math>-HCH, <math>\gamma</math>-HCH—Lindano-, Heptacloro-epóxido, Aldrin, Dieldrin, 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD, <math>\beta</math>-Endosulfano, del Toxafeno y sus congéneros) en la comunidad La Tejana, municipio El Viejo departamento de Chinandega, durante el periodo 2007-2009.</p>	<p>1. Determinar la concentración de los plaguicidas organoclorados <u>en los suelos</u> mediante el Método Soxhlet <u>antes del cultivo</u> de las tres variedades de planta Amaranto.</p>	<p>Concentraciones de los plaguicidas organoclorados antes del cultivo de Amaranto.</p>	<p>1. Aromáticos clorados 2. Cicloalcanos clorados 3. Ciclodienicos clorados 4. Terpenos clorados</p>	<p>Cantidad en mg de plaguicida organoclorado por kg de muestra</p> <p><u>Aromáticos clorados</u> 1. 4,4'-DDT 2. 4,4'-DDE 3. 4,4'-DDD</p> <p><u>Cicloalcanos clorados</u> 4. <math>\alpha</math>-HCH 5. <math>\beta</math>-HCH 6. <math>\gamma</math>-HCH (Lindano)</p> <p><u>Ciclodienicos clorados</u> 7. Aldrin 8. Dieldrin 9. Heptacloro-epóxido 10. <math>\beta</math>-Endosulfano</p> <p><u>Terpenos clorados</u> 11. Toxafeno 12. Parlar 15 13. Parlar 31 14. Parlar 39/40 15. Parlar 44 16. Parlar 50</p>	<p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 1 y 3 y "hexano" para 2.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 4, 5 y 6.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "diclorometano" para 8, 9 y 10 y "hexano" para 7.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 11, 12, 13, 14, 15 y 16.</p>
<p>2. Determinar la concentración de los plaguicidas organoclorados <u>en los suelos y en cada parte de la planta</u> (raíz, tallo, hoja, semilla) mediante el Método Soxhlet <u>después del cultivo</u> de las tres variedades de Amaranto.</p>	<p>Concentraciones de los plaguicidas organoclorados posterior al cultivo de Amaranto.</p>	<p>Concentraciones de los plaguicidas organoclorados posterior al cultivo de Amaranto.</p>	<p>1. Aromáticos clorados 2. Cicloalcanos clorados 3. Ciclodienicos clorados 4. Terpenos clorados</p>	<p>Cantidad en mg de plaguicida organoclorado por kg de muestra</p> <p><u>Aromáticos clorados</u> 1. 4,4'-DDT 2. 4,4'-DDE 3. 4,4'-DDD</p> <p><u>Cicloalcanos clorados</u> 4. <math>\alpha</math>-HCH 5. <math>\beta</math>-HCH 6. <math>\gamma</math>-HCH (Lindano)</p> <p><u>Ciclodienicos clorados</u> 7. Aldrin 8. Dieldrin 9. Heptacloro-epóxido 10. <math>\beta</math>-Endosulfano</p>	<p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 1 y 3 y "hexano" para 2.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 4, 5 y 6.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "diclorometano" para 8, 9 y 10 y "hexano" para 7.</p>

	<p>3. Identificar la <b>variedad</b> de la planta de Amaranth que <b>absorbe</b> la <b>mayor cantidad de plaguicidas organoclorados.</b></p>	<p>Concentraciones de los plaguicidas organoclorados posterior al cultivo de Amaranth absorbido por cada variedad</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aromáticos clorados</li> <li>2. Cicloalcanos clorados</li> <li>3. Ciclodiénicos clorados</li> <li>4. Terpenos clorados</li> </ol>	<p><u>Terpenos clorados</u>  11. Toxafeno  12. Parlar 15  13. Parlar 31  14. Parlar 39/40  15. Parlar 44  16. Parlar 50</p> <p>Cantidad en mg de plaguicida organoclorado por kg de muestra</p> <p><u>Aromáticos clorados</u>  1. 4,4'-DDT  2. 4,4'-DDE  3. 4,4'-DDD</p> <p><u>Cicloalcanos clorados</u>  4. <math>\alpha</math>-HCH  5. <math>\beta</math>-HCH  6. <math>\gamma</math>-HCH (Lindano)</p> <p><u>Ciclodiénicos clorados</u>  7. Aldrin  8. Dieldrin  9. Heptacloro-epóxido  10. <math>\beta</math>-Endosulfano</p> <p><u>Terpenos clorados</u>  11. Toxafeno  12. Parlar 15  13. Parlar 31  14. Parlar 39/40  15. Parlar 44  16. Parlar 50</p>		<p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 11, 12, 13, 14, 15 y 16.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 1 y 3 y "hexano" para 2.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 4, 5 y 6.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "diclorometano" para 8, 9 y 10 y "hexano" para 7.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 11, 12, 13, 14, 15 y 16.</p>
--	--	---	---	---	--	---



	<p>4. Identificar en qué parte de la planta de amaranto se <u>absorbe</u> la <u>mayor cantidad de plaguicidas organoclorados.</u></p>	<p>Concentraciones de los plaguicidas organoclorados posterior al cultivo de Amaranto absorbido por cada parte de la planta por cada variedad</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aromáticos clorados</li> <li>2. Cicloalcanos clorados</li> <li>3. Ciclodiénicos clorados</li> <li>4. Terpenos clorados</li> </ol>	<p>Cantidad en mg de plaguicida organoclorado por kg de muestra</p> <p><u>Aromáticos clorados</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 4,4'-DDT</li> <li>2. 4,4'-DDE</li> <li>3. 4,4'-DDD</li> </ol> <p><u>Cicloalcanos clorados</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. <math>\alpha</math>-HCH</li> <li>5. <math>\beta</math>-HCH</li> <li>6. <math>\gamma</math>-HCH (Lindano)</li> </ol> <p><u>Ciclodiénicos clorados</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Aldrin</li> <li>8. Dieldrin</li> <li>9. Heptacloro-epóxido</li> <li>10. <math>\beta</math>-Endosulfano</li> </ol> <p><u>Terpenos clorados</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>11. Toxafeno</li> <li>12. Parlar 15</li> <li>13. Parlar 31</li> <li>14. Parlar 39/40</li> <li>15. Parlar 44</li> <li>16. Parlar 50</li> </ol>	<p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 1 y 3 y "hexano" para 2.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 4, 5 y 6.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "diclorometano" para 8, 9 y 10 y "hexano" para 7.</p> <p>Método "Soxhlet", usando solvente "hexano:diclorometano" para 11, 12, 13, 14, 15 y 16.</p>
--	---	---	---	---	---

<sup>[1]</sup> **Escala:** Variables cuya medición corresponde a Variables Cuantitativas Continuas.

<sup>[2]</sup> **Valores:** La medición de todas las variables es en mg/kg o ppm.

## **4.7.- Material y Método**

### **4.7.1.- Materiales para recolectar información**

Para recopilar y obtener la información se utilizaron los siguientes materiales: cuaderno de apuntes, textos, artículos científicos, cámara fotográfica, documentos, internet. También se consultó a los ingenieros responsables del Proyecto Amaranto en la comunidad La Tejana para conocer sobre el método de siembra y el uso de la planta Amaranto.

### **4.7.2. Programas para procesar los datos e información**

- ✓ SPSS (Statistic Package for the Social Sciences) versión 17.0
- ✓ Microsoft Excel 2007
- ✓ Microsoft Word 2007

### **4.7.3.- Método**

El método utilizado para obtener los datos de concentración de plaguicidas organoclorados fue el Método de Extracción Soxhlet implementado en el laboratorio de Biotecnología de la UNAN- Managua, cuyo código interno es: MAS-BIOTEC-001, éste es aplicable para realizar análisis en muestras de suelos, sedimentos y plantas con alto o bajo contenido de materia orgánica.

En este método se utilizó diez (10) gramos muestra (suelo y planta seca) y se extractaron con 200 ml de una mezcla hexano:diclorometano (1:1) durante 8 horas, posteriormente se concentró en el rota-evaporador hasta un volumen de 1 ml y se aplicó flujo de nitrógeno hasta un volumen de 2 ml. Seguidamente al extracto se le realizó destrucción de azufre y se procedió a realizar una limpieza y separación por columna del reactivo Florisil para fraccionar los analitos presentes en la muestra. Las fracciones se inyectaron por separado en un cromatógrafo de gases con detector de captura electrónica y columna capilar.

Cabe destacar que las fracciones obtenidas al final del procedimiento fueron 3 para cada una de las matrices a analizar (suelo, raíces, tallos, hojas, semillas); éstas se refieren a la extracción y separación con diferentes solventes en función de la solubilidad de los distintos plaguicidas organoclorados en estudio.

Por tanto en la Fracción 1 (F1) se utilizó hexano y estarían presentes los plaguicidas: HCB, Heptacloro, Aldrín y 4,4'-DDE. En la Fracción 2 (F2) se utilizó una mezcla de hexano:diclorometano y estarían presentes  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH (Lindano),  $\delta$ -HCH, 4,4'-DDD , 4,4'-DDT y congéneres del toxafeno y en la Fracción 3 (F3) se utilizó diclorometano y estarían presentes: Heptacloro-epóxido,  $\alpha$  y  $\beta$ -endosulfano, Dieldrín y Endrín.



# **CAPÍTULO V: RESULTADOS**

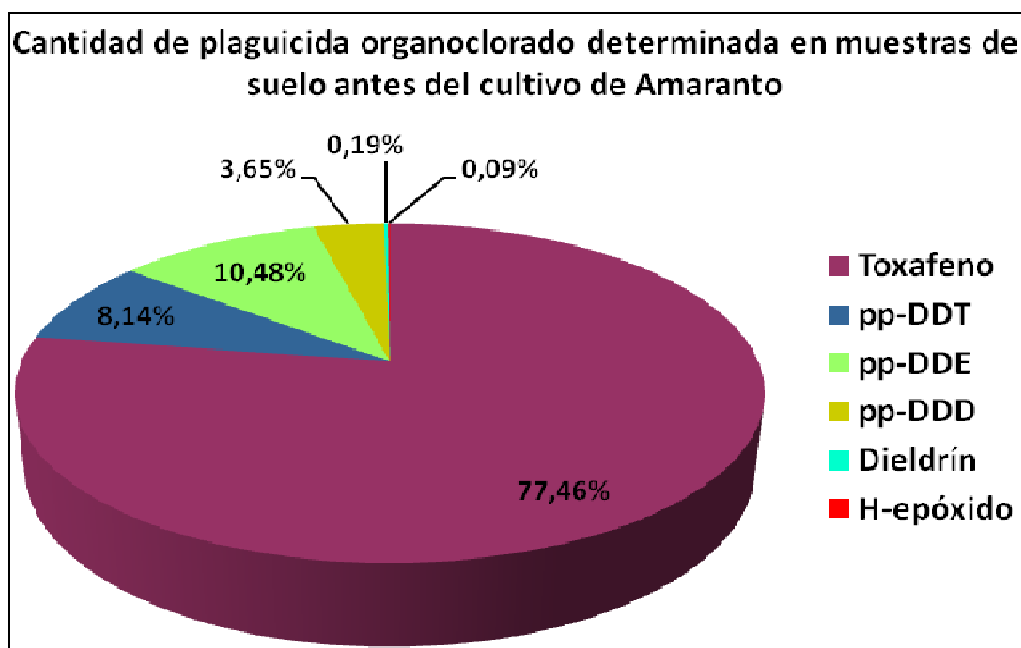
## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

Los siguientes datos de concentración se obtuvieron aplicando el Método de Extracción Soxhlet.

5.1- Se calculó y se determinó la concentración de los plaguicidas organoclorados en muestras de suelo antes del cultivo de las 3 variedades de Amaranto, los datos se muestran a continuación:

Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de suelo antes del cultivo de Amaranato						
Plaguicida	Toxafeno	4,4'-DDT	4,4'-DDE	4,4'-DDD	Dieldrín	H-epóxido
Resultado en mg/Kg (ppm)	828	87	112	39	2	1

**Nota:** Para analizar los plaguicidas organoclorados en las muestras de suelo antes del cultivo de las tres variedades de Amaranato se utilizó un Cromatógrafo de Gases con detector de Captura de Electrones.

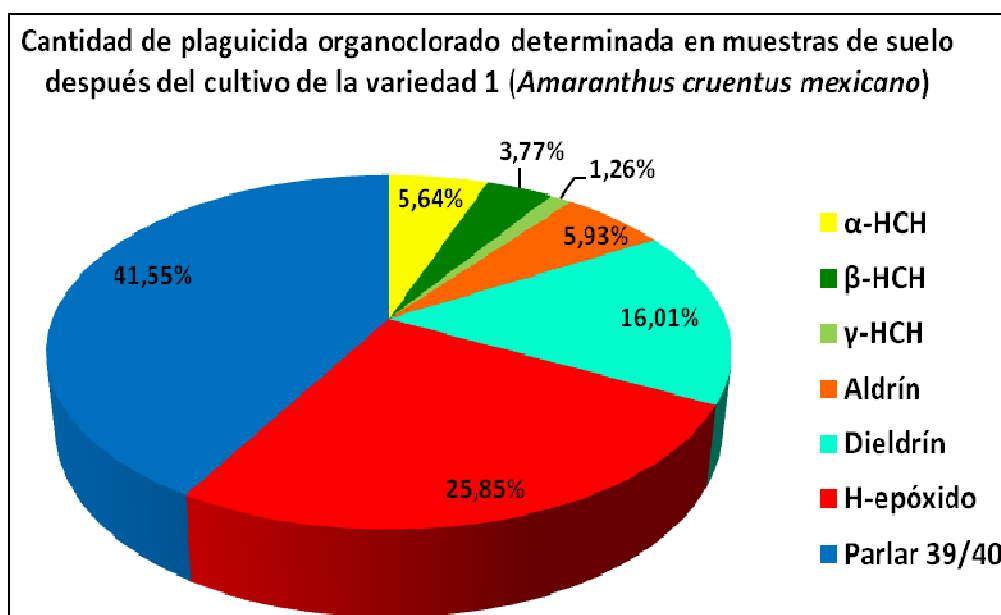


En las muestras de suelo analizadas antes del cultivo de Amaranato se detectaron 6 plaguicidas organoclorados. Los tres plaguicidas encontrados en mayor concentración fueron: Toxafeno (77,46%), seguido de 4,4'-DDE (10,48%) y H-epóxido (0,09%).

5.2- Se determinó y se calculó la concentración de los plaguicidas organoclorados en las muestras de suelo y en muestras de cada parte de la planta (raíz, tallo, hoja, semilla) después de haber cultivado las 3 variedades de Amaranto.

**VARIEDAD 1 (*Amaranthus cruentus mexicano*)**

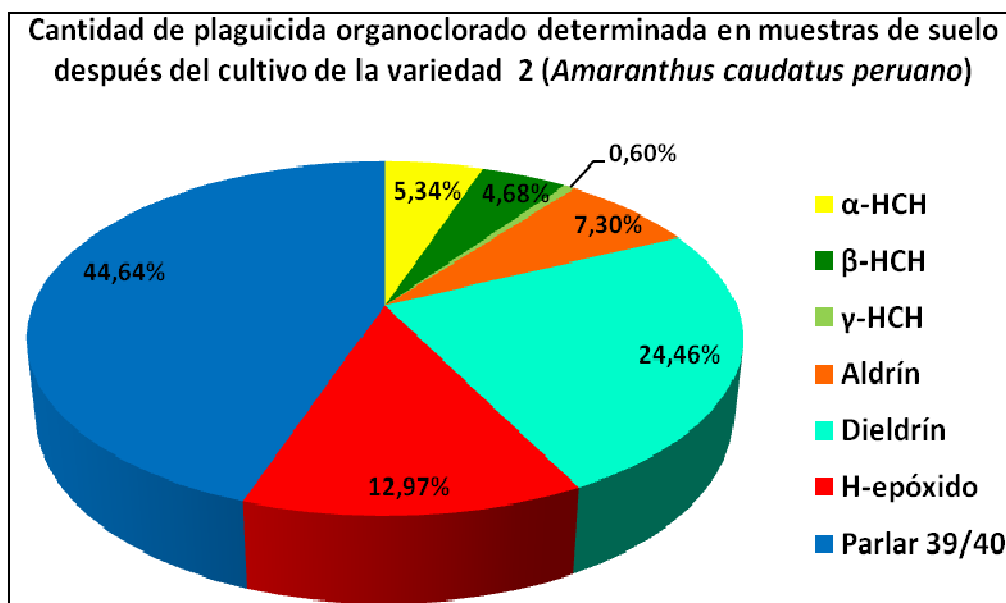
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de suelo después del cultivo de la variedad 1							
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	0.4556	0.3049	0.1016	0.4794	1.2936	2.0889	3.3576



Los resultados mostraron la presencia de 6 plaguicidas organoclorados y 1 congénero del Toxafeno. El plaguicida encontrado en mayor concentración fue el parlar 39/40 con un 41,55%, seguido por H-epóxido con un 25,85% y Dieldrín con 16,01%.

