

Betty Beatriz González Osorio  
Daniel Alejandro Pazmiño Rodríguez

---

# USO DE AGROQUÍMICOS Y ACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LA PRODUCCIÓN DE TABACO

---



## **Betty Beatriz González Osorio**

Docente principal Facultad de Ciencias Ambientales, UTEQ, estudios de doctorado en Economía de los Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM-México). Maestría en Economía Agraria; Estudios de posgrado: Planificación, Formulación, Elaboración y Evaluación de proyectos. Trabaja en el área de Economía de los recursos naturales renovables, Valoración económica - ambiental, desarrollo rural y sostenible, Economía agroalimentaria, política económica agropecuaria, calidad ambiental, agua y medio ambiente.

Investigadora agropecuaria Acreditada por la SENESCYT

Código Orcid: <https://www.orcid.org/0000-0002-2851-2660>;

Scholar.google: [https://www.scholar.google.es/citations?user=YJiapxwAAAAJ&hl=es](https://www.scholar.google.es/citations?user=YJiapxwAAAAJ&hl=es;);

Researchgate: [https://www.researchgate.net/profile/Betty\\_Gonzalez](https://www.researchgate.net/profile/Betty_Gonzalez).

## **Daniel Alejandro Pazmiño Rodríguez**

Master en Ciencias en Desarrollo y Medio Ambiente

Ing. Agrónomo, área en la que se desarrolla: Fomento Productivo, Asesor Agropecuario

Jefe De Almacén Agripac-SA.

Betty Beatriz González Osorio  
Daniel Alejandro Pazmiño Rodríguez

# USO DE AGROQUÍMICOS Y ACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LA PRODUCCIÓN DE TABACO



USO DE AGROQUÍMICOS Y ACUMULACIÓN DE  
CADMIO Y PLOMO EN LA PRODUCCIÓN DE TABACO

Betty Beatriz González Osorio  
Daniel Alejandro Pazmiño Rodríguez  
Docente Universidad Técnica Estatal de Quevedo

USO DE AGROQUÍMICOS Y ACUMULACIÓN DE  
CADMIO Y PLOMO EN LA PRODUCCIÓN DE TABACO

Editado por Colloquium  
ISBN: 978-9942-814-29-6  
Primera edición 2019

© Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
© Colloquium

La obra fue revisada por pares académicos antes de su proceso editorial, en caso de requerir certificación debe solicitarla a:  
sbores@colloquium-editorial.com

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Ecuador 2019

## PRÓLOGO

La investigación **“USO DE AGROQUÍMICOS Y ACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS DEDICADOS A LA PRODUCCION DE TABACO”** introduce un tema de alto interés para el buen uso de los suelos agrícolas, que abre la posibilidad de medir la sostenibilidad de proyectos.

La extracción de datos a través de la encuesta y diseños experimentales son herramientas válidas para obtener conocimientos. El autor posee gran dominio del tema presentando recomendaciones que sustentan el desarrollo del trabajo

La metodología utilizada muestra una estrecha relación entre las variables en un escenario real del cultivo de tabaco en el cantón Buena Fe; puesto que los resultados demuestran una interacción, entre el bienestar y del ecosistema.

A criterio personal, esta investigación define de manera correcta la problemática de estudio y sus objetivos. Las conclusiones están bien definidas y enmarcan todos los resultados obtenidos.

Julio Pazmiño



## INTRODUCCIÓN

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre, la búsqueda de métodos para cuidarlos y recuperarlos. En el contexto del uso de productos fitosanitarios en el área agrícola, actualmente se considera que no se puede prescindir de los plaguicidas en los campos de cultivo, si se requiere mantener las tasas de producción. Sin embargo, a pesar de que la eliminación de los plaguicidas es una actividad difícil de efectuar, es posible fomentar su uso adecuado, por medio de la aplicación de dosis más bajas, el desarrollo de nuevas fórmulas, incluyendo la utilización integrada de métodos orgánicos (Gómez de Barreda, 1999). De acuerdo con el sistema Nacional de Indicadores Ambientales disponible en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), el consumo aparente de fertilizantes en cultivos en el Ecuador se ha incrementado desde un valor de 83,11 toneladas por cada mil hectáreas en el año 2002, hasta un valor de 107,95 toneladas por cada mil hectáreas en el año 2012, lo cual representa un incremento del 29.9%. Asimismo, el consumo de plaguicidas ha incrementado desde un valor de 3,13 toneladas por cada mil hectáreas en el año 2002 hasta un valor de 11,48 toneladas por cada mil hectáreas, lo cual representa un incremento del 266,8% (Ministerio del Ambiente, 2016).

El uso de fertilizantes y plaguicidas para aumentar la producción de los cultivos enriquece el suelo con metales pesados, ya que estos se encuentran como impurezas. Así, el superfosfato es la principal fuente de metales pesados que se acumulan en el suelo, Cd, Co, Cu y Zn. No obstante,

se conoce también que fertilizantes compuestos por sulfatos de hierro y de cobre son fuentes significativas de Pb. Asimismo, el uso de plaguicidas está generalizado en todo el mundo, y su consumo ha incrementado las concentraciones de metales pesados tales como el Cd y el Pb en los suelos agrícolas (Ramos, 2002).

Los metales pesados son elementos químicos que el hombre no crea ni destruye, son constituyentes naturales de la corteza terrestre, de rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua. Sin embargo el papel que el hombre ha desempeñado en la presencia ambiental de metales es por una parte, introducir en el medio ambiente estos elementos como consecuencia de las distintas actividades humanas y, por otra, alterar la forma química o bioquímica en que se encuentran (Moreno 2003). En el suelo los metales pesados pueden repartirse entre la fase acuosa y la sólida, mediante procesos como la adsorción-desorción y la precipitación-disolución, que son regulados por factores ambientales, principalmente el pH, la capacidad de intercambio catiónico y el potencial redox. Estos procesos, junto con la lixiviación, pueden provocar efectos perjudiciales contra el ambiente (Diez, 2008); (Gómez de Barreda, 1999).

La contaminación de suelos por fitosanitarios, constituye un problema actual de enorme importancia. Entre esos productos, son los plaguicidas llamados residuales o remanentes, los que originan con más frecuencia incidentes de acumulación en suelos, siendo el tabaco unos de los cultivos que mayor cantidad de plaguicidas requiere.

El contenido de la investigación se organiza en cinco capítulos: en el primer capítulo, el marco contextual de la investigación expone el problema de investigación, los objetivos, y la justificación de su importancia y utilidad; en el capítulo dos, el marco teórico comprende, por un lado, la fundamentación conceptual que presenta las definiciones de las variables importantes en la investigación, y por otro, la fundamentación teórica, que desarrolla el esquema teórico en que se enmarca la investigación. Luego, en el capítulo tres se expone detalladamente los métodos empleados para cada uno de los objetivos específicos. Finalmente, los capítulos cuatro y cinco muestran los resultados obtenidos en la investigación y las conclusiones, respectivamente.

## Índice

CAPÍTULO 1.....	8
UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	8
EXIGENCIAS DEL CULTIVO .....	10
ABONADO.....	11
PLAGAS Y ENFERMEDADES .....	12
FERTILIZANTES.....	14
CLASIFICACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS.....	15
DINÁMICA DE LOS PLAGUICIDAS EN EL SUELO.....	17
PROCESOS DE ACUMULACIÓN .....	19
PROCESOS DE TRANSPORTE .....	20
PLAGUICIDAS ORGÁNICOS MÁS IMPORTANTES .....	22
FACTORES QUE REGULAN LA DINÁMICA DE LOS PLAGUICIDAS EN EL SUELO.....	25
SUELO.....	29
METALES PESADOS .....	32
CAPÍTULO 2.....	37
PROCESO METODOLÓGICO Y SUS RESULTADOS.....	37
DESTINO FINAL DE LOS RESIDUOS Y ENVASES DE AGROQUÍMICOS .....	42
CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN EL SUELO DEDICADO A LA PRODUCCIÓN DE TABACO.....	42
CONCENTRACIONES DE CADMIO Y PLOMO EN LOS SUELOS DEDICADOS A LA PRODUCCIÓN DE TABACO CON LOS LÍMITES PERMISIBLES POR EL TULSMA. ....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

## **Capítulo 1**

### **Ubicación y contextualización de la problemática**

En el Litoral ecuatoriano es posible encontrar una diversidad de cultivos, entre los que se destaca el cultivo de tabaco, cuya extensión de producción es de 2200 ha. Una de las propiedades tabacaleras importantes se localiza en el cantón Buena Fe, Recinto El Descanso, cuya denominación es Hacienda de Tabaco de Capa Tabaganesha.

El cantón Buena mantiene suelos de texturas franco, franco arenoso, limoso y franco limoso (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Los Ríos 2015-2019). La riqueza de los suelos del cantón y de su zona de influencia está promoviendo e incentivando la cultura de tabaco a sus habitantes, y toda su producción tiene como destino el mercado externo. Así, el tabaco se está constituyendo en una excelente base productiva generadora de empleo que ha incidido favorablemente en el fortalecimiento de las finanzas, la productividad y el comercio de la población asentada en el recinto y sus zonas aledañas. No obstante, desde la perspectiva ambiental, la agricultura cuando se practica de manera intensiva provoca una serie de impactos que afectan el recurso suelo, entre ellos la acumulación de metales pesados debidos al uso de fertilizantes y biocidas.

Debido a que el uso de fertilizantes y plaguicidas es primordial en todo el ciclo vegetativo de la planta, el suelo y el resto de los elementos naturales y sociales del entorno están expuestos constantemente a los impactos negativos de su utilización, principalmente la contaminación con altos niveles de metales pesados en el suelo, principalmente el

cadmio, plomo, zinc y níquel. Se reportan estudios de la influencia del uso de fertilizantes fosfatados en el lixiviado de plomo, que también el uso de algunos fertilizantes, que lo contienen como contaminante, causan la liberación de cadmio en los suelos agrícolas (Ramos, 2002). Complementariamente, (Alloway, 2013) identificó que el cadmio proviene principalmente del uso de fertilizantes y el plomo por la aplicación de plaguicidas.

No se ha reportado información local y nacional sobre la acumulación de metales pesados en los suelos dedicados al cultivo de *Nicotiana tabacum*, sin embargo, en relación con otros cultivos agrícolas como el banano, estudios han concluido que el uso de agroquímicos podría estar detrás del elevado contenido de cadmio en suelos agrícolas de la provincia de Los Ríos (Félix et al., 2015).