### VARIEDAD 2 (*Amaranthus caudatus peruano*)

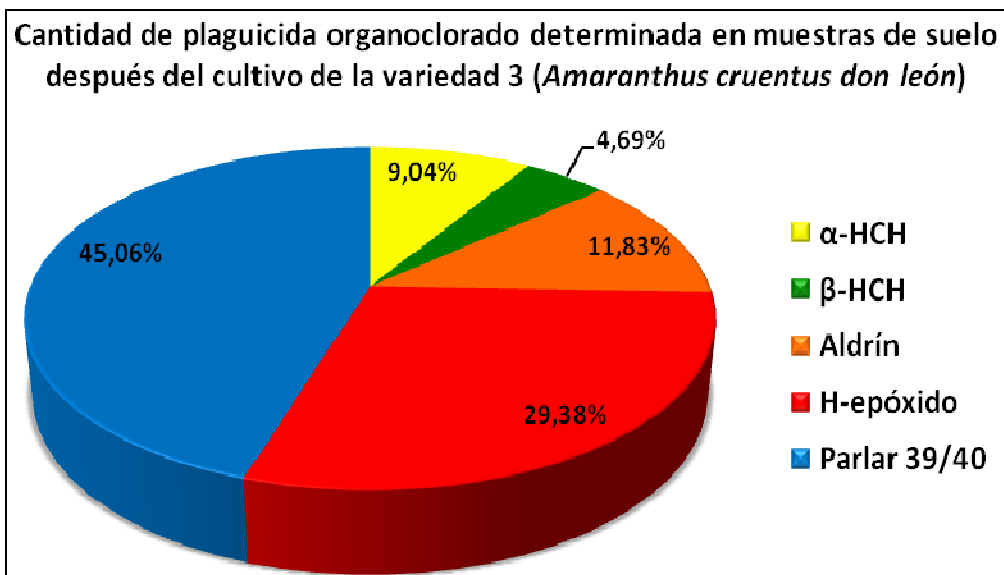
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de suelo después del cultivo de la variedad 2							
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	0.2452	0.2151	0.0277	0.3354	1.1236	0.5960	2.0507



Se encontraron 6 plaguicidas organoclorados y 1 congénero del Toxafeno. Se detectaron altas concentraciones del Parlar 39/40, representando un 44,64% de los plaguicidas encontrados en total. Otro plaguicida que sobresale es Dieldrín con un 24,46% seguido por H-epóxido con 12,97%.

### VARIEDAD 3 (*Amaranthus cruentus don león*)

Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de suelo después del cultivo de la variedad 3					
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	1.2687	0.6579	1.6606	4.1230	6.3246



Se detectaron 4 plaguicidas organoclorados y 1 congénero del Toxafeno, destacándose por sus altas concentraciones el Parlar 39/40 con un 45,06%, H-epóxido con 29,38 y Aldrín con 11,83%.



5.3- Se calculó la totalidad de plaguicidas organoclorados que fueron detectados en cada una de las tres variedades.

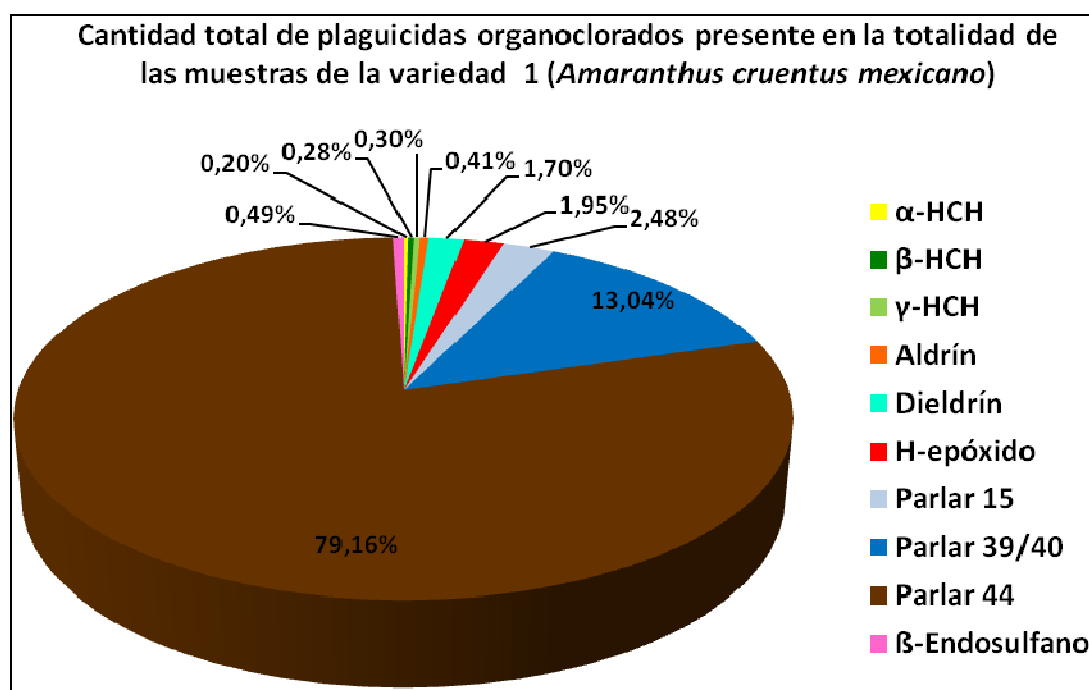
### VARIEDAD 1 (*Amaranthus cruentus mexicano*)

Cantidad total de plaguicidas organoclorados presente en la totalidad de las muestras de la variedad 1										
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 39/40	Parlar 44	$\beta$ -Endosulfano
Raíz (mm/kg)	0.2778	0.0781	ND	0.6326	0.4856	0.8438	ND	2.1122	ND	ND
Tallo (mm/kg)	0.0380	0.4207	0.9902	0.3478	3.6591	2.6172	8.2230	ND	ND	0.7697
Hoja (mm/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	1.9061	ND	30.0634	ND	ND
Semilla (mm/kg)	0.3474	0.4436	ND	0.3820	1.4910	1.1157	ND	11.1313	262.8720	0.8443
$\Sigma_T$ (mg/kg)	0.6632	0.9424	0.9902	1.3624	5.6358	6.4827	8.2230	43.3069	262.8720	1.6140

Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 39/40	Parlar 44	$\beta$ -Endosulfano
$\Sigma_T$ (mg/kg)	0.6632	0.9424	0.9902	1.3624	5.6358	6.4827	8.2230	43.3069	262.8720	1.6140

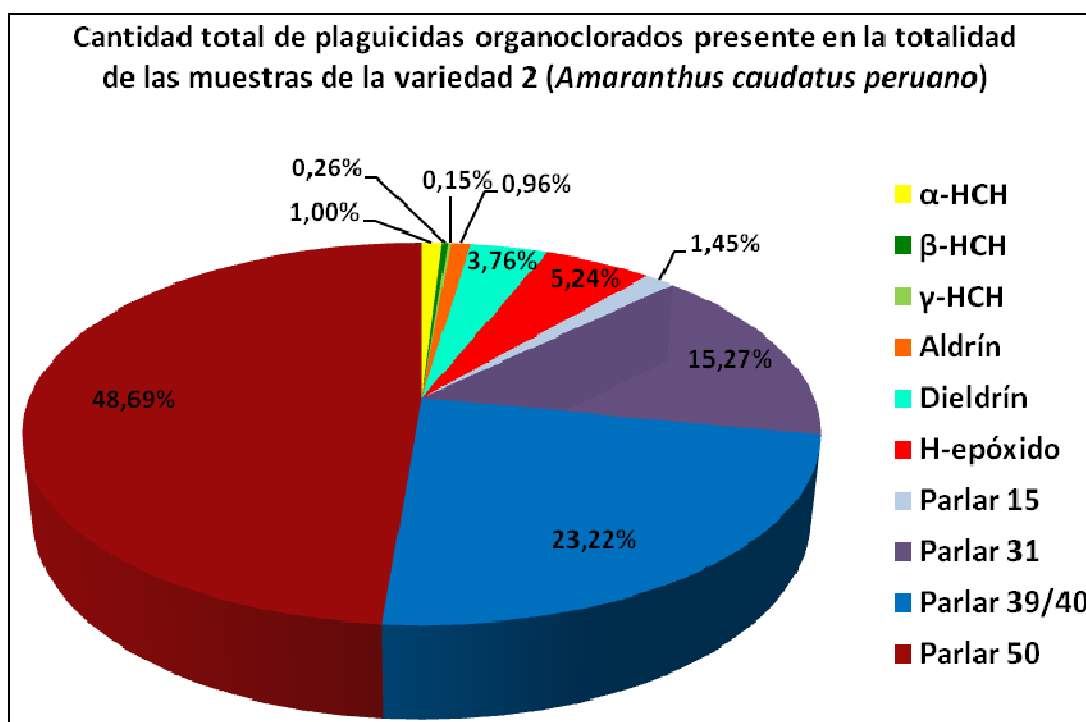
ND: No detectado



### VARIEDAD 2 (*Amaranthus caudatus peruano*)

Cantidad total de plaguicidas organoclorados presente en la totalidad de las muestras de la variedad 2										
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 31	Parlar 39/40	Parlar 50
Raíz (mm/kg)	0.4989	0.2789	0.2177	1.0410	1.1582	1.8429	ND	ND	5.0411	ND
Tallo (mm/kg)	0.4813	0.3701	0.1932	0.5790	8.4257	4.6602	4.0129	ND	18.4433	134.6159
Hoja (mm/kg)	0.7602	ND	ND	0.4300	ND	3.7471	ND	ND	34.2378	ND
Semilla (mm/kg)	0.5179	0.0373	ND	0.2985	0.4069	2.1183	ND	21.1079	3.2318	ND
$\Sigma_T$ (mg/kg)	2.2583	0.6863	0.4110	2.3485	9.9908	12.3685	4.0129	21.1078	60.9541	134.6158
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 31	Parlar 39/40	Parlar 50
$\Sigma_T$ (mg/kg)	2.7762	0.7237	0.4110	2.6470	10.3976	14.4869	4.0129	42.2157	64.1859	134.6158

*ND: No detectado*

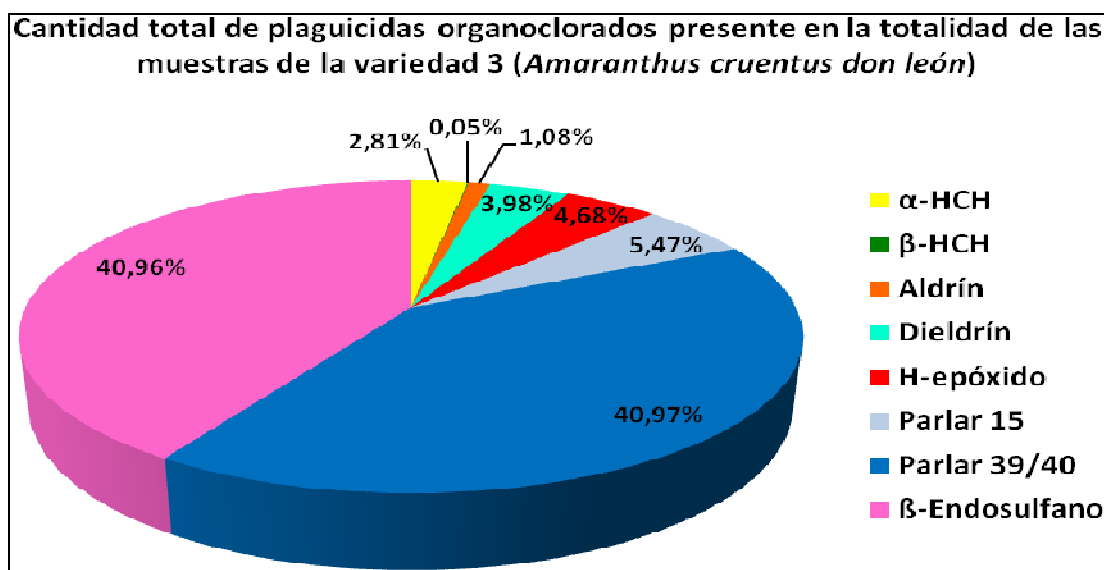


### VARIEDAD 3 (*Amaranthus cruentus don león*)

Cantidad total de plaguicidas organoclorados presente en la totalidad de las muestras de la variedad 3								
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 39/40	$\beta$ -Endosulfano
Raíz (mm/kg)	0.8311	ND	1.3152	1.8423	2.2858	3.3015	8.5120	ND
Tallo (mm/kg)	1.4049	0.0465	0.9558	7.5817	6.8859	5.2233	32.8003	ND
Hoja (mm/kg)	7.3866	ND	1.2252	3.4784	6.3451	ND	99.0711	0.9996
Semilla (mm/kg)	0.3450	0.1432	0.3219	1.2019	1.0903	10.8850	4.9707	144.2957
$\Sigma_T$ (mg/kg)	9.9677	0.1896	3.8182	14.1044	166.070	19.4098	145.3540	145.2953

Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 39/40	$\beta$ -Endosulfano
$\Sigma_T$ (mg/kg)	9.9677	0.1896	3.8182	14.1044	16.6070	19.4098	145.3540	145.2953

ND: No detectado



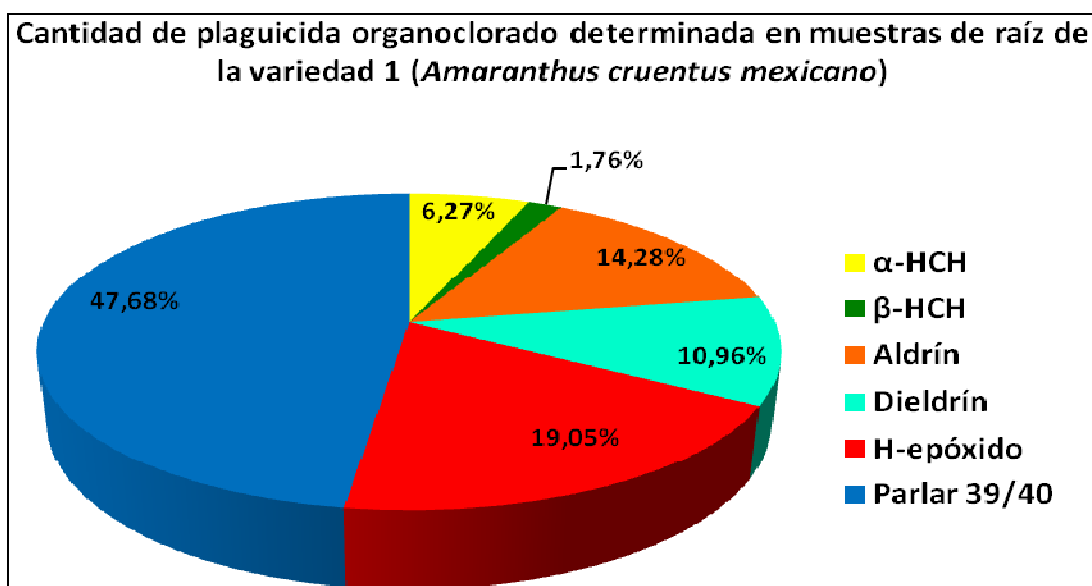
De las tres variedades de Amarantho en estudio: *Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*, las dos primeras (variedad 1 y 2) absorbieron 10 plaguicidas organoclorados, mientras que la última (variedad 3) 8 plaguicidas en total. Se observó que la variedad 1 absorbió mayormente el Parlar 44 (79,16%) y el Parlar 39/40 (13,04%), el resto de los plaguicidas sumaron en total 7,8%; en tanto que la variedad 2 absorbió en altas concentraciones los Parlars: 50 (48,69%), 39/40 (23,22%) y 31 (15,27%). La variedad 3 absorbió grandes cantidades de Parlar 39/40 (40,97%) y  $\beta$ -Endosulfano (40,96%).

5.4- Por último se identificó la parte de la planta por cada variedad donde se absorbió la mayor cantidad de plaguicidas organoclorados.