El manejo de agroquímicos y su aplicación en la agricultura constituye actualmente una de las mayores preocupaciones ambientales en el mundo entero. En este sentido, las crecientes necesidades en la producción de alimentos para una población que crece exponencialmente, han contribuido a intensificar la producción y el uso de sustancias químicas para el control de plagas en los cultivos agrícolas.

En el cultivo de tabaco, el uso de plaguicidas y fertilizantes es primordial en todo el ciclo vegetativo de la planta, de modo que el suelo, y el resto de los elementos naturales y sociales del entorno, están expuestos constantemente a los impactos negativos de su utilización, principalmente la contaminación con altos niveles de metales pesados en el suelo. En este contexto, el cadmio y el plomo aparecen

como los metales pesados que comúnmente se hallan en concentraciones tóxicas en suelos empleados a cultivos según la usanza de la agricultura tradicional, que depende de la aplicación sistemática de agroquímicos. Por todo esto, el conocimiento del manejo integral de plaguicidas y fertilizantes en el cultivo de tabaco en la Hacienda Tabaganasha, y la determinación de la contaminación del suelo producto de dicha actividad, permitirán establecer un Plan de Manejo Ambiental que, integralmente, contribuirá a prevenir, mitigar y/o eliminar los impactos ambientales negativos.

### **Exigencias del cultivo**

En las regiones tropicales, con climas cálidos y húmedos, es donde mejor se cultiva. Le va bien la temperatura uniforme. En estos climas, las hojas transpiran poco, y el grosor de la hoja disminuye dando mayor finura a la misma. (Infoagro, 2013)

No debe haber grandes oscilaciones ni en temperatura ni en luminosidad. Las interrupciones vegetativas por sequía, exceso de humedad, descensos nocturnos de temperatura, etc., aumentan la absorción del cloro lo que provoca una disminución en la combustibilidad de la hoja. (Infoagro, 2013)

La temperatura óptima para el cultivo del tabaco varía entre los 18 y 28°C. Durante su fase de crecimiento en semillero, requieren temperaturas superiores a los 16°C, y desde el trasplante hasta la recolección se precisa un período libre de helada de 90-100 días (Infoagro, 2013).

Los climas secos y cálidos producen una hoja más corta y con mayor contenido en nicotina. Un aporte de agua suficiente y una humedad ambiente elevada producen hojas más grandes y con menor proporción de nicotina (que es la tendencia actual del mercado). (Infoagro, 2013)

Esta planta prefiere un poco de sequía a un exceso de agua que sería pernicioso. También se ha observado que una humedad alta, al coincidir con períodos de luz, produce un aumento en el contenido en almidón y nicotina de las hojas. En general se puede decir que el tabaco prefiere tierras francas, tirando a sueltas, profundas, que no se encharquen y que sean fértiles (Infoagro, 2016).

En los suelos arenosos se obtienen tabacos finos y de color claro, y los arcillosos dan productos más bastos. No debe sembrarse el tabaco en suelos donde haya cloruros, por lo que se debe huir de las tierras salitrosas.

### **Abonado**

Para obtener una abundante cosecha, la base fundamental es una buena aportación de nitrógeno.

El exceso de nitrógeno embastece la hoja y le da un color verde sucio no deseable. Por otra parte, un déficit de N ocasiona un rendimiento bajo, con hojas pequeñas y tallos delgados.

Un exceso de nitrógeno también produce un aumento de la nicotina, nitratos y amoníaco, disminuyendo la asimilación del fósforo y potasio.

El fósforo es el encargado de acelerar el proceso de maduración de las hojas. Su exceso produce hojas

quebradizas y acartonadas (que arden mal y dan una ceniza negruzca). La deficiencia de fósforo hace que las hojas se vuelvan verde azuladas, pues aumenta la proporción de clorofila. Cuando la deficiencia es muy grande se produce un atraso en la aparición de las flores y en la madurez de las hojas.

El potasio es un elemento muy importante para la calidad de los tabacos. Las sales potásicas que se encuentran en las hojas confieren al producto industrial una magnífica capacidad de combustión. (Infoagro, 2016).

Se considera que existe una deficiencia de potasio cuando en la materia seca de la hoja el porcentaje de  $K_2O$  se encuentra por debajo de dos. Las hojas presentan clorosis con los bordes encorvados hacia adentro, tienen menos consistencia, son más cortas y menos elásticas. (Infoagro, 2016).

El calcio, cuando se encuentra en exceso, da lugar a una ceniza compacta que dificulta el paso del aire al interior de los cigarrillos, produciéndose una combustión incompleta. Por el contrario, el magnesio da una ceniza porosa, suelta y de color claro que mejora la combustión. Es muy importante que la relación calcio/magnesio en las hojas sea la adecuada (Infoagro, 2016).

## **Plagas y enfermedades**

### **Plagas en los semilleros:**

Caracoles: los Gasterópodos más importantes son las “babosas” (*Agriolimax agrestis*) y el caracol de los jardines (*Helix hortensis*). Se recomienda tratar con metaldehído. (Infoagro, 2016).

Alacrán cebollero (*Gryllotalpa gryllotalpa*): es un ortóptero que provoca bastantes daños en los semilleros de tabaco. Tratar con fosfuro de magnesio o fluosilicato de bario. (Infoagro, 2016).

Hormigas: es frecuente su presencia en semilleros; tratar con Lindano.

### **Enfermedades en los semilleros:**

Mildiu de los semilleros (*Pythium debaryanum*): se ennegrece el cuello del tallo y después toda la planta quedando recubierta de una pelusilla blanca.

Podredumbre de la raíz (*Thielavia basicola*): las plantas toman un color amarillento. La raíz y el cuello del tallo se ennegrecen.

Fusariosis: en la parte alta de la raíz se ven manchas grisáceas rodeadas de otras amarillas.

Moho azul (*Peronospora tabacina*): hay una presencia de manchas amarillas en el haz de las hojas que se corresponden con otras de color gris azulado en el envés, aparentando una especie de pelusa.

### **Plagas del tabaco en el campo:**

Gusanos del suelo: al tabaco le ataca la rosquilla o gusano gris (*Agrotis segetum*) en su estado de larva, royendo el cuello de la planta recién trasplantada. Los gusanos de alambre (*Agriotes lineatus*), también perjudican al tabaco.

Trips o piojillos: viven en el envés de las hojas chupando la savia; además actúan como vectores de virus.

Nematodos: *Meloidogyne incognita*, las raíces presentan tuberosidades y deformaciones.

### **Enfermedades en el campo:**

Moho azul: también ataca en el campo, siendo hoy en día la enfermedad de mayor importancia.

Otras enfermedades: menos importantes que el moho azul como el *Oidium* o cenizo, la podredumbre de raíz (*Thielavia basicola*) y la fusariosis (Infoagro, 2016)

## **Fertilizantes**

### **Minerales**

Los fertilizantes minerales son rocas molidas que contienen nutrientes. La cal dolomítica, por ejemplo, es una buena fuente calcio y magnesio. La mayoría de los minerales tienen un bajo contenido de nutriente y se disuelven lentamente, por lo que su utilidad como fertilizante es limitada (Plaster, 2005).

### **Orgánicos**

Son materiales orgánicos como el estiércol animal. Muchos pueden considerarse como fertilizantes de “descarga lenta” porque los nutrientes son liberados lentamente a lo largo de la estación de crecimiento, a medida que la materia orgánica se descompone (Plaster, 2005).

### **Orgánicos sintéticos**

Son fabricados por la industria pero son productos químicos orgánicos (contienen carbono e hidrógeno). La urea está disponible rápidamente para las plantas pero otros (la

mayoría de los derivados de la urea) se fabrican para que sean fertilizantes de descarga lenta. El contenido de nutriente es generalmente alto en comparación a los fertilizantes orgánicos naturales y minerales (Plaster, 2005).

### **Inorgánicos**

Son naturales o fabricados y son sustancias químicas inorgánicas. La mayoría se disuelve rápidamente en el suelo para una rápida respuesta de crecimiento y tiene un alto contenido de nutriente (Plaster, 2005).

### **Plaguicidas**

#### **Clasificación de los plaguicidas**

Los plaguicidas pueden clasificarse principalmente según tres criterios específicos: su actividad biológica, su naturaleza química, y su toxicidad.

#### **Según su actividad biológica**

Una forma común de clasificar a los plaguicidas se basa en la plaga a la que atacan. Así, a las sustancias que impiden o retrasan el desarrollo de los hongos se les llama fungicidas, a las que controlan o eliminan a los insectos, insecticidas; a las que controlan a los ácaros, acaricidas, etc. Pese a su popularidad, esta clasificación puede causar confusiones, ya que en muchos casos una sustancia puede ser, por ejemplo, insecticida y nematocida a la vez; además, esa clasificación no permite correlacionar la estructura de la sustancia y sus efectos tóxicos, su mecanismo de acción, la prevención de riesgos en su uso, el tratamiento médico, su comportamiento ambiental y otros puntos igualmente importantes (SEMARNAT, 2016).

## **Según su naturaleza química**

Los grupos de plaguicidas de mayor uso en el mundo se presentan clasificados desde el punto de vista químico. La principal ventaja de esta clasificación es que permite agrupar a los plaguicidas con un criterio uniforme y científico y establecer una correlación entre estructura y actividad, estructura y toxicidad, estructura y mecanismos de degradación, etc.

En 1978, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció una clasificación basada en su peligrosidad o grado de toxicidad aguda, definida ésta como la capacidad del plaguicida de producir un daño agudo a la salud a través de una o múltiples exposiciones, en un período de tiempo relativamente corto. La toxicidad se mide a través de la dosis letal media ( $DL_{50}$ )\* o de la concentración letal media ( $CL_{50}$ ). Al basarse en la observación de especies animales, es importante señalar que estos indicadores no proporcionan información sobre los efectos crónicos, ni sobre la citotoxicidad de algún compuesto.