### VARIEDAD 1 (*Amaranthus cruentus* mexicano)

#### A. Raíz

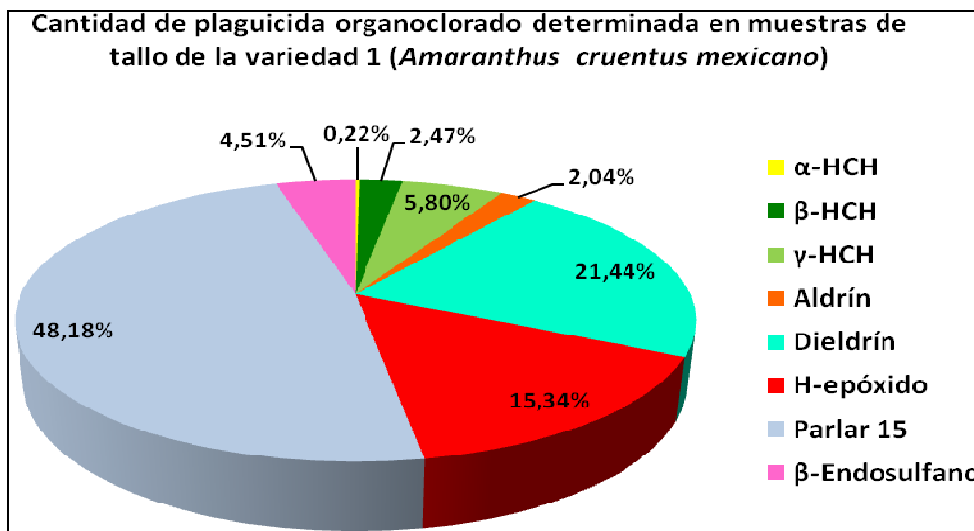
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de raíz de la variedad 1						
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	0.2778	0.0781	0.6326	0.4856	0.8438	2.1122



Se detectaron 6 plaguicidas organoclorados, encontrándose en mayor concentración el Parlar 39/40 representando un 47,68% de todos los plaguicidas absorbidos por esta variedad.

### B. Tallo

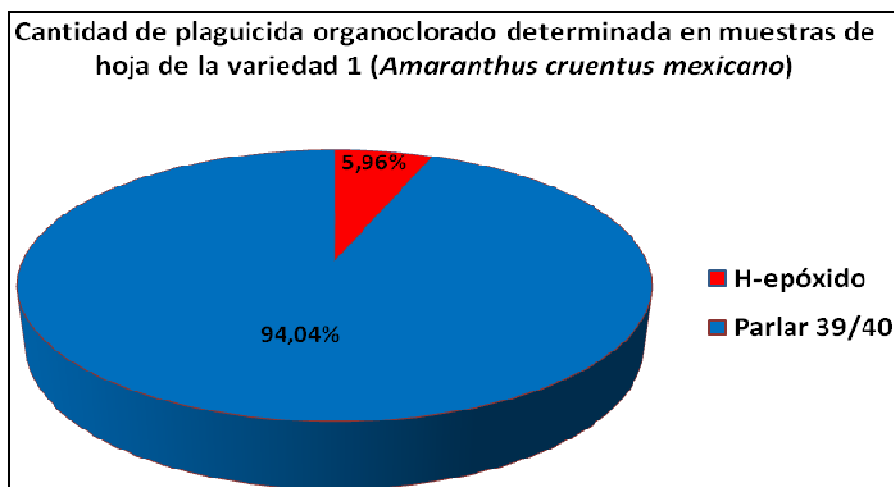
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de tallo de la variedad 1								
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	$\beta$ -Endosulfano
Resultado (ppm)	0.0380	0.4207	0.9902	0.3478	3.6591	2.6172	8.2230	0.7697



Se detectaron 8 plaguicidas organoclorados, absorbiendo en mayor concentración el Parlar 15 con 48,18%, H-epóxido con 15,34% y Dieldrín con 21,44%.

### C. Hoja

Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de hoja de la variedad 1		
Plaguicida	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	1.9061	30.0634



Solamente se detectaron 2 plaguicidas organoclorados, se encontró en mayor concentración el Parlar 39/40 con 94,04%.

### D. Semilla

Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de semilla de la variedad 1								
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 39/40	Parlar 44	$\beta$ -Endosulfano
Resultado (ppm)	0.3474	0.4436	0.3820	1.4910	1.1157	11.1313	262.8720	0.8443



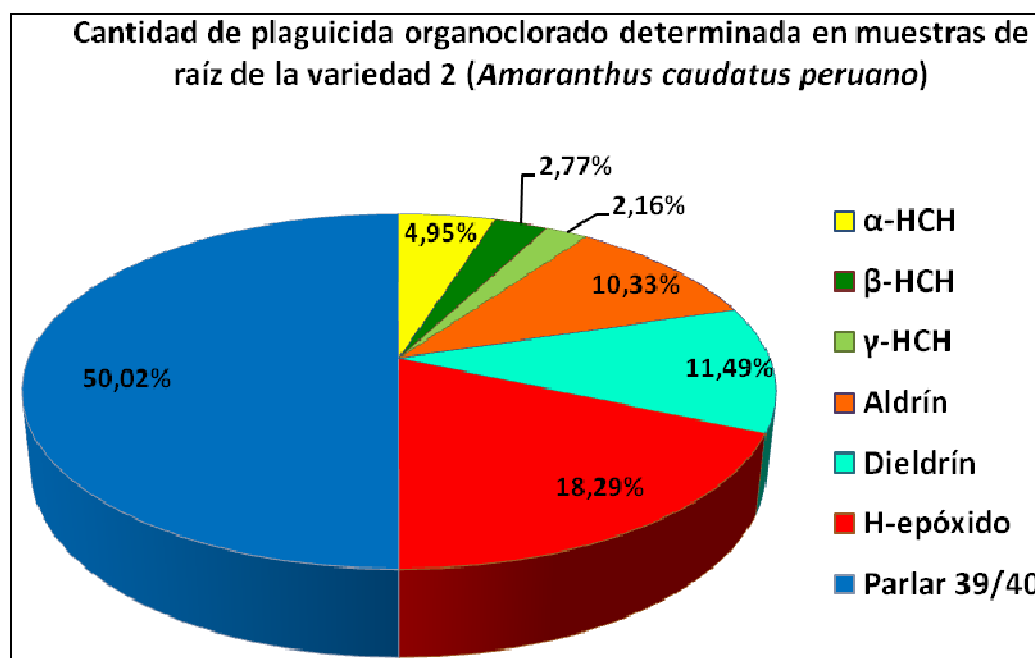
Ocho plaguicidas organoclorados detectados, destacan por sus altas concentraciones: Parlar 44 con 94,35% y Parlar 39/40.

Los resultados muestran que la semilla y el tallo de la variedad 1 (*Amaranthus cruentus mexicano*) absorbieron igual cantidad de plaguicidas organoclorados, en total fueron 8. El tallo absorbió en mayor concentración el Parlar 15 con 48,18%, mientras que la semilla el Parlar 44 con 94,35%.

## VARIEDAD 2 (*Amaranthus caudatus peruano*)

### A. Raíz

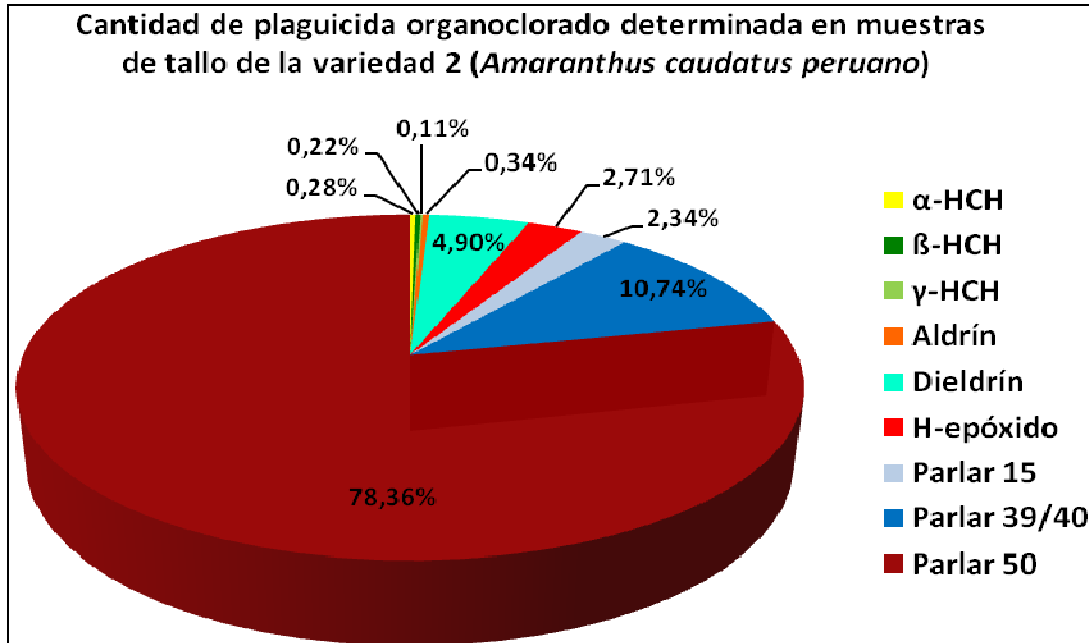
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de raíz de la variedad 2							
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	0.4989	0.2789	0.2177	1,0410	1.1582	1.8429	5.0411



Se detectaron 7 plaguicidas organoclorados, siendo el Parlar 39/40 el que se encontró en altas concentraciones (50,02%).

## B. Tallo

Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de tallo de la variedad 2									
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 39/40	Parlar 50
Resultado (ppm)	0.4813	0.3701	0.1932	0.5790	8.4257	4.6602	4.0129	18.4433	134.6159

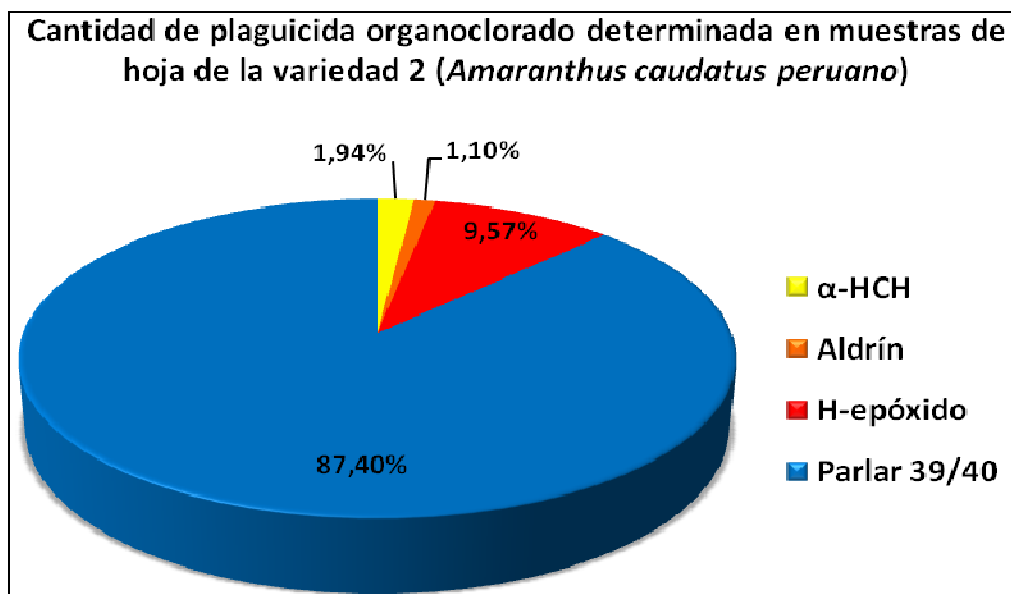


De los 9 plaguicidas organoclorados absorbidos en muestras de esta parte de la planta, el Parlar 50 representa un 78,36% del total.



### C. Hoja

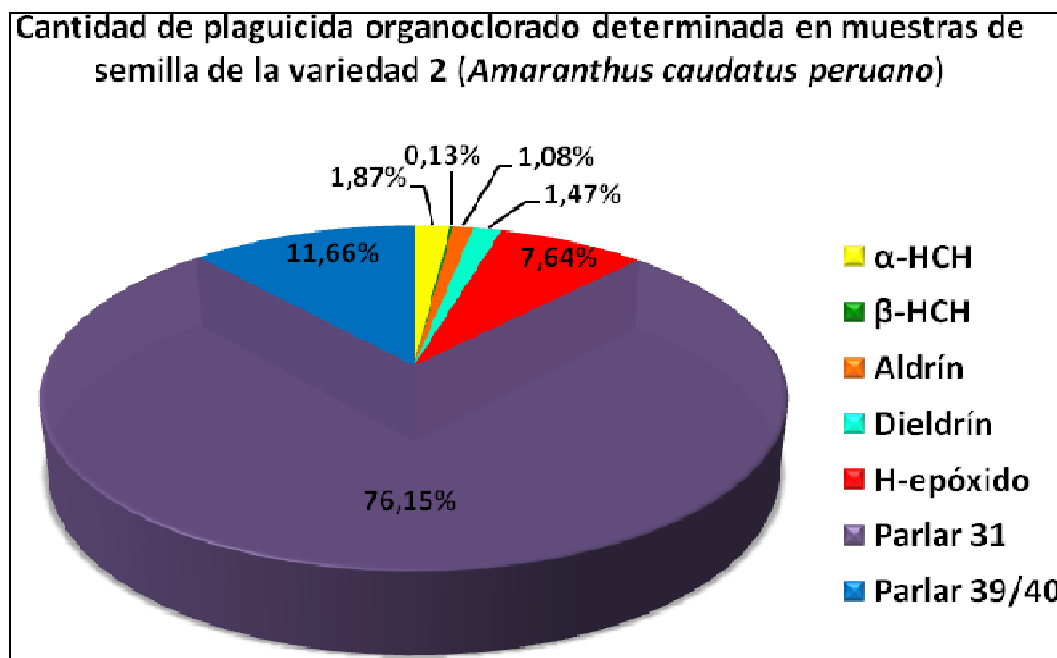
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de hoja de la variedad 2				
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	Aldrín	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	0.7602	0.4300	3.7471	34.2378



Se detectaron 4 plaguicidas organoclorados, encontrándose en altas concentraciones el Parlar 39/40 representando un 87,40% de la totalidad.

### D. Semilla

Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de semilla de la variedad 2							
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 31	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	0.5179	0.0373	0.2985	0.4069	2.1183	21.1079	3.2318



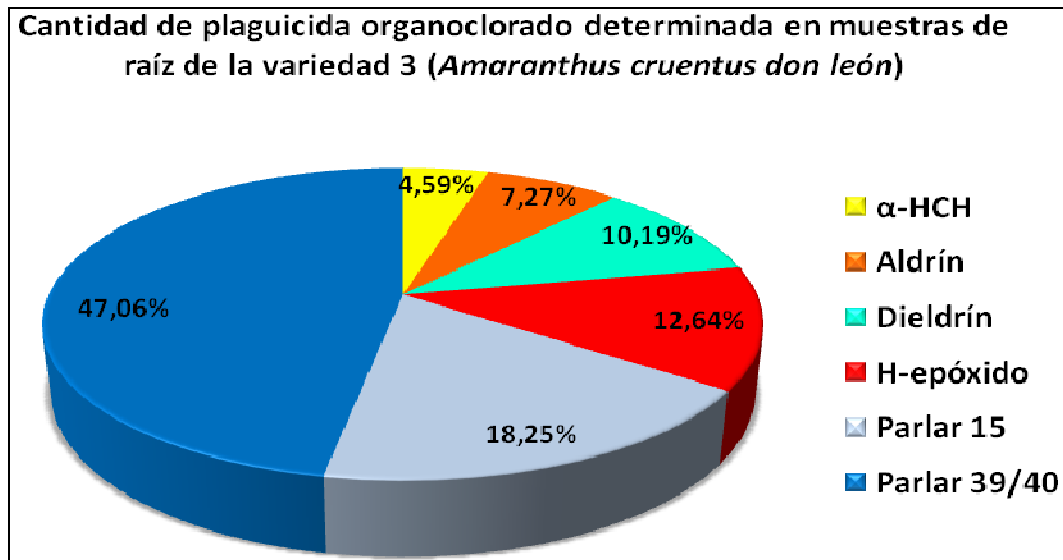
Se encontraron 7 plaguicidas organoclorados. La concentración más alta corresponde al Parlar 31 con 76,15% del total.

Para esta variedad, la parte de la planta en donde se concentró la mayor cantidad de plaguicidas organoclorados fue el tallo, siendo el Parlar 50 el que fue absorbido en altas concentraciones (78,36% del total).

### VARIEDAD 3 (*Amaranthus cruentus don león*)

#### A. Raíz

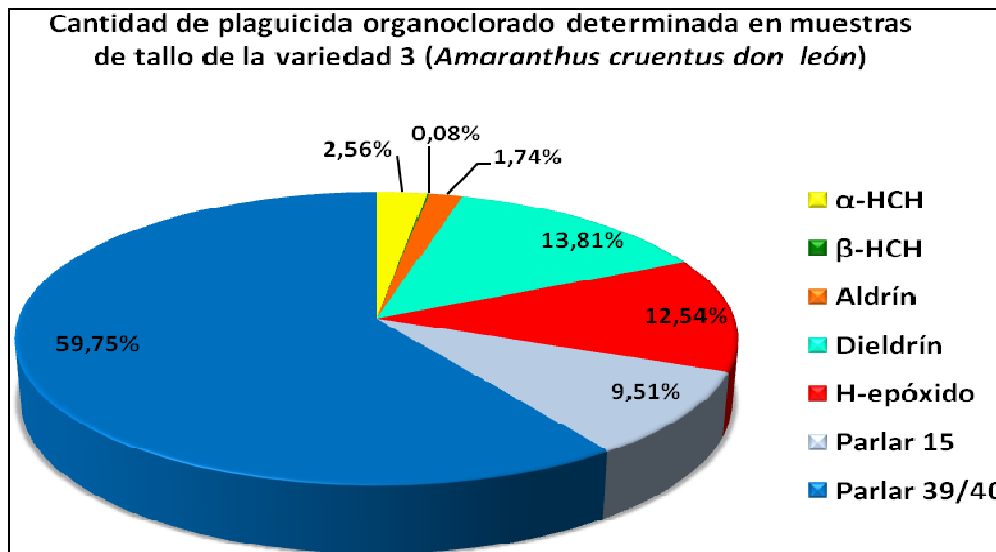
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de raíz de la variedad 3						
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	0.8311	1.3152	1.8423	2.2858	3.3015	8.5120



Se detectaron 6 plaguicidas organoclorados. El Parlar 39/40 y el Parlar 15 sobresalen con 47,06% y 18,25% respectivamente.

### B. Tallo

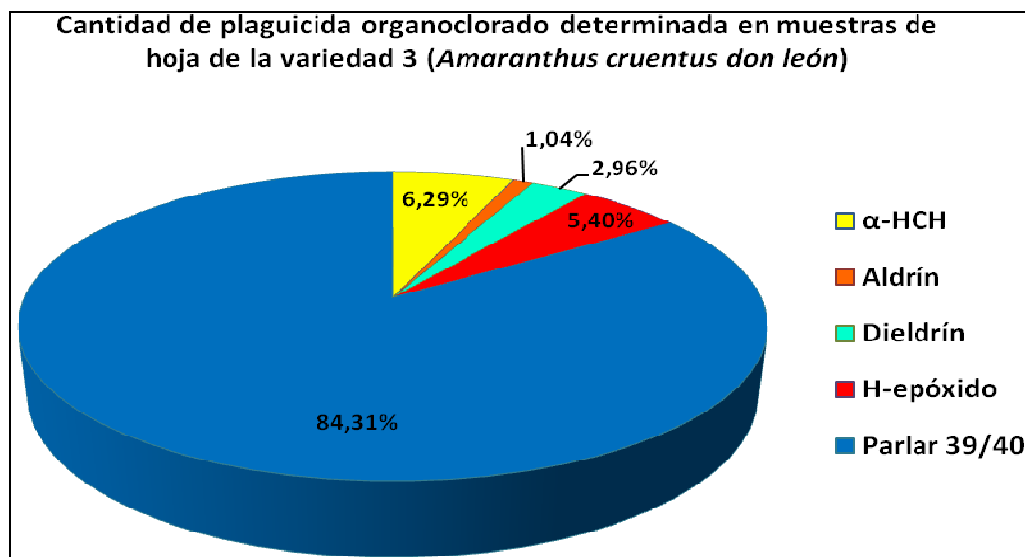
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de tallo de la variedad 3							
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 15	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	1.4049	0.0465	0.9558	7.5817	6.8859	5.2233	32.8003



Se detectaron 7 plaguicidas, los más relevantes fueron: Parlar 39/40 (59,75%), Dieldrín (13,81%), H-epóxido (12,54%) y el Parlar 15 (9,51%).

### C. Hoja

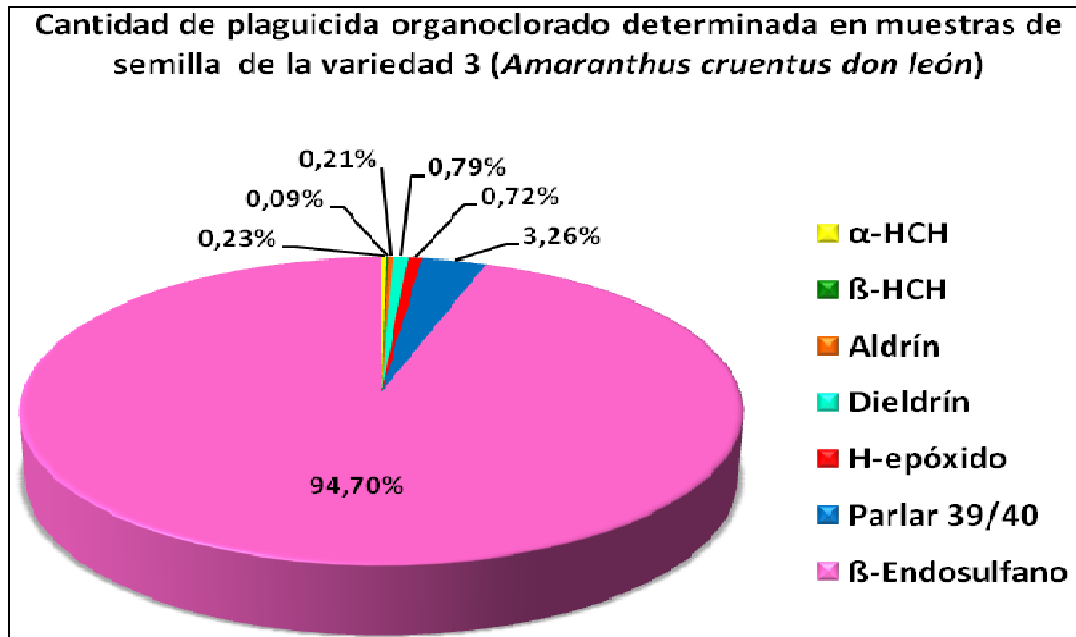
Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de hoja de la variedad 3					
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 39/40
Resultado (ppm)	7.3866	1.2252	3.4784	6.3451	99.0711



Se detectaron 5 plaguicidas organoclorados, de ellos se destacó por sus altas concentraciones el Parlar 39/40 con un 84,31%.

### D. Semilla

Cantidad de plaguicida organoclorado determinada en muestras de semilla de la variedad 3							
Plaguicida	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	Aldrín	Dieldrín	H-epóxido	Parlar 39/40	$\beta$ -Endosulfano
Resultado (ppm)	0.3450	0.1432	0.3219	1.2019	1.0903	4.9707	144.2957



Se encontraron 7 plaguicidas organoclorados, absorbiéndose en altas concentraciones el  $\beta$ -Endosulfano con 94,70%.

En esta variedad, tanto en las muestras de tallo como en las de semilla se detectó la misma cantidad de plaguicidas organoclorados, en total se encontraron 7, destacándose el Parlar 39/40 en las muestras de tallo y el  $\beta$ -Endosulfano en las muestras de semilla.



# **CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

## 6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El siguiente análisis de resultados se basó en la única variable de este estudio, es decir la concentración de cada plaguicida organoclorado en la matriz suelo (antes y después del cultivo) y las matrices: raíz, tallo, hoja y semilla (después del cultivo de la planta).

Las tres variedades de Amarantho estudiadas (*Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*) que de acuerdo a la literatura acumulan metales pesados (Antonkiewicz y Jasiewicz, 2002), también tienen la capacidad de acumular plaguicidas organoclorados, mostrando una acción biorremediadora positiva en los suelos de la comunidad La Tejana, municipio El Viejo, departamento de Chinandega, lo cual comprueba la hipótesis planteada en este estudio.

Al comparar los resultados de los plaguicidas organoclorados encontrados en el suelo antes y después del cultivo de las tres variedades, en general se observaron 2 situaciones particulares:

- a) El 4,4'-DDT, 4,4'-DDE y 4,4'-DDD estuvieron presentes anteriormente al cultivo, pero no después.
- b) Por el contrario, el  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Aldrín y  $\beta$ -Endosulfano se detectaron después, pero no antes del cultivo.

Para explicar estas situaciones se consideró lo siguiente:

a) La fecha en que se realizaron los análisis antes de la siembra de las tres variedades (febrero-2007) a la fecha que se volvieron a realizar posteriormente al cultivo (mayo-2008) es de aproximadamente 1.5 años. Considerando que los plaguicidas: 4,4'-DDT, 4,4'-DDE y 4,4'-DDD presentan una persistencia de entre 1.1-3.4 años (ver anexos), es posible que haya habido una degradación durante ese lapso de tiempo. También se sabe que el 4,4'-DDE y el 4,4'-DDD son productos de degradación del DDT, el primero pudo haber aparecido por la dechloración reductiva del DDT a través de procesos bióticos y abióticos (Sayles et al., 1997), mientras que el segundo pudo ser el resultado de reacciones de deshidrocloración, incluyendo fotólisis (Maugh, 1973) y la transformación microbiana aeróbica.

b) Otro factor determinante que pudo haber influenciado la detección de los plaguicidas organoclorados:  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH (Lindano),  $\beta$ -Endosulfano, en los análisis realizados después del cultivo, es la utilización de equipos diferentes; anterior antes del cultivo se utilizó un Cromatógrafo de Gases con detector de Captura de Electrones, ya que no se contaba con el Espectrómetro de Masas que se usó para analizar los plaguicidas después del cultivo.

Otro dato curioso que resalta es que las concentraciones iniciales del Dieldrín y H-epóxido son menores que las encontradas posterior al cultivo de las tres variedades, lo cual se explica por la sensibilidad y los límites de cuantificación de los equipos utilizados para la determinación, que lamentablemente fueron diferentes.

Y aunque hizo falta una mejor Planeación Técnica, los datos no se invalidan, ni mucho menos la importancia y el significado de la presencia de estos plaguicidas organoclorados para este estudio, tal y como se muestra a continuación:



### $\alpha$ -HCH, $\beta$ -HCH, $\gamma$ -HCH

Los isómeros del HCH (Hexaclorociclohexano)  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH se encontraron en las distintas partes de la planta de las tres variedades (ver tabla 6.1), basándose en la presencia, de mayor a menor, el resultado fue el siguiente:  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH  $\gamma$ -HCH, siendo la variedad 2 (*Amaranthus caudatus peruano*) la que presentó mayor concentración de éstos isómeros.

**Tabla 6.1.** Presencia de los isómeros del plaguicida HCH (●) en el suelo y en las diferentes partes de la planta después del cultivo de cada variedad.

Variedad	Isómero del HCH	Presente en					Total
		Suelo	Raíz	Tallo	Hoja	Semilla	
1 ( <i>Amaranthus cruentus mexicano</i> )	$\alpha$ -HCH	●	●	●	ND	●	4
	$\beta$ -HCH	●	●	●	ND	●	4
	$\gamma$ -HCH	●	ND	●	ND	ND	2
	<b>Total</b>						<b>10</b>
2 ( <i>Amaranthus caudatus peruano</i> )	$\alpha$ -HCH	●	●	●	●	●	5
	$\beta$ -HCH	●	●	●	ND	●	4
	$\gamma$ -HCH	●	●	●	ND	ND	3
	<b>Total</b>						<b>12</b>
3 ( <i>Amaranthus cruentus don león</i> )	$\alpha$ -HCH	●	●	●	●	●	5
	$\beta$ -HCH	●	ND	●	ND	●	3
	$\gamma$ -HCH	ND	ND	ND	ND	ND	0
	<b>Total</b>						<b>8</b>

ND = No detectado; ● = Presencia del Isómero del HCH

El plaguicida  $\alpha$ -HCH se destacó por su presencia en casi todas las partes de la planta de las tres variedades, algunos estudios sugieren que los suelos donde se ha aplicado el isómero  $\gamma$ -HCH, este se degrada dando como resultado al  $\alpha$ -HCH y en cantidades mínimas el resto de los isómeros del HCH, después de la aplicación estas cantidades disminuyeron con el tiempo, (Singh et al., 1991). En tanto el isómero  $\alpha$ -HCH fue absorbido en mayor cantidad, las tres variedades también absorbieron grandes cantidades del isómero  $\beta$ -HCH. Mientras que la escasa absorción del plaguicida  $\gamma$ -HCH tanto en el suelo como en las tres variedades de Amarantho puede deberse a la limitada absorción de los suelos y la bioconcentración en plantas y microorganismos según se refiere en ATSDR, 2005.

### **Heptacloro y Heptacloro-epóxido**

En cuanto al Heptacloro-epóxido, se debe conocer que el Heptacloro, su compuesto madre, posee una persistencia de 0.11-0.34 años (ver anexos) posiblemente durante el período comprendido entre el análisis de los plaguicidas antes del cultivo hasta la determinación después del cultivo pudo haberse transformado por epoxidación a Heptacloro-epóxido, (Alexander, 1999). Las tres variedades de Amarantho manifestaron gran afinidad por la acumulación de éste en todas las partes de las plantas, sobresaliendo por sus altas concentraciones en los suelos donde se cultivaron las tres variedades, en la raíz y el tallo de la variedad 1, y en la raíz y la hoja de la variedad 2.

## Aldrín y Dieldrín

**Tabla 6.2.** Presencia de Aldrín (●) y Dieldrín (○) en el suelo y en las diferentes partes de la planta después del cultivo de cada variedad.

Variedad	Presente en					Total
	Suelo	Raíz	Tallo	Hoja	Semilla	
<b>1</b> ( <i>Amaranthus cruentus</i> <i>mexicano</i> )	●○	●○	●○	ND	●○	5 (●) 5 (○)
<b>2</b> ( <i>Amaranthus caudatus</i> <i>peruano</i> )	●○	●○	●○	●	●○	5 (●) 4 (○)
<b>3</b> ( <i>Amaranthus cruentus</i> <i>don león</i> )	●	●○	●○	●○	●○	5 (●) 4 (○)

ND = No detectado; ● = Presencia de Aldrín; ○ = Presencia de Dieldrín

En la tabla 6.2 se puede apreciar que tanto Aldrín como Dieldrín fueron absorbidos por casi todas las partes de la planta de cada variedad después del cultivo, también se observó que no hay acumulación de ambos plaguicidas en el tallo de la variedad 1, tampoco hay presencia de Dieldrín en la hoja de la variedad 2 y en el suelo donde se cultivó la variedad 3.

El hecho de que se haya detectado Dieldrín antes del cultivo de Amarantho, puede deberse a la descomposición por epoxidación del Aldrín. El Dieldrín puede llegar a ser extremadamente persistente, aún más que su compuesto original (Alexander, 1999).

## β-Endosulfano

El β-Endosulfano sólo aparece después del cultivo y en pocas cantidades únicamente en la variedad 1 (tallo y semilla) y en la variedad 3 (semilla). Hay que recordar primeramente que el Endosulfano, por descomposición produce el isómero α y el β, este plaguicida al ser liberado en el suelo es sometido a fotólisis (sobre la superficie del suelo) o a biodegradación (ATSDR, 2000).

El hecho de que no se haya detectado el isómero  $\alpha$ , sino el  $\beta$  puede estar justificado por la persistencia de ambos, de esta manera sólo se pudo determinar el  $\beta$ -Endosulfano, este resultado puede compararse con el estudio realizado por Kathpal et al., 1997, en el cual se examina la disipación del Endosulfano en un suelo franco-arenoso, similar al de la comunidad La Tejana. Se encontró que el  $\alpha$ -Endosulfano se pudo detectar hasta 14 y 28 días en dos parcelas de suelo diferentes, mientras que  $\beta$ -Endosulfano se pudo detectar hasta 70 y 238 días después de la aplicación del Endosulfano.