CATEGORÍA TOXICOLÓGICA	Símbolo pictográfico para cada categoría	DL50 aguda (rata): mg de formulación por kg de peso corporal			
		Por vía oral		Por vía cutánea	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
la EXTREMADAMENTE PELIGROSOS	 MUY TÓXICO	5 ó menos	20 ó menos	10 ó menos	40 ó menos
lb ALTAMENTE PELIGROSOS	 TÓXICO	5-50	20-200	10-100	40-400
II MODERADAMENTE PELIGROSOS	 DANINO	50-500	200 - 2000	100 - 1000	400 - 4000
III LIGERAMENTE PELIGROSOS	CUIDADO	500 - 2000	2000 - 3000	Más de 1000	Más de 4000
IV	PRECAUCIÓN	Más de 2000	Más de 3000		

Figura 1. Clasificación de los plaguicidas según su toxicidad

### Dinámica de los plaguicidas en el suelo

Cuando un plaguicida se aplica al campo, bien en forma de pulverización o líquido se distribuye en las distintas fases del ambiente suelo, agua, aire, animales y plantas. La distribución tendrá lugar de forma que la concentración en cada una de las fases sea función tanto de las propiedades químicas del compuesto como de la fase (Sánchez & Sánchez, 1984).

El estudio de la interacción de los plaguicidas con la fase suelo, sustrato primario y más importante, tiene especial interés, ya que la mayor parte de los mismos llega a ponerse en contacto con la superficie de éste ya sea directa o indirectamente por lo que se hace necesario conocer su evolución en este sistema.

Los mecanismos que influyen en la persistencia y evolución de plaguicidas en el suelo están esquematizados en la figura 2. Estos mecanismos pueden actuar solos o en combinación sobre la estructura de los diferentes productos específicos y dependen de otras variables, como humedad, temperatura, materia orgánica, tipo de arcilla, pH, intercambio iónico del suelo, así como de las características fisicoquímicas del compuesto de que se trate (Sánchez & Sánchez, 1984).

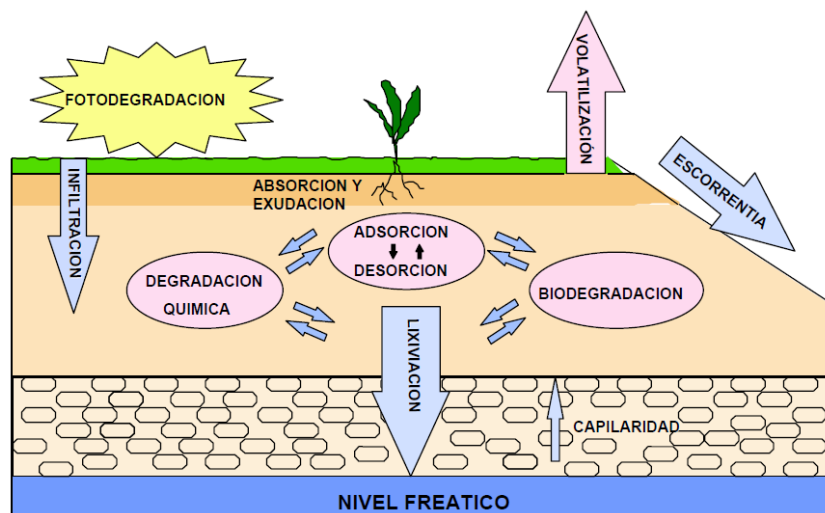


Figura 2. Dinámica de los plaguicidas en el suelo

En definitiva 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).

## **Procesos de acumulación**

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.

De todos los mecanismos implicados en la evolución de plaguicidas en el suelo mencionados en el apartado anterior, la adsorción- desorción es el más importante por influir directa o indirectamente en la magnitud y efecto de los otros. Es fácil comprender que la adsorción influye en el lavado, en la volatilización e incluso en la biodegradación por microorganismos ya que éstos no pueden degradar el plaguicida si éste es inaccesible. Se ha demostrado que los sustratos que no son accesibles a los microorganismos no son atacados o lo son más lentamente (Sánchez & Sánchez, 1984).

El proceso de adsorción de plaguicidas por el suelo se refiere, a la interacción entre estos compuestos y las partículas del suelo por lo que estará íntimamente relacionado con la superficie específica y con las propiedades físico-químicas de estas partículas y en consecuencia con el tamaño de las mismas. De ahí que la fracción coloidal será la más activa en este proceso, o sea, la que tendrá mayor facilidad para retener moléculas de plaguicidas (Sánchez & Sánchez, 1984).

La fracción coloidal del suelo está constituida por una parte orgánica (materia orgánica) y una parte inorgánica (minerales de la arcilla). Las interacciones entre las moléculas de plaguicidas y las fracciones coloidales del suelo están influidas considerablemente por la humedad,

temperatura, pH, y contenido de minerales y materia orgánica del suelo. A su vez también están relacionadas con las características de los compuestos orgánicos, en cuanto a su solubilidad en el agua, polaridad, tamaño molecular y características químicas. La adsorción es medida generalmente dejando reaccionar el suelo con soluciones acuosas del plaguicida en un rango de concentraciones. La cantidad de equilibrio adsorbida se obtiene por diferencia entre la cantidad añadida y la que permanece en solución (Sánchez & Sánchez, 1984).

### **Procesos de transporte**

#### **Difusión**

Es el movimiento de moléculas debido a 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. Para medir la difusión de un compuesto en el suelo hay que considerar la interacción conjunta de parámetros tales como la porosidad, los procesos de adsorción, la naturaleza del compuesto, etc. (García & Dorronsoro, 2015).

#### **Lixiviación**

La lixiviación es el fenómeno ligado a la dinámica del suelo, por medio del cual el plaguicida se desplaza hacia el interior del compartimento suelo fuera de su área objetivo, causando en algunos casos la contaminación de los mantos freáticos, dependiendo de la profundidad de éstas y de la movilidad del plaguicida. La lixiviación es un proceso que depende de las características químicas del plaguicida y las

propiedades químicas y físicas del suelo (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999).

El potencial de lixiviación de los plaguicidas está estrechamente relacionado con el grado de afinidad con la materia orgánica presente en el suelo, los tipos de arcillas presentes y las características hidráulicas del mismo (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999).

### **Volatilización**

La volatilización consiste en el flujo del compuesto hacia la fase aire y supone uno de los mecanismos de pérdida de masa hacia la atmósfera. Este proceso está regido por la ley de Henry y su mayor o menor intensidad depende de la presión de vapor del compuesto, de manera que los compuestos con alta presión de vapor tenderán a volatilizarse, excepto que también sean muy solubles en agua (Morell & Candela, 1998).

Un plaguicida con presión de vapor mayor a 10,6 mm Hg puede fácilmente volatilizarse y tiende a alejarse del lugar donde se aplicó.

Los plaguicidas con presión de vapor menor a  $10^{-8}$  Pa tienen bajo potencial para volatilizarse. Los plaguicidas con una presión de vapor mayor a  $10^{-3}$  tienen alto potencial para volatilizarse. (Morell & Candela, 1998).

## **Plaguicidas orgánicos más importantes**

### **Plaguicidas organoclorados (Derivados Halogenados)**

Son compuestos orgánicos que contienen generalmente átomos de cloro en su molécula, y que poseen una alta toxicidad para los insectos.

Dentro de estos compuestos podemos distinguir tres grupos (García & Dorronsoro, 2015):

- ✓ Derivados halógenos de hidrocarburos alifáticos que son utilizados principalmente como fumigantes: metilbromuro, 1, 2-dicloropropano, etc.
- ✓ Derivados halogenados de hidrocarburos alicíclicos con importancia práctica como insecticidas y fungicidas: HCH, lindano, toxafeno, clordano, heptacloro, aldrín, dieldrín, endrín, etc.
- ✓ Derivados halogenados aromáticos: Tienen propiedades insecticidas, acaricidas, herbicidas y fungicidas dependiendo de la naturaleza del átomo de halógeno, del número de ellos en la molécula de benceno y de su posición en el anillo: DDT, DDD, metoxicloro, hexaclorobenceno (HCB), etc.

Durante la década de los años 70, después de la prohibición del DDT, el insecticida que lo sustituyó en muchas aplicaciones agrícolas fue el toxafeno. Este insecticida es una mezcla de cientos de sustancias similares, todas ellas producidas cuando el hidrocarburo natural, denominado canfeno, se clora parcialmente. El toxafeno fue muy utilizado como insecticida en los Estado Unidos, antes de su prohibición en el año 1982, por ser extremadamente

tóxico para los peces y bioacumularse en los tejidos grasos. (García & Dorronsoro, 2015).

Durante la Segunda Guerra Mundial, se descubrió que el derivado del ciclohexano con uno de los dos hidrógenos de cada carbono sustituido por cloro, el Hexaclorociclohexano (HCH), es un insecticida muy efectivo contra una variada gama de insectos. Erróneamente, a este compuesto también se le denomina hexacloruro de benceno y se le confunde con el hexaclorobenceno. Las distintas investigaciones que se han llevado a cabo hasta la fecha indican que sólo uno de los ocho isómeros del HCH realmente es el que mata a los insectos, el isómero gamma, el cual se vende ahora de forma separada con el nombre de Lindano. Este compuesto es el ingrediente activo de varias preparaciones médicas comerciales, utilizadas para librar a los niños de piojos y de la sarna, así como para tratar semillas y plántulas. (García & Dorronsoro, 2015).

Estos compuestos, junto con el aldrín, dieldrín, endrín, mírex, DDT, heptacloro y clordano son regulados para su eliminación en el marco del Convenio de Estocolmo, por ser considerados como Contaminantes Orgánicos Persistentes.

### **Plaguicidas organofosforados**

Estos compuestos son ésteres o amidas derivadas del ácido fosfórico, tiofosfórico, y ditiofosfórico, principalmente. Tienen su origen en las investigaciones que se realizaron en la II Guerra Mundial sobre los gases neurotóxicos. El descubrimiento de sus propiedades insecticidas se debe a Schader, siendo el tetrafosfato de hexaetilo el primero de estos compuestos con aplicación comercial y que es, en

realidad, una mezcla cuyo componente más activo es el pirofosfato de teraetilo (TEPP). Posteriormente, este mismo científico desarrolló el paratión, que la empresa Bayer empezó a comercializar en 1944 (Sánchez & Sánchez, 1984).

Los plaguicidas organofosforados no son persistentes; en este sentido, representan un avance sobre los organoclorados. Sin embargo, son mucho más tóxicos a los seres humanos y otros mamíferos que los organoclorados. (Sánchez & Sánchez, 1984).

### **Plaguicidas Carbamatos**

Los insecticidas carbamatos son derivados del ácido carbámico (de la misma manera que los OPs son derivados del ácido fosfórico). Y de igual manera que los OPs, su modo de acción es la inhibición de la vital enzima colinesterasa (ChE) (EBYSOS, 2013).