Otro estudio muestra que tanto en la superficie de las plantas como en el suelo, el isómero  $\alpha$  es mucho menos persistente que el isómero  $\beta$ , (Coleman y Dolinger, 1982).

### **Toxafeno y sus congéneros**

El Toxafeno antes del cultivo de las tres variedades fue el plaguicida organoclorado que se encontró en mayor concentración y como era de esperarse, después del cultivo se detectó la presencia de sus productos de degradación o congéneros, destacándose por sus altas concentraciones en todas las partes de las plantas de Amaranto en todas las variedades en estudio, su alta persistencia en las plantas y el suelo es notoria. Esto tiene explicación debido principalmente a las características de cada variedad, la especie y la tasa de crecimiento de Amaranto, y en referencia al suelo, por la adsorción a la materia orgánica o minerales de la arcilla y las poblaciones de microorganismos presentes en él.

Los datos y los gráficos muestran que el Parlar 39/40, además de haber sido el principal producto de degradación del Toxafeno fue absorbido en la mayor parte de ellas de las tres variedades en estudio, únicamente no fue captado por el tallo de la variedad 1. En contraste con este resultado, el resto de los parlares del Toxafeno que fueron detectados, solamente se absorbieron en ciertas partes y por una sola variedad: Parlar 31 (semilla de la variedad 2), Parlar 44 (semilla de la variedad 1) y Parlar 50 (tallo de la variedad 2) o bien escasamente absorbidos como es el caso del Parlar 15 (segundo producto de degradación del Toxafeno), el que estuvo presente en el suelo donde se cultivó la variedad 3, en el tallo de las variedades 1 y 2, y en la raíz y tallo de la variedad 3).

Existen diferencias entre las cantidades y las clases de plaguicidas organoclorados captados por las tres variedades de Amarantho, tal y como se sintetiza en la tabla 6.3.

**Tabla 6.3.** Cantidad de plaguicidas organoclorados captados por cada parte de la planta por variedad.

Variedad	Cantidad de plaguicidas presentes en				Cantidad Total de plaguicidas organoclorados absorbidos
	Raíz	Tallo	Hoja	Semilla	
1 ( <i>Amaranthus cruentus</i> )	6	8	2	8	24
2 ( <i>Amaranthus caudatus</i> )	7	9	4	7	27
3 ( <i>Amaranthus cruentus don</i> )	6	7	5	7	25

Como se observa en los resultados, la variedad 2 fue más eficiente en la captación de plaguicidas organoclorados por cada parte de la planta, absorbió en total 27 plaguicidas. El tallo de la variedad 2 es la parte en donde se concentró la mayor cantidad de éstos. El tallo y la semilla en las tres variedades presentaron antagonismo al captar mayores cantidades de plaguicidas. Para la semilla es válido considerar que el contenido de residuos de organoclorados puede estar directamente relacionado con su contenido de aceite (Nash, 1974).

En relación a la hoja, en las tres variedades es la parte donde se absorbió menos plaguicidas. Esto puede explicarse en función de su estructura, según Shaw, et al., 1960, las características estructurales que no favorecen la absorción son: hojas estrechas, cerosas o esculpidas, mientras que las anchas y con abundantes vellosidades pueden absorberlos mucho mejor, este resultado explica la poca capacidad de acumulación de plaguicidas organoclorados por parte de la hoja de las tres variedades de Amarantho. La absorción por parte de éstas generalmente se ve obstaculizada por partículas de cera, pelos finos, espinas o protuberancias que impiden la distribución de los plaguicidas.

La absorción y acumulación de plaguicidas organoclorados fue diferente en cada parte de la planta en cada variedad y coincidió con los resultados encontrados por Otani, et al., 2007, que muestran que la absorción de xenobióticos por plantas que crecen en suelos contaminados varía según la especie y la etapa de crecimiento. Un aspecto importante que se toma en consideración es que la cantidad total de producto químico absorbida por una planta, a lo largo de su crecimiento, puede aumentar, sobre todo para los xenobióticos persistentes, tales como los plaguicidas organoclorados (Katayama, et al., 2010).

Además, la gran diversificación de los contenidos de los diferentes plaguicidas diverge en cada variedad y en cada parte de la planta, lo cual concuerda con los resultados encontrados por Antonkiewicz y Jasiewicz, 2002, donde se utilizó Amaranto para biorremediar suelos con presencia de metales pesados (Cd, Pb, Ni, Cu, Zn), en el que además se determina que el Amaranto es una de las especies con mayores contenidos de éstos en las partes superiores que en las partes inferiores.

El proceso de captación y retención de los plaguicidas organoclorados es diferente para cada una de las tres variedades en estudio y puede estar influenciado por muchos factores, incluyendo las propiedades de los plaguicidas y el suelo donde se han aplicado, el tiempo de permanencia del plaguicida en el suelo, el clima y los organismos de interés (microfauna, plantas). Precisamente en este proceso debe existir una interacción de las plantas con los plaguicidas en el suelo, lo cual implicaría el contacto, captación y la absorción del plaguicida, seguido por su transporte a las diferentes partes de la planta de Amaranto.

Por otra parte cuando la Capacidad de Intercambio Catiónica del suelo es elevada las raíces de la planta pueden intercambiar iones con el suelo y esto influye en su absorción y transporte a las partes de la planta.

La absorción de los plaguicidas organoclorados posiblemente se lleva a cabo a través de las raíces de las variedades de Amarantho y luego éstos pueden moverse en las plantas a través del sistema apoplástico (Katayama, et al., 2010). Algunos estudios sugieren que los plaguicidas antes de transportarse a las diferentes partes de la planta, pueden ser degradados por:

- Enzimas excretadas por las raíces de las plantas (El-Shatnawi y Makhadmeh, 2001; Lodewyckx, et al., 2002; Lovell et al., 2001; Robinson, et al., 2001) De aquí que la enzima Fosfatasa presente en el suelo después de ser degradada por los microorganismos del suelo, incrementa la degradación de los plaguicidas organofosforados en suelos con tal actividad de la Fosfatasa, (Sikora, et al., 1990). Sin embargo se conocen pocos trabajos acerca de la degradación de plaguicidas organoclorados por microorganismos, (Focht and Alexander, 1970).

- Asociación de la raíz con los microbios, precisamente la actividad microbiana en la rizósfera también desempeña un papel crucial en la transformación de contaminantes químicos que pueden ayudar a la absorción a través de las raíces y además en la degradación de las plantas (Qasim et al., 2002).

Se conoce que cierto grupo de plaguicidas (organofosforados, organoclorados y algunos carbamatos) pueden ser translocados a través de la planta, incluso sus metabolitos, son más fácilmente transportados que los compuestos de los que se derivan y persistir durante más tiempo en la planta (Edwards, 1972). Dicho movimiento puede ser ascendente (acropetal) o hacia abajo (basipetal), pero el movimiento hacia arriba (de la raíz hasta las hojas y semillas pasando por el tallo) es más común, particularmente porque muchos plaguicidas se aplican directamente al suelo.

Este movimiento ascendente es el que se esperaría para el transporte de los organoclorados en las tres variedades de Amarantho, puesto que no hubo aplicación de éstos durante la etapa de siembra. Como es de esperarse, la mayor parte de la translocación hacia abajo de los plaguicidas es a través del floema y su movimiento ascendente a través del xilema (Wedding, 1953; Collins et al., 2006).

Sin embargo, la penetración de los plaguicidas a través del xilema, es óptimo para aquellos compuestos que son sólo ligeramente hidrofóbicos ( $\text{Log } K_{ow}$  1.8). Más compuestos hidrofóbicos tienden a unirse con las membranas de lípidos en las raíces. Así, la translocación del xilema de compuestos con  $\text{Log } K_{ow} > 3$  pueden ser muy limitada en las plantas. Por otra parte, los compuestos hidrofílicos, en cambio, tienen una absorción limitada a través de las ceras de la cutícula foliar, (Qasim et al., 2002). De modo que, a como se observa en la tabla 6.4, los plaguicidas organoclorados estudiados pueden tener limitaciones para translocarse a través del xilema de las plantas.

**Tabla 6.4.** Constantes del coeficiente de partición Octanol/Agua ( $\text{Log } K_{ow}$ ) para los plaguicidas organoclorados en estudio.

Plaguicida organoclorado	Log $K_{ow}$	Fuente
Aldrín	5.17-7.4	U.S.E.P.A, 2002
Dieldrín	3.692-6.2	
Heptacloro	4.40-5.5	
Toxafeno	3.23-5.50	
4,4'-DDT	6.91	ATSDR, 2002
4,4'-DDE	6.51	
4,4'-DDD	6.02	
$\alpha$ -HCH	3.8	ATSDR, 2005
$\beta$ -HCH	3.78	
$\gamma$ -HCH	3.72	
$\beta$ -Endosulfano	3.52	ATSDR, 2000

En algunos estudios se ha sugerido que la solubilidad de los contaminantes orgánicos en agua (solución) y en la membrana celular determina su movimiento en las raíces y el transporte posterior a la rama de la planta, (McFarlane, 1995).





# **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones fueron desarrolladas conforme a los objetivos de esta investigación, ellas son:

1. Los datos de las concentraciones de los plaguicidas organoclorados obtenidos antes del cultivo de las tres variedades de Amaranto (*Amaranthus cruentus mexicano*, *Amaranthus caudatus peruano*, *Amaranthus cruentus don león*) en la comunidad La Tejana municipio El Viejo, departamento de Chinandega nos permitió conocer qué plaguicidas han permanecido después de muchos años de su aplicación y además proporcionan una idea sobre su persistencia, disponibilidad y acumulación en el suelo.
2. Los resultados de las concentraciones de los plaguicidas organoclorados obtenidos después del cultivo de las tres variedades de Amaranto nos permitió valorar, comparar y determinar que cada variedad de Amaranto estudiada presentó un efecto biorremediador positivo en los suelos contaminados con plaguicidas organoclorados en la comunidad La Tejana, municipio El Viejo, departamento de Chinandega.
3. La variedad 1 y 2 de Amaranto (*Amaranthus cruentus mexicano* y *Amaranthus caudatus peruano*) fueron las más efectivas para biorremediar los suelos contaminados con plaguicidas organoclorados de la comunidad La Tejana. Sin embargo, se observó que cada parte de la planta de la variedad 2 absorbió mayor número de plaguicidas organoclorados.
4. De manera general, se puede ordenar cada parte de la planta en orden de mayor a menor cantidad de plaguicidas organoclorados absorbidos, de la siguiente manera: tallo, semilla, raíz, hoja. Este orden es válido para las tres variedades en estudio. Además se observó que el tallo y la semilla absorbieron casi las mismas cantidades de plaguicidas organoclorados.



# **CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES**

## RECOMENDACIONES

Las primeras dos recomendaciones se elaboraron considerando las conclusiones número 3 y 4 de este estudio, la tercera fue en base a la bibliografía consultada, las restantes son sugerencias para profundizar en este campo de investigación. Ellas son:

1- Utilizar la variedad 1 y 2 (*Amaranthus cruentus mexicano* y *Amaranthus caudatus peruano* respectivamente) de Amaranto para efectos de fitorremediación en los suelos de la comunidad La Tejana, del municipio El Viejo, departamento de Chinandega.

2- Dar a conocer estos resultados en las Alcaldías de la zona de Chinandega explicándoles que la fitorremediación es una alternativa para limpiar el suelo contaminado del Occidente de Nicaragua.

3- Considerar las siguientes características al seleccionar una planta remediadora: de rápido crecimiento, alta biomasa, resistente y tolerante a la contaminación, sistemas de raíces grandes, altos niveles de enzimas que favorezcan la degradación.

4- Realizar estudios de fitorremediación utilizando la variedad 1 y 2 de Amaranto en suelos contaminados con plaguicidas organoclorados, que tengan características y condiciones climatológicas diferentes, para evaluar su eficiencia en condiciones distintas.

5- Estudiar el posible mecanismo que podría llevarse a cabo en la captación, absorción, transporte y degradación de los plaguicidas organoclorados por parte de las tres variedades de Amaranto.



# **CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA**

## BILIOGRAFÍA

- Acero, S., y Antolinez, N. (1999). *Evaluación de cepas nativas degradadoras del pesticida organofosforado malathion, aisladas en la bahía de Cartagena*. Tesis de pregrado en Microbiología Industrial. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia. 50 páginas.
- Addison, R. F. (1976). *Organochlrine compounds in aquatic organisms: their distribution, transport and physiological significance*. In: A.P. LOCKWOOD. *Effects of pollutants on aquatic organisms*. Cambridge University Press, London, 127-143.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2000). Toxicological profile for Endosulfan. Public Health Service. U.S. Department of Health and Human Services.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2002). Toxicological profile for DDT, DDE and DDD. Public Health Service. U.S. Department of Health and Human Services.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2005). *Toxicological profile for Alpha-, Beta-, Gamma- and Delta-Hexachlorocyclohexane*. Public Health Service. U.S. Department of Health and Human Services.
- Agostini, E. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba por el Grupo de Investigación. s.e.
- Alexander, M. (1995). *How toxic are toxic chemicals in soil?* Environ. Sci Technol 29: 2713–2717.
- Alexander, M. (1999). *Biodegradation and bioremediation*. (2nd edn.). Academic Press Inc., San Diego, CA.

- Antonkiewicz, J., Jasiewicz, Cz. (2002). *The use of plants accumulating heavy metals for detoxication of chemically polluted soils*. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Environmental Development, Volume 5, Issue 1.
- Apello C.A.J. and Postma D., (1996). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A.A. Balkema, ISBN 905410167.
- Arias, J. A.; Rojas, D.; et al. (1986). *Programa de Salud Ambiental: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud - Organización Panamericana de la Salud -Organización Mundial de la Salud*.
- Asociación de Ingenieros. (20001, 2004). *Miliarium Aureum*, S.L.
- Asociación para la Protección del Medioambiente (EPA), U.S.A. (1999).
- Bergström Lars and Stenström John, (1998). *Environmental Fate of Chemicals in Soil*. Ambio Vol. 27 No. 1, Feb.
- Burns, R. A. (2003). *Fundamentos de Química*. Mexico: Editorial Prentice Hall.
- Burt, R., Wilson, M.A., Keck, T.J., Dougherty, B.D., Strom, D.E., Lindahl, J.A. (2003). *Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA*. Advances in Environmental Research. 8, pp. 51-67.
- Brown, S. L. et al. (2003). *Effect of Biosolids Processing On Lead Bioavailability in an Urban Soil*. Environ Qual 32, 100-108.
- Carvalho, F. P.; Guillén, S. M.; Villeneuve, J. P.; Cattini, C.; Bartocci, J.; Lacayo Romero, M.; Cruz, A. *Chlorinated Hydrocarbons in Coastal Lagoons of the Pacific Coast of Nicaragua*.
- Centro de Investigación en Recursos Acuáticos, CIRA. (1996). *Contenido de Organoclorados en Leche Materna y Grasa Humana*. Memorias del Foro Nacional de Plaguicidas año 1996. MINSA.

- Chiou, C.T., G. Sheng & M. Manes. (2001). *A partition-limited model for the plant uptake of organic contaminants from soil and water*. *Environ. Sci. Technol.* 39: 4864–4870
- Christie, P., Li, X., Chen, B. (2004). *Arbuscular Mycorrhiza can Depress Translocation of Zinc To Shoots of Host Plants in Soils Moderately Polluted with Zinc*. *Plant and Soil*, 261 (1-2), 209-217.
- Coleman, P. F., Dolinger, P.M. (1982). *Endosulfan monograph number four: Environmental health evaluations of California restricted pesticides*. Prepared by Peter M. Dolinger Associates, Menlo Park, CA. Sacramento, CA: State of California. Department of Food and Agriculture.
- Collins, C., Fryer, M. and Grosso, A. (2006). *Plant uptake of non-ionic organic chemicals*. *Environ. Sci. Technol.* 40:45–52.
- Corriols M. Marvin. (2003). *Investigaciones hidrogeológicas, geofísicas e hidroquímicas en los llanos de León-Chinadega, Nicaragua*. p. 13-14
- Cotton, F. A; Wilkinson, G. (1990). *Química Inorgánica Avanzada*. México: Editorial Limusa.
- Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Servicio de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. *Resumen de Salud Pública: Aldrín y Dieldrín* (2002).
- *Diario Barricada*, febrero de 1991, p.p 24.
- Edwards, C. A. (1972). *Factors that affect the persistence of pesticides in plants and soils*. Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts, U. K.
- El-Shatnawi, M. K. J., Makhadmeh, I. M. (2001). *Ecophysiology of the plant-rhizosphere system*. *J Agron Crop Sci* 187: 1–9.