El primer insecticida carbamato que tuvo éxito, el carbarilo (Sevin®), fue introducido en 1956. A nivel mundial este producto se ha vendido más que todos los demás carbamatos juntos. Hay dos cualidades particulares que han hecho de este carbamato el más popular: su toxicidad oral y dermal para mamíferos es muy baja y tiene un espectro de acción excepcionalmente amplio para control de insectos. Otros insecticidas carbamatos que han durado mucho en el mercado son metomilo (Lannate®), carbofurán (Furadan®), aldicarb (Temik®), oxamilo (Vydate®), tiodicarb (Larvin®), metiocarb (Mesurol®), propoxur (Baygon®), bendiocarb (Ficam®), carbosulfán (Advantage®), aldoxicarb (Standak®), promecarb (Carbamult®), y fenoxicarb (Logic®),

Torus®). Carbamatos que han entrado más recientemente al mercado incluyen pirimicarb, indoxacarb (registrado en el 2000), alanicarb y furatiocarb (EBYSOS, 2013).

Igual que los plaguicidas organofosforados, los carbamatos son compuestos que poseen una vida corta en el ambiente, ya que reaccionan con el agua y se descomponen para dar productos más simples o inocuos. Sin embargo, su toxicidad suele ser mucho más alta en comparación con los organoclorados: por ejemplo, el carbofurano tiene un  $DL_{50}$  de 8 mg/kg en ratas; el carbarilo con un  $DL_{50}$  de 307 mg/kg; y el aldicarb con un  $DL_{50}$  de 0,9 mg/kg, siendo éste último muy tóxico en seres humanos.

### **Factores que regulan la dinámica de los plaguicidas en el suelo**

#### **Volatilidad y presión de vapor**

La volatilidad representa la tendencia del plaguicida a pasar a la fase gaseosa. Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentren y de la temperatura ambiente. La volatilidad se mide a partir de la constante de Henry que depende de la presión de vapor en estado líquido y de la solubilidad en agua (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999).

Es una medida de volatilidad de una sustancia química (plaguicida) en estado puro y es un determinante importante de la velocidad de volatilización al aire desde suelos o cuerpos de agua superficiales contaminados. La presión de vapor varía; se incrementa la presión cuando se incrementa la temperatura y disminuye cuando disminuye la temperatura.

## Capacidad de adsorción y coeficiente de distribución

Como ya se vio anteriormente, las moléculas de un compuesto en solución resultan adsorbidas en la superficie de un sólido a través de una reacción química (quimisorción) o por fuerzas físicas (por ejemplo, las de Van der Waals), y es un factor importante porque regula la tendencia del plaguicida a quedar retenido en el suelo (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999).

La retención del plaguicida debido a la adsorción en el suelo se puede determinar en función del coeficiente de reparto agua-octanol  $K_{ow}$ , a través de un coeficiente de distribución entre fases, denotado por  $K_{SD}$ , definido como

$$K_{SD} = 6,3 \times 10^{-7} f_{oc} K_{ow}$$

donde  $f_{oc}$  es la fracción, en peso, de carbono orgánico en el terreno.

## Solubilidad y coeficiente de reparto octanol-agua

La solubilidad es una medida de la capacidad de disolverse una determinada sustancia (soluto) en un determinado medio (solvente), generalmente agua. La solubilidad en agua de un plaguicida es una medida que determina la máxima concentración de un plaguicida a disolverse en un litro de agua y por lo general tiene un rango de 1 a 100,000 mg/l. Los plaguicidas muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad a los suelos y por lo tanto, son fácilmente transportados del lugar de la aplicación por una fuerte lluvia, riego o escurrimiento, hasta los cuerpos de agua superficial y/o subterránea (Eweis et al., 1999).

Las características hidrófobas de un plaguicida, en otras palabras su solubilidad en agua o grado de apolaridad, se

mide mediante el coeficiente de partición octanol-agua,  $K_{ow}$ , expresado como el cociente de la concentración másica de un compuesto en octanol, dividido por la concentración en agua (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999).

### **Cantidad de materia orgánica**

La capacidad de intercambio catiónico de las sustancias húmicas es más elevada que la de los minerales de arcilla y tienen además una superficie específica mayor, por tanto son más activas. A mayor contenido en materia orgánica, más capacidad tendrá el suelo de fijar plaguicidas (García & Dorronsoro, 2015).

La importancia de la materia orgánica en influenciar el comportamiento de los pesticidas orgánicos en el suelo, incluye efectividad contra las especies objetivo, fitotoxicidad a los cultivos subsiguientes, permeabilidad (lixiviación), volatilidad y biodegradabilidad. Se encontró que el contenido de materia orgánica es el factor del suelo que está más directamente relacionado con la absorción de la mayoría de los herbicidas.

### **pH**

La adsorción de ciertos plaguicidas aumenta al bajar el pH. Los productos organofosforados son más persistentes en medios ácidos (García & Dorronsoro, 2015).

### **Contenido de arcillas**

La presencia en el suelo de minerales arcillosos afecta al transporte de los plaguicidas, dada la alta capacidad de adsorción que estos presentan

La materia orgánica y la arcilla son los componentes del suelo que más a menudo están implicados en la adsorción de pesticidas. Sin embargo, los efectos individuales no son tan fácilmente descubiertos como probablemente se suponga por la razón de que en la mayoría de los suelos la materia orgánica está íntimamente unida a la arcilla probablemente como complejos arcilla-metal-materia orgánica. (García & Dorronsoro, 2015).