- Ernst, W. H. O. (2000). *Evolution of Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation New Phytol* 146, 357-357.
- Evgeny, N. O. (2001). *Amaranth: perspective raw material for food-processing and pharmaceutical industry*. Analytical Review, pp. 1
- Fisher B. E. (1999). *Environmental Health Perspectives*.107(1):A18-23.
- Focht, D. D and Alexander, M. (1970). *Appl. Microbiol.*20, 608.
- Freitas, H., Prasad, M. N. V., y Pratas, J. (2004). *Heavy Metals in the Plant Community of Sao Domingo an Abandoned Mine in SE Portugal: Possible Applications in Mine Remediation*. Environmental International, 30 (1), 65-72.
- Frick, C. M., Farrell, R. E.; Germida, J. J. (1999). *Assessment of Phytoremediation as an in situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites*. Petroleum Technology Alliance of Canada. Vancouver, British Columbia.
- Fuhrmann M., Lasat M. M., Ebbs S.D., Kochian L.V., Cornish J. (2002). *Plant and Environment Interactions–Uptake of cesium-137 and Strontium-90 from contaminated soil by three plant species; application to phytoremediation*. J. Environ. Qual., 31: 904-909.
- Fuhrmann, M., Lasat, M., Ebbs, S., Cornish, J., Kochian, L. (2003). *Uptake and release of Cesium-137 by five plant species as influenced by soil amendments in field experiments*. J. Environ. Qual. 32, 2272-2279.
- Gao Y.; Zhu L. (2004). *Plant uptake, accumulation and translocation of phenanthrene and pyrene in soils*. Chemosphere 55: 1169-1178.
- Gambu, F. (1997). *Heavy metal uptake by various agricultural crops. P.2. Heavy accumulation by plants*. Acta Agr. et Silv., ser. Agr. 35: 31-44.
- García, C. M. (1997). *Evaluación de la contaminación de plaguicidas organoclorados en la comarca Lagunera*. Tesis Doctoral. Col. de Postgraduados. México.

- Gevao, B., Jones, K., Semple, K., Craven A., Burauel, P. (2003). *Nonextractable pesticide residues in soil*. Environ Sci Technol 37: 138A–143A.
- Harvey, P. J. et al. (2002). *Phytoremediation of Polyaromatic Hydrocarbons, Anilines and Phenols*. Environmental Science and Pollution Research 9, 29-47.
- Hernández, D. R.; Herrerías, G. (1998). *Amaranto: Historia y promesa (vol. 1). Artículo publicado en Tehuacán, México: Horizonte del Tiempo*.
- Howard Philip H., Boethling Robert S., Jarvis William F., Meylan William M., Michalenko Edward M. (1991). *Handbook of Environmental Degradation Rates*. Lewis Publishers, ISBN 0873713583.
- Jasiewicz Cz., Antonkiewicz J. (2000). *Heavy metals extraction by plants from soils polluted by heavy metals*. P.1. Sida hermaphrodita Rusby. Zesz. Probl. PNR. 472: 323-330.
- Katayama, A., Bhula, R., Burns, G. R., Carazo, E., Felsot, A., Hamilton, D., Harris, C., Kim, Y-H., Kleter, G., Koedel, W., Linders, J., J G M. Peijnenburg, JG. M. W., Sabljic, A., Stephenson, R. G., Racke, D. K., Rubin, B., Tanaka, K., Unsworth, J. and Wauchope, R. D. (2010). *Bioavailability of Xenobiotics in the Soil Environment*. (2010). Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 203, EcoTopia Science Institute, Nagoya University, Nagoya, 464-8603, Japan.
- Kathpal, T.S., Singh, A., Dhankhar, J. S., et al. (1997). *Fate of endosulfan in cotton soil under sub-tropical conditions in Northern India*. Pestic Sci 50:21-27.
- Klein, W. (1987). *Contaminación ambiental por toxafeno y DDT*. Ministerio de Salud (MINSAL), Managua, Nicaragua.
- Kucharski R., Sas-Nowosielska A., Pogrzeba M., Kryński K., Malkowski E. (1999). *Perspectives for phytoextraction application to soil cleaning in Poland*. Ochr. rod. i Zasob. Natur. 18: 469-475.

- Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua, (2008). *Procedimiento Operativo Normalizado para la determinación de plaguicidas clorados en hojas, tallos, raíces y suelo.*
- Lacayo, M., Cruz, A., Cuadra, J., Corriols, M. (1997). *Plaguicidas organoclorados en tejido abdominal y plasma sanguíneo (cordón umbilical y venoso) de mujeres nicaragüenses (Chinandega).* Congreso Nacional: Impacto de plaguicidas en ambiente, salud, trabajo y agricultura. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA-UNAN Managua) Managua.
- Lacayo Romero, M.; Cruz Granja, A.; Corea, J. *Concentrations of Organochlorine Pesticides in Milk of Nicaraguan Mothers.*
- Lodewyckx, C., Mergeay, M., Vangronsveld, J., Clijsters, H., Van der Lelie, D. (2002). *Isolation, characterization, and identification of bacteria associated with the zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* subsp. *calaminaria*.* Int J Phytoremediat 4: 101–115.
- Lombi E., Zhao F. J., Dunham S. J. and McGrath S. P. (2001). *Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically-Enhanced Phytoextraction.* Journal of Environmental Quality 30, 1919-1926.
- Lovell, C.R., Bagwell, C.E., Czako, M., Marton, L., Piceno, Y.M., Ringelberg, D.B. (2001). *Stability of a rhizosphere microbial community exposed to natural and manipulated environmental variability.* FEMS Microbiol Ecol 38: 69–76.
- Maugh, T. H. (1973). *An unrecognized source of polychlorinated biphenyls.* Science 180:578-579.
- McFarlane, J. C. (1995). *Anatomy and physiology of plant conductive systems*, p. 13–36. In S. Trapp and J.C. McFarlane (eds.) *Plant contamination-modelling and simulation of organic chemical processes.* Lewis Publishers, Boca Ratón, FL.

- MARENA. *Memorias del Congreso Nacional: Impacto de Plaguicidas en Ambiente, Salud, Trabajo y Agricultura*. Managua, 27 - 31 Octubre 1997, p. 95-105.
- Matus, F.M.; Beck, I.M. (1991). *Uso, manejo y riesgos asociados a plaguicidas en Nicaragua* (156 p.). Managua, Nicaragua: Edit. Proyecto Regional de Plaguicidas, CSUCA.
- Meister Pro Information Resources. (2004). *The Pesticide Book*. (6<sup>ta</sup> ed.). Willoughby, Ohio: Una división de Meister Media Worldwide.
- Meneses, M. H. R. (2001). *Contaminación de suelos por el uso de plaguicidas*. Tesis de Licenciatura. FES Cuautitlán, UNAM. México.
- Merkl, N. R.; Schultze, K.; Infante, C. (2004). *Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils in the Tropics - Pre-Selection of Plant Species from Eastern Venezuela*. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 78 (3):185-192.
- Millar, C. E.; Turk, L. M; Foth, H. D. (1980). *Fundamentos de la ciencia del suelo*. (5ta. ed.). México: Compañía Editorial Continental, S.A.
- Nalborczyk E. (1995). *Amaranth biology, its possible cultivation and utilisation in Poland*. *Amaranth. new crops*. Published by SGGW, Warszawa: 8-28.
- Narváez, S. (2005). *Selección de bacterias aisladas de sedimentos del caribe colombiano con capacidad degradadora de hidrocarburos*. Tesis de pregrado en Microbiología Industrial. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia. 86 páginas.
- Nash, R. G. (1974). *Plant uptake of insecticides, fungicides, and fumigants from soils*. In: Guenzi WD (ed) *Pesticides in soil and water*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, pp. 257–313.
- Navarrete, P. (1995). *Contaminación de suelos por productos orgánicos. Plaguicidas*. En F. López, y F. Ayala, *Contaminación y depuración de suelos* (págs. 59-75). Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.

- Otani, T., Seike, N., Sakata, Y. (2007). *Differential uptake of dieldrin and endrin from soil by several plant families and Cucurbita genera*. Soil Sci Plant Nutr 53: 86–94.
- Paine, M. D., Chapman, P. M., Allard, P.J., Murdoch, M. H., Minifie, D. (1996). *Limited bioavailability of sediment PAH near an aluminum smelter: Contamination does not equal effects*. Environ Toxicol Chem 15: 2003–2018.
- Pilon-Smits E. (2005). *Phytoremediation*. Annu Rev Plant Biol, 56:15–39.
- Prasad, M. N.; Freitas, H. M. (2003). *Metal Hyperaccumulation In Plants Biodiversity Prospecting For Phytoremediation Technology*. Electronic Journal of Biotechnology 6 (3). 285- 321.
- Proyecto Protierra/MARENA. (1997). *Propuesta de Ordenamiento Ambiental del Territorio*. (127 p.).
- Qasim, W. Thrasher, A.J., Buddle, J., Kinnon, C., Black, M.E. & Gaspar, H.B. (2002). *T cell transduction and suicide with an enhanced mutant thymidine kinase*. Gene Therapy, 9, 824 – 827.
- Robinson, B., Russell, C., Hedley, M., Clothier, B. (2001). *Cadmium adsorption by rhizobacteria: Implications for New Zealand pastureland*. Agric Ecosyst Environ 87: 315–321.
- Rugama, R.; Calero, S.; Inge, F.; Lacayo Romero, M.; Martínez, V.; Pitty, J. *Levels of Organochlorine Residues in Blood Plasma from Three Populations in Nicaragua*.
- Salamanca, S. (1999). *Degradación de hidrocarburos por bacterias aisladas de la Bahía de Cartagena*. Tesis de pregrado en Microbiología Industrial. Facultad De Ciencias. Departamento de Microbiología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia. 57 páginas.
- Sánchez Martín, M. J y Sánchez Camazano, M. (1984). *Los plaguicidas: Adsorción y evolución en el suelo* (primera edición). Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología.

- Sayles, G.D., You, G., Wang, M. and Kupferle M. J. (1997). *DDT, DDD, and DDE dechlorination by zero-valent iron. Environ. Sci. Technol.* 31:3448-3454.
- Shaw, W. C., Hilton, J. L., Moreland y Jansen, LL. D. E. (1960). *USDA ARS* 20-9, 119.
- Shevyakova, N. I, Cheremisina, A. I and Vl. V. Kuznetsov, VI. I. (2011) *Phytoremediation potential of Amaranthus Hybrids: Antagonism between Nickel and Iron and chelating role of Polyamines*. Russian Journal of Plant Physiology, Vol. 58, No. 4, pp. 634–642. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Botanicheskaya ul. 35, Moscow, Russia.
- Sikora, L.J., Kaufman, D. D., Horng, L. C. (1990) *Enzyme activity in soils showing enhanced degradation of organophosphate insecticides*. Biol Fertil Soils 9: 14–18.
- Singh, G., Kathpal, T.S., Spencer, W. F., et al. (1991). *Dissipation of some organochlorine insecticides in cropped and uncropped soil*. Environ Pollut 70:219-240.
- Smidt, H., Ackermans, D., Van der Ost and Vos, W. (2000). *Enzyme Microb. Technol.* 27, 812-820.
- Suárez, L. *Degradación de Tolueno y Xileno por bacterias nativas colombianas y detección de los genes todA y xylB*. Tesis de Magister en Biología. Facultad de Ciencias. Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad de los Andes. Bogotá-Colombia.
- United State Environmental Protection Agency. (U.S.E.P.A.), *Office of Research and Development* (2002).
- Verschueren Karel, 1996. *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*. 3rd ed, John Wiley & Sons, ISBN 047128811.
- Xiong, Z. T. (1997). *Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a roadside pioneer species Sonchus oleraceus L*. Environmental Pollution 97 (3): 275-279.
- Wedding, R. T. J. (1953). *Agric. Fd Chem.* 1, 832.

## WEBGRAFÍA CONSULTADA

- <http://www.edafologia.ugr.es/conta/tema13/factor.htm>
- <http://edafologia.ugr.es/conta/tema13/evol.htm>
- <http://www.edafologia.ugr.es/conta/tema13/persist.htm>
- [http://www.es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Amaranthus\\_caudatus1.jpg](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Amaranthus_caudatus1.jpg)[http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Amaranthus\\_caudatus1.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Amaranthus_caudatus1.jpg)
- <http://www.amaranth.future-food>. Fecha de actualización: 9 de agosto del 2006.
- <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/DescontaminacionSuelos/TecnicasInSitu/TecnicasBiologicas/Fitorremediacion.asp>
- <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/DescontaminacionSuelos/TecnicasInSitu/TecnicasBiologicas/Fitorremediacion.as>
- <http://www.brechas.org/index.php/Amaranto>. Actualizado el 29 de Mayo del 2008
- <http://edgarespinozamontesinos.blogspot.com/>. Actualizado el 2 de Noviembre del 2010.
- <http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/ordenamiento/Estudios%20de%20Suelos.h>  
Informe técnico de los diferentes estudios de suelos efectuados en el país y sus respectivos mapas de suelos 1971-1978. Programa CATASTRO e Inventario de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Departamento de Suelos y Dasonomía.
- <http://www.amaranto.org.mx/article/view/38/1/7>
- [www.pnuma.org](http://www.pnuma.org).
- <http://esc.syrres.com/efdb.htm>: *Environmental Fate Data Base*, 020320.
- Plan de Vigilancia Mundial, PVM, (2003):  
[http://www.chem.unep.ch/gmn/Files/popsmonprg\\_proc.pdf](http://www.chem.unep.ch/gmn/Files/popsmonprg_proc.pdf)



# ANEXOS

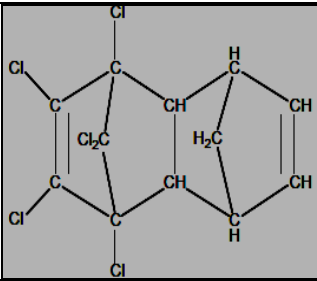


**ANEXO 1:**

**Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPS). A los primeros 12 se les llama “Docena Sucia”.**

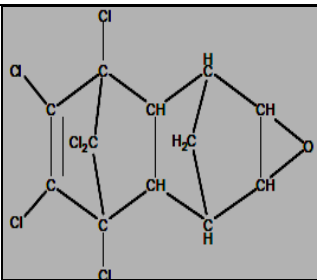
\* PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS EN ESTUDIO.

**Tabla 1: Aldrina o Aldrín\***

<b>ALDRINA</b>	
<b>Información química</b>	CAS (Chemical Abstracts Services): 309-00-2 Fórmula molecular: C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>6</sub> Peso molecular: 364.92
<b>Persistencia</b>	Vida media: <0.4 días (aire) 1.1-3.4 años (agua) 1.1-3.4 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la Ley de Henry: 4.96x10 <sup>-4</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol a 25 °C Presión de vapor: 2.31x10 <sup>-5</sup> mm Hg a 20 °C Solubilidad en agua: 17-180 µg/L a 25 °C
<b>Bioacumulación</b>	Log K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 5.17-7.4
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 38-678 mg/kg DL <sub>50</sub> Cutánea: 98 mg/kg
<b>Toxicidad crónica</b>	Dosis de Referencia: 3x10 <sup>-5</sup> mg/kg/día (UF=1000)

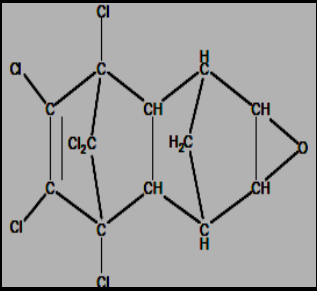
Fuente: U.S.E.P.A, 2002

**Tabla 2: Dieldrina o Dieldrín\***

<b>DIELDRINA</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 60-57-2 Fórmula molecular: C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>6</sub> O Peso molecular: 380.92
<b>Persistencia</b>	Vida media: 1.3-4.2 días (aire) 1.1-3.4 años (agua) 1.1-3.4 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: 5.8 x 10 <sup>-5</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol a 25 °C Presión de vapor: 1.78x10 <sup>-7</sup> mm Hg a 20 °C Solubilidad en agua: 140 µg/L a 20 °C
<b>Bioacumulación</b>	Log K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 3.692-6.2
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 37-87 mg/kg DL <sub>50</sub> Cutánea: 60-90 mg/kg
<b>Toxicidad crónica</b>	Dosis de Referencia: 5x10 <sup>-5</sup> mg/kg/día (UF=100)

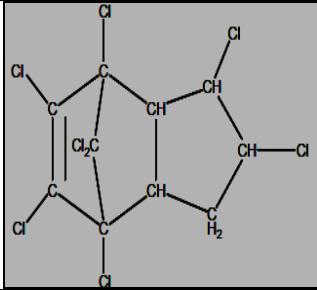
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 3: Endrina o Endrín**

<b>ENDRINA</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 72-20-8 Fórmula molecular: C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>6</sub> O Peso molecular: 380.92
<b>Persistencia</b>	Vida media: 2.2 días (aire) 1.0-4.1 años (agua) 4-14 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: 5x10 <sup>-7</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol a 25 °C Presión de vapor: 7x10 <sup>-7</sup> mm Hg a 25 °C Solubilidad en agua: 220-260 µg/L a 25 °C
<b>Bioacumulación</b>	Log K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 3.209-5.339 BAF/BCF: 7000
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 7-15 mg/kg DL <sub>50</sub> Cutánea: 15 mg/kg (hembras)
<b>Toxicidad crónica</b>	Dosis de Referencia: 3x10 <sup>-4</sup> mg/kg/día (UF=100)

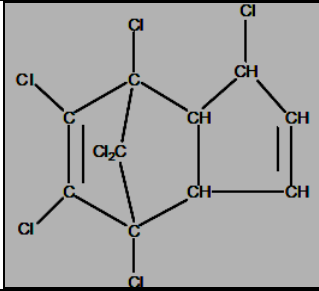
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 4: Clordano**

<b>CLORDANO</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 57-74-9 Fórmula molecular: C <sub>10</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>8</sub> Peso molecular: 409.78
<b>Persistencia</b>	Vida media: 1.3-4.2 días (aire) 1.1-3.4 años (agua) 1.1-3.4 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: 4.8 x 10 <sup>-5</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol a 25 °C Presión de vapor: 7x10 <sup>-6</sup> mm Hg a 20 °C Solubilidad en agua: 56 µg/L a 25 °C
<b>Bioacumulación</b>	Log K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 6.00 BAF/BCF: 250000
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 283 mg/kg DL <sub>50</sub> Cutánea: 580 mg/kg (conejos)
<b>Toxicidad crónica</b>	Dosis de Referencia: 5x10 <sup>-4</sup> mg/kg/día (UF=300)

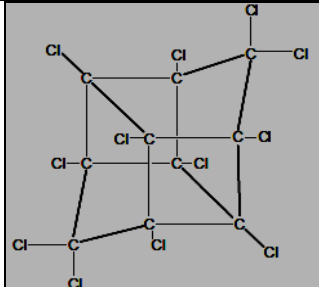
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 5: Heptacloro\***

<p><b>HEPTACLORO</b></p>			
<p><b>Información química</b></p>	<p>CAS: 76-44-8                  Fórmula molecular: C<sub>10</sub>H<sub>5</sub>Cl<sub>7</sub>                  Peso molecular: 373.32</p>		
<p><b>Persistencia</b></p>	<p>Vida media: 1.3-4.2 días (aire)                  0.03-0.11 años (agua)                  0.11-0.34 años (suelo)</p>		
<p><b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b></p>	<p>Constante de la ley de Henry: 2.3x10<sup>-3</sup> atm.m<sup>3</sup>/mol                  Presión de vapor: 3x10<sup>-4</sup> mm Hg a 20 °C                  Solubilidad en agua: 180 µg/L a 25 °C</p>		
<p><b>Bioacumulación</b></p>	<p>Log K<sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 4.40-5.5                  BAF/BCF: 8500</p>		
<p><b>Toxicidad aguda</b></p>	<p>DL<sub>50</sub> Oral: 147-220 mg/kg                  DL<sub>50</sub> Cutánea: 580 mg/kg (conejos)</p>		
<p><b>Toxicidad crónica</b></p>	<p>Dosis de Referencia: 5x10<sup>-4</sup> mg/kg/día (UF=300)</p>		

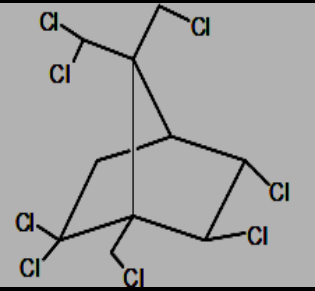
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 6: Mírex**

<p><b>MÍREX</b></p>			
<p><b>Información química</b></p>	<p>CAS: 2385-85-5                  Fórmula molecular: C<sub>10</sub>Cl<sub>12</sub>                  Peso molecular: 545.5</p>		
<p><b>Persistencia</b></p>	<p>Vida media: 4.2-12.5 días (aire)                  0.34-1.14 años (agua)                  &gt;3.4 años (suelo)</p>		
<p><b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b></p>	<p>Constante de la ley de Henry: 8.3x10<sup>-3</sup> atm<sup>-3</sup>/mol a 20 °C                  Presión de vapor: 3x10<sup>-7</sup> mm Hg a 25 °C                  Solubilidad en agua: 15.45x10<sup>-5</sup> µg/L a 25 °C</p>		
<p><b>Bioacumulación</b></p>	<p>Log K<sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 5.28                  BAF/BCF: 2400000</p>		
<p><b>Toxicidad aguda</b></p>	<p>DL<sub>50</sub> Oral: 306 mg/kg                  DL<sub>50</sub> Cutánea: 800 mg/kg (conejos)</p>		
<p><b>Toxicidad crónica</b></p>	<p>Dosis de Referencia: 2x10<sup>-4</sup> mg/kg/día (UF=300)</p>		

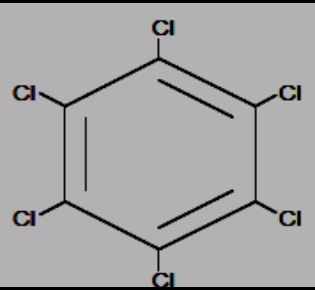
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 7: Toxafeno\***

<b>TOXAFENO</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 8001-35-2 Fórmula molecular: C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>8</sub> Peso molecular: 413.82
<b>Persistencia</b>	Vida media: 4.2-12.5 días (aire) >3.4 años (agua) >3.4 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: 6.3x10 <sup>-2</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol Presión de vapor: 5x10 <sup>-6</sup> - 0.4 mm Hg a 20 °C Solubilidad en agua: 550 µg/L a 20 °C
<b>Bioacumulación</b>	Log K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 3.23-5.50 BAF/BCF: 1100000
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 40 mg/kg DL <sub>50</sub> Cutánea: 600 mg/kg (conejos)
<b>Toxicidad crónica</b>	Dosis de Referencia: en desarrollo

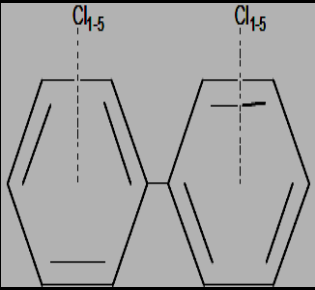
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 8: Hexaclorobenceno**

<b>HEXACLOROBENCENO</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 118-74-1 Fórmula molecular: C <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> Peso molecular: 284.78
<b>Persistencia</b>	Vida media: 417-1250 días (aire) >3.4 años (agua) >3.4 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: 7.1 x 10 <sup>-3</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol a 20°C Presión de vapor: 1.089x10 <sup>-5</sup> mm Hg a 20 °C Solubilidad en agua: 40 µg/L a 20 °C
<b>Bioacumulación</b>	Log K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 3.03-6.42 BAF/BCF: 110000
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 3500 mg/kg
<b>Toxicidad crónica</b>	Dosis de Referencia: 8x10 <sup>-4</sup> mg/kg/día (UF=100)

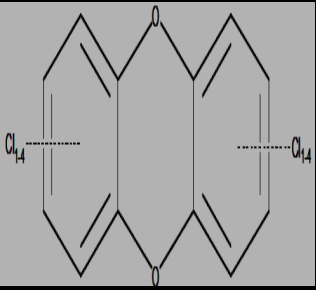
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 9: Bifenilos Policlorados**

<b>BIFENILOS POLICLORADOS</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 11097-69-1 Fórmula molecular: $C_{12}Cl_{(x+y)}$ Peso molecular: 328 (va de 188.7-498.7)
<b>Persistencia</b>	Vida media: 4.2 días (aire) 5.7 años (agua) 1.14 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: $2 \times 10^{-3} \text{ atm}^{-3}/\text{mol}$ a 25 °C Presión de vapor: $7.71 \times 10^{-5} \text{ mm Hg}$ a 25 °C Solubilidad en agua: 57 µg/L a 24 °C
<b>Bioacumulación</b>	$K_{ow}$ (coeficiente de partición octanol-agua): $10^{6.5}$ BAF/BCF: 3000000
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 1010 mg/kg
<b>Toxicidad crónica</b>	Dosis de Referencia: $2 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/día}$ (UF=300) bajo revisión

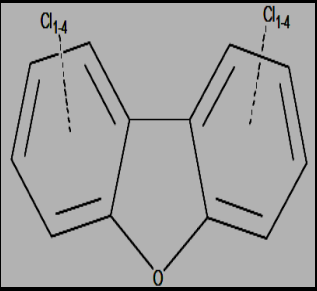
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 10: Dibenzo-p-Dioxinas-Policloradas**

<b>DIBENZO-p-DIOXINAS-POLICLORADAS</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 1746-01-6 Fórmula molecular: $C_{12}H_4Cl_4O_2$ Peso molecular: 322.0
<b>Persistencia</b>	Vida media: 4.2-12.5 días (aire) 0.11-0.34 años (agua) 0.34-1.1 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: $1.6 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4} \text{ atm}^{-3}/\text{mol}$ a 25 °C Presión de vapor: $1.5 \times 10^{-9} - 3.4 \times 10^{-5} \text{ mm Hg}$ a 25 °C Solubilidad en agua: 0.019 µg/L a 25 °C
<b>Bioacumulación</b>	$K_{ow}$ (coeficiente de partición octanol-agua): $10^{6.9}$
<b>Toxicidad aguda</b>	DL <sub>50</sub> Oral: 5051 mcg/kg (hamster) DL <sub>50</sub> Oral: 22-165 mcg/kg (rata) DL <sub>50</sub> Oral: 4.2 mcg/kg (mink) DL <sub>50</sub> Oral: 0.6 mcg/kg (cerdo de guinea)
<b>Toxicidad crónica</b>	Bajo revisión

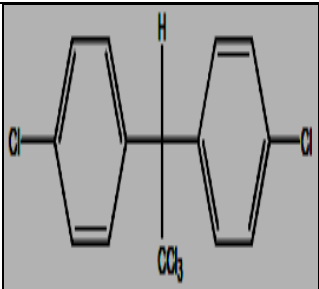
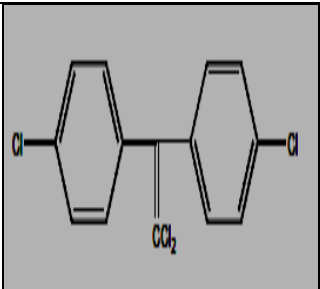
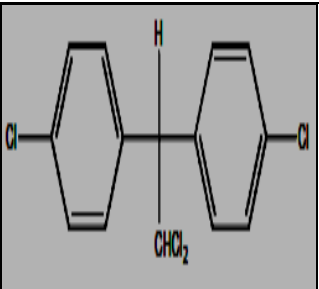
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 11: Dibenzo-p-Furanos-Policlorados**

<b>DIBENZO-p-FURANOS-POLICLORADOS</b>	
<b>Información química</b>	CAS: 1746-01-6 Fórmula molecular: C <sub>12</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>4</sub> O Peso molecular: 306.0
<b>Persistencia</b>	Vida media: 1.6-10 días (aire) 0.005-1.62 años (agua) 1-3 años (suelo)
<b>Propiedades relacionadas a su transporte ambiental</b>	Constante de la ley de Henry: 8.6x10 <sup>-6</sup> atm <sup>-3</sup> /mol Presión de vapor: 1.5x10 <sup>-8</sup> mm Hg Solubilidad en agua: 0.483 µg/L
<b>Bioacumulación</b>	K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua): 10 <sup>6.5</sup> BAF/BCF: 130000

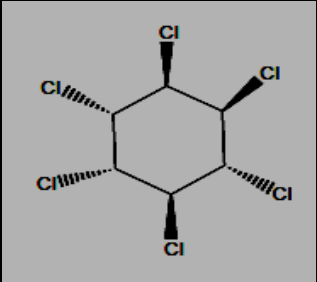
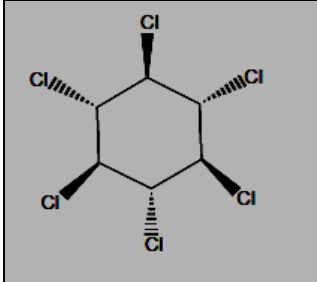
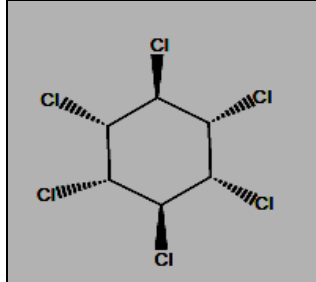
Fuente: USEPA, 2002

**Tabla 12: 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD\***

Isómero	4,4'-DDT	4,4'-DDE	4,4'-DDD
CAS	50-29-3	72-55-9	72-54-8
Fórmula estructural			
Fórmula molecular	C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub>	C <sub>14</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>4</sub>	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>4</sub>
Peso molecular	354.49	318.03	320.05
Constante de la ley de Henry	8.3x10 <sup>-6</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol	2.1x10 <sup>-5</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol	4.0x10 <sup>-6</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol
Presión de vapor	1.60x10 <sup>-7</sup> mm Hg a 20 °C	6.0x10 <sup>-6</sup> mm Hg a 25 °C	1.35x10 <sup>-6</sup> mm Hg a 25 °C
Solubilidad en agua	0.025 mg/L a 25 °C	0.12 mg/L a 25 °C	0.090 mg/L a 25 °C
Log K <sub>ow</sub> (coeficiente de partición octanol-agua)	6.91	6.51	6.02

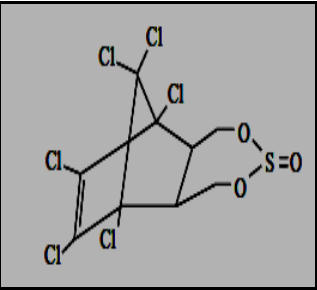
Fuente: ATSDR, 2002.

**Tabla 13: Isómeros del Hexaclorociclohexano ( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH)\***

Isómero	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH
CAS	319-84-6	319-85-7	58-89-9
Fórmula estructural			
Fórmula molecular	$C_6H_6Cl_6$		
Peso molecular	290.83		
Constante de la ley de Henry	$6.86 \times 10^{-6} \text{ atm.m}^3/\text{mol.}$	$4.5 \times 10^{-7} \text{ atm.m}^3/\text{mol.}$	$3.5 \times 10^{-6} \text{ atm.m}^3/\text{mol.}$
Presión de vapor	$4.5 \times 10^{-5} \text{ mm Hg a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$3.6 \times 10^{-7} \text{ mm Hg a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$4.2 \times 10^{-5} \text{ mm Hg a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Solubilidad en agua	69.5 mg/L a $28 \text{ }^\circ\text{C}$	5 ppm a $25 \text{ }^\circ\text{C}$	17 ppm a $25 \text{ }^\circ\text{C}$
Log $K_{ow}$ (coeficiente de partición octanol-agua)	3.8	3.78	3.72

Fuente: ATSDR, 2005.

**Tabla 14:  $\beta$ -Endosulfano\***

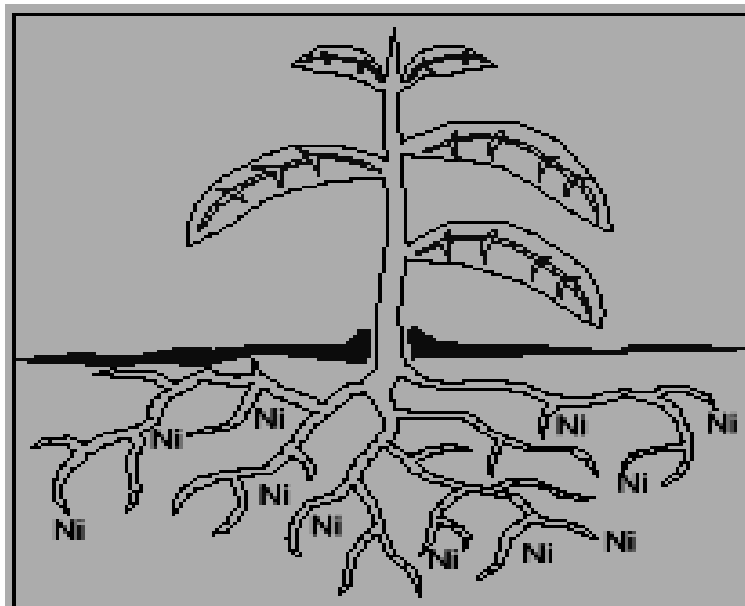
$\beta$ -ENDOSULFANO	
Información química	CAS: 33213-65-9 Fórmula molecular: $C_9H_6Cl_5O_3S$ Peso molecular: 406.93
Propiedades relacionadas a su transporte ambiental	Constante de la ley de Henry a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ : $1.91 \times 10^{-5} \text{ atm.m}^3/\text{mol.}$ Presión de vapor a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ : $1 \times 10^{-5} \text{ mm Hg}$ Solubilidad en agua a $22 \text{ }^\circ\text{C}$ (pH 7.2): 0.33 mg/L Solubilidad en agua a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ : 0.28 mg/L
Bioacumulación	Log $K_{ow}$ (coeficiente de partición octanol-agua): 3.52

Fuente: ATSDR, 2000.

**ANEXO 2: Mecanismo de absorción del Níquel en la plantas.**

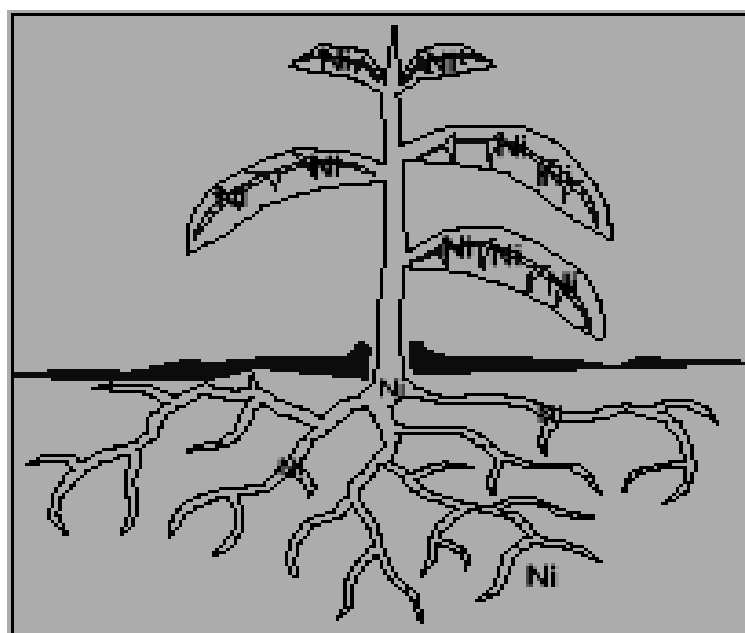
**Gráfico 1**

**Presencia del elemento Níquel en un suelo contaminado**



**Gráfico 2**

**Níquel absorbido por una planta concentradora de metales pesados**

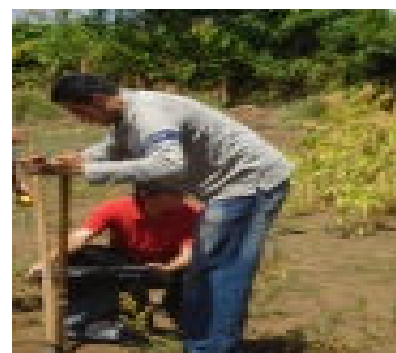




### ANEXO 3:

**A. Captación de muestras de planta y suelo al finalizar el período de siembra de Amarantho realizado por los investigadores y el Personal del Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua en la comunidad La Tejana, municipio El Viejo, departamento de Chinandega.**





**B. Aplicación del Método Soxhlet para determinar plaguicidas organoclorados en las muestras de planta y suelo después de haber cultivado el amaranto realizado por los investigadores y el Personal del Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua.**









# GLOSARIO

**Adsorbato:** Sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente mediante un proceso de adsorción.

**Agente oxidante:** Es un elemento que propicia la oxidación, es decir la acción del Oxígeno en otro elemento.

**Agente quelante:** Es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados.

**Agroforestería:** Es un sistema productivo que integra árboles, ganado y pastos o forraje, en una misma unidad productiva.

**Amida:** Es un compuesto orgánico que consiste en una amina unida a un ácido carboxílico convirtiéndose en una amina ácida (o amida).

**Anemia aplásica:** Es una enfermedad que se produce por el desarrollo incompleto o defectuoso de las líneas celulares de la médula ósea.

**Antrópico:** Lo relativo (por estar asociado, influido, ser perteneciente o incluso contemporáneo) al hombre entendido como especie humana o ser humano.

**Arcillas:** Son partículas minerales que miden menos de 0,001 milímetro.

**Arenas:** Son partículas minerales de entre 0,01 y 0,1 milímetros.

**Arritmias:** Son trastornos de la frecuencia cardíaca (pulso) o del ritmo cardíaco, como latidos demasiado rápidos (taquicardia), demasiado lentos (bradicardia) o con un patrón irregular.

**Astenia:** Es un síntoma presente en varios trastornos, caracterizado por una sensación generalizada de cansancio, fatiga y debilidad física y psíquica.

**Atrazina:** Es un herbicida que no ocurre en forma natural. La Atrazina pura es un polvo blanco sin olor, no muy volátil, reactivo o inflamable. Es soluble en agua.

**Barbecho:** Se denomina Barbecho a la tierra que no se siembra durante uno o varios ciclos vegetativos, con el propósito de recuperar y almacenar materia orgánica y humedad.

**Biota:** Conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área determinada.

**Biotemperatura:** Se refiere al promedio de temperatura en una determinada zona biogeográfica.

**Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, en virtud de su contenido de arcillas y materia orgánica.

**Características edafológicas:** Describen la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.

**Carbamatos:** Son compuestos orgánicos derivados del Ácido Carbámico ( $\text{NH}_2\text{COOH}$ ).

**Caroteno:** Compuesto químico llamado más específicamente  $\beta$ -caroteno. Este es el carotenoide más abundante en la naturaleza y el más importante para la dieta humana, por lo que da su nombre a todo un grupo de compuestos bioquímicos.

**Catecolaminas:** Son neurotransmisores que se vierten al torrente sanguíneo (en lugar de las hendiduras sinápticas, como corresponde normalmente a los neurotransmisores).

**Cipermetrina:** Insecticida de la familia de los piretroides sintéticos, con acción sobre una variada gama de insectos voladores y rastreros.

**Citocromos:** Son proteínas que desempeñan una función vital en el transporte de energía química en todas las células vivas.

**Clorofilas:** Familia de pigmentos de color verde que se encuentran en las cianobacterias y en todos aquellos organismos que contienen cloroplastos en sus células, lo que incluye a las plantas y a los diversos grupos de protistas que son llamados algas.

**Coefficiente de difusión:** Es un valor que representa la facilidad con que cada soluto en particular se mueve en un disolvente determinado. Depende de tres factores: tamaño y forma del soluto, viscosidad del solvente, temperatura.

**Coefficiente de reparto Octanol/Agua ( $\log K_{OW}$ ):** Es una medida de cómo una sustancia química puede distribuirse entre dos solventes inmiscibles, agua (es un solvente polar) y octanol (es un solvente relativamente no polar, que representa a las grasas).

**Coloides:** Dispersiones de partículas finamente divididas de un material (fase dispersa) en otro, denominado medio de dispersión. En general, las partículas coloidales tienen un tamaño que varía entre 10 y 10.000 amstrongs.

**Complejo coloidal:** El complejo coloidal se considera una mezcla de ácidos y de sales de éstos mismos ácidos.

**Complejo MFO (Mixed Function Oxidase):** Es el nombre de un grupo de enzimas oxidadas que catalizan una reacción en la cual cada uno de los dos átomos de oxígeno en  $\text{O}_2$  tiene una función diferente en la reacción.

**Convulsión:** Un síntoma transitorio caracterizado por actividad neuronal en el cerebro que conlleva a hallazgos físicos peculiares como la contracción y distensión repetida y temblorosa de uno o varios músculos de forma brusca y generalmente violenta, así como de alteraciones del estado mental del sujeto y trastornos psíquicos.

**Desalquilación:** Eliminación de los grupos alquilo de un compuesto. Se utiliza para modificar las reacciones químicas. Normalmente se realiza mediante varios óxidos en un proceso conocido como desalquilación oxidativa.

**Descarboxilación:** Es una reacción química en la cual un grupo carboxilo es eliminado de un compuesto en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

**Deshalogenación:** Es un proceso por medio del cual, se reduce el número de átomos de halógeno que se encuentra en una molécula orgánica.

**Deshidrohalogenación de halogenuros de alquilo:** Esta reacción es un método para preparar alquenos por acción de bases fuertes en solución alcohólica.

**Discrasia sanguínea:** Se trata de un término muy amplio que designa todo trastorno sanguíneo en el que cualquiera de los constituyentes de la sangre es cualitativa o cuantitativamente anormal.

**Drogas inótropas:** Son aquellas drogas capaces de aumentar la fuerza de la contracción del corazón.

**Edema pulmonar no cardiogénico:** Enfermedad que se produce por alteraciones hidrostáticas e inflamatorias.

**Epilepsia:** Es un trastorno cerebral que hace que las personas tengan convulsiones recurrentes. Las convulsiones ocurren cuando los grupos de células nerviosas (neuronas) del cerebro envían señales erróneas. Las personas pueden tener sensaciones y emociones extrañas o comportarse de una manera rara. Pueden tener espasmos musculares violentos o perder el conocimiento.

**Epipedón móllico:** Es un horizonte superficial de color oscuro, rico en materia orgánica bien humificada, saturado en cationes bivalentes (generalmente Ca), estructurado y espeso.

**Factor de tortuosidad:** Es uno de los factores geométricos que permite caracterizar a las rocas porosas.

**Fracción coloidal:** Partículas de tamaño inferior a un micrón (0,001 mm). Esta fracción está en contacto y en equilibrio con la fase líquida, que es el agua del suelo.

**Fuerzas de Van der Waals:** Interacciones causantes de que los gases se aparten del comportamiento ideal; son las mismas que mantienen unidas a las moléculas en los estados líquido y sólido.

**Fuerzas electrostáticas:** Son interacciones que se establecen entre iones de distinta o igual carga.

**Gavillas:** Conjunto de sarmientos, cañas, mieses, ramas, hierba, etc., mayor que el manojó y menor que el haz.

**Geomorfología:** Es la ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se especializa en estructural (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado).

**Gluten:** Es una glucoproteína ergástica amorfa que se encuentra en la semilla de muchos cereales combinada con almidón.

**Gradiente de concentración:** Es la cantidad de una determinada sustancia disuelta en algún solvente.

**Grado de cementación:** Cemento que une los granos y que se forma posterior a la depositación ya sea por dilución de los mismos granos o por transporte.

**Grava:** En Geología y en Construcción se denomina grava a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, aunque no existe homogeneidad de criterio para el límite superior.

**Hidrólisis de ésteres:** Es la descomposición de los ésteres en medios acuosos bajo catálisis ácida o básica para producir ácidos carboxílicos y alcoholes. La hidrólisis básica recibe el nombre de saponificación y transforma ésteres en carboxilatos.

**Hidroxilación:** Es una reacción química en la que se introduce un grupo hidroxilo (OH) en un compuesto reemplazando un átomo de hidrógeno, oxidando al compuesto.

**Horizonte argílico:** Es un horizonte subsuperficial con un porcentaje mayor de arcillas filosilicatadas que el material de suelo subyacente.

**Horizonte cámbico:** Es un horizonte subsuperficial que muestra evidencias de alteración respecto de horizontes subyacentes.

**Humus:** Capa superficial del suelo, constituida por la descomposición de materiales animales y vegetales.

**Ligandos:** Son iones o moléculas que rodean a un metal, formando un compuesto de coordinación.

**Limos:** Son partículas minerales de entre 0,001 milímetro y 0,01 mm.

**Metalotioneínas:** Constituyen una familia de proteínas ricas en cisteína, de bajo peso molecular (entre 6000 y 7000 Da).



**Metilparati6n:** Insecticida que no ocurre naturalmente en el medio ambiente. El metilparati6n puro existe en forma de cristales blancos. El metilparati6n impuro es un lquido pardusco que huele a huevos podridos.

**Miocardio:** Es el tejido muscular del coraz6n, m6sculo encargado de bombear la sangre por el sistema circulatorio mediante contracci6n.

**Mollisoles:** Suelos de zonas de pastizales. Ubicados en climas templados, h6medos y semi6ridos. No presentan lixiviaci6n excesiva. Son suelos oscuros, con buena descomposici6n de materia org6nica gracias a los procesos de adici6n y estabilizaci6n.

**Napa:** L6mite superior de la zona saturada (todos los poros ocupados por agua) del perfil de un suelo/sedimento.

**Neurog6nico:** Referente al Sistema Nervioso, espec6ficamente a las Neuronas.

**Nitrilos:** Son compuestos org6nicos que poseen un grupo ciano ( $-C\equiv N$ ) como grupo funcional principal. Son derivados org6nicos del cianuro de los que el hidr6geno ha sido sustituido por un radical alquilo.

**Nivel fre6tico:** Corresponde (en un acuífero libre) al lugar en el que se encuentra el agua subterr6nea. En este nivel la presi6n de agua del acuífero es igual a la presi6n atmosf6rica.

**Perfiles del suelo:** Conjunto de cualidades que le son propias a un suelo, como lo son: el color, la textura y las diferentes estructuras.

**Plaguicidas Organofosforados:** Son sustancias biodegradables en la naturaleza, sin tendencia a acumularse en las grasas del organismo, pero con gran actividad neurot6xica que va a producir intoxicaciones agudas de gravedad. Son los insecticidas, junto con los carbamatos y piretroides, m6s ampliamente utilizados en la actualidad.

**Porcentaje de saturaci6n de bases:** Expresa la proporci6n de bases que hay respecto del total de la capacidad de intercambio de cationes (CIC).

**Porosidad del suelo:** La porosidad de un suelo viene dada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total.

**Presi6n de vapor:** Es la presi6n a la que a cada temperatura las fases lquida y de vapor se encuentran en equilibrio.

**Quinona:** Es uno de los dos is6meros de la ciclohexanodiona o bien un derivado de los mismos. Su f6rmula qu6mica es  $C_6H_4O_2$ .

**Radionucle6tidos:** Elementos radiactivos.

**RDX:** Ciclotrimetilentrinitramina, también conocida como Ciclonita, Hexógeno, o T4, es un explosivo nitroamina utilizado ampliamente en aplicaciones militares e industriales.

**Rocas piroclásticas:** Rocas formadas por agregación de piroclastos.

**Rocas metamórficas:** Son aquellas que se han formado a partir de otras rocas que han experimentado altas presiones y/o altas temperaturas.

**Rocas sedimentarias:** Rocas compuestas por materiales transformados, formadas por la acumulación y consolidación de materia mineral pulverizada, depositada por la erosión.

**Silvopastura:** Actividad que consiste en plantar árboles en áreas de pastos degradados con la intención de mejorar la calidad del suelo, prevenir la erosión, proporcionar hábitat y alimento para la vida silvestre.

**Sustancias húmicas:** Consisten en mezclas heterogéneas de moléculas de pequeño tamaño que se forman a partir de la transformación biológica de células muertas y se asocian mutuamente en estructuras supramoleculares, que pueden separarse en sus componentes de menor tamaño por fraccionamiento químico.

**Talpetate:** Tierra caliza y arenosa que se emplea para pavimentos de carreteras.

**Tejido adiposo:** Es el tejido de origen mesenquimal (un tipo de tejido conjuntivo) conformado por la asociación de células que acumulan lípido en su citoplasma.

**Textura Franco-Arcilloso:** Es un suelo de textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos. Tiene bastante arcilla pero también lleva mucho limo y poca arena.

**Textura Franco-Arenoso:** Es un suelo que posee bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga más cohesión entre partículas.

**Triazinas:** Son una familia de tres compuestos orgánicos, isómeros entre sí, cuya fórmula empírica es  $C_3H_3N_3$ .

**Urea:** Es un compuesto químico cristalino bipolar e incoloro, de fórmula  $CO(NH_2)_2$

**Xenobióticos:** Compuestos sintetizados por el hombre en el laboratorio.