Estos dos tipos importantes de superficies absorbentes están normalmente disponibles para los pesticidas, o sea arcilla-humus y arcilla sola.

La arcilla y materia orgánica funcionarían como una unidad más que como entidades separadas y la contribución relativa de las superficies orgánicas e inorgánicas a la absorción dependerá sobre todo de la extensión con la cual la arcilla es recubierta con sustancias orgánicas (Eweis et al., 1999).

Trabajos de Walker *et al.* en los que se estudió la adsorción de varias Striazinas por 36 suelos, teniendo estos una amplia variación en contenido de materia orgánica, sugieren que para niveles de hasta un 8% en materia orgánica, ambas superficies de absorción orgánica e inorgánica están involucradas (Eweis et al., 1999).

Además de la adsorción química, que es la más fuerte e importante, el contenido de arcillas favorece también la adsorción física, dada la gran superficie de las mismas. Esta última es especialmente importante en el caso de la montmorillonita, que posee una superficie específica muy

elevada y se caracteriza por un bajo calor de adsorción y débil enlace.

## **Suelo**

### **Propiedades físicas del suelo**

#### **Textura**

De acuerdo con Plaster (2005), la propiedad de la tierra más fundamental, la que más influencia tiene sobre otros rasgos del suelo, es la textura. La textura del suelo determina la proporción de tres tamaños de partículas de suelo: arena (grande), limo (mediano), y arcilla (pequeño). El tamaño de las partículas del suelo, a su vez, afecta tanto a los rasgos del suelo como a la capacidad de retención de agua y a la aireación (Eweis et al., 1999).

Las cantidades de arena, limos y arcillas en un suelo determinado definen el grupo al que pertenece dicho suelo. Se suele emplear un triángulo de texturas (Figura 1) a la hora de clasificar un suelo según el tamaño del grano. Los pasos a seguir consisten en entrar en el triángulo con el valor correspondiente al contenido de limos (porcentaje) del suelo y trazar una paralela hacia la izquierda del triángulo. Entonces, se entra con el valor correspondiente al contenido de arcillas y se traza una línea horizontal paralela a la base. El área en la que las dos rectas se cortan será entonces la categoría a la que pertenece el suelo (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999)

#### **Estructura**

La estructura se refiere a la agregación de partículas individuales de suelo en unidades mayores con planos

débiles entre ellas. Los agregados individuales se conocen con el nombre de peds. Los suelos que no tienen agregados con límites existentes naturalmente (peds), se consideran desprovistos de estructura. (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999).

Se puede definir la estructura de un suelo como la disposición y organización de las diferentes partículas de un suelo, como tal la estructura de un suelo constituye una propiedad cuantitativa del mismo antes que una propiedad cualitativa. Esta estructura depende de la porosidad total de un volumen de suelo, de la forma de cada poro y de la distribución global de los tamaños de los poros. Como resultado, la estructura de un suelo afecta en gran medida a las propiedades mecánicas del suelo, principalmente al movimiento de fluidos, incluidas la infiltración, la retención de agua y la aireación. Aquellos suelos en los que las partículas están sueltas y no adheridas entre sí, tales como los depósitos no consolidados de polvo del desierto, se definen bien como carentes de estructura o bien como poseedores de una estructura de grano simple. Por otro lado, los suelos con partículas estrechamente unidas, como por ejemplo, en una arcilla seca, a menudo se definen como poseedores de una estructura en masa. Los suelos con una estructura intermedia entre las dos descritas, se definen como agregados (Eweis, Ergas, Chang, & Schöeder, 1999).

### **Porosidad**

La porosidad corresponde a la porción de un volumen dado de suelo no ocupado por sólidos, que está ocupado por aire y por agua, que proporciona los espacios para el

establecimiento del sistema radical, y es muy variable en los suelos.

Por otro lado, para la mayor parte de los suelos, la porosidad varía entre 0,3 y 0,6. En comparación con los suelos arcillosos, los poros en los suelos arenosos son de mayor tamaño pero la porosidad media es menor. Sin embargo, la porosidad para suelos arcillosos varía considerablemente debido a los cambios resultantes de procesos como la expansión, contracción, dispersión, compactación y fisura (Eweis et al., 1999).

### **Humedad**

La humedad de un suelo influye en gran medida en la actividad biológica. El agua es el componente principal del protoplasma bacteriano y un suministro adecuado de agua es esencial para el crecimiento y la estabilidad microbianos. Un suelo con una humedad demasiado baja da lugar a zonas secas y a una disminución en la actividad microbiana. Sin embargo, demasiada humedad inhibe el intercambio de gases y el movimiento de oxígeno a través del suelo y resulta en la aparición de zonas anaerobias, hecho que daría lugar a la eliminación de las bacterias aerobias y el aumento de la presencia de anaerobios o anaerobios facultativos (Eweis et al., 1999).

### **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana.

Es definido como el logaritmo inverso de la actividad de iones hidrógeno en la solución suelo. Normalmente el rango de pH de los suelos varía entre 3.5 a 9.0, la razón por la que no se alcanza valores extremos de 0 ó 14 se debe a que la solución suelos no es una solución verdadera, sino una solución coloidal.

A la mayoría de especies cultivadas, les favorece pH entre valores de 5,5 a 7,5, pero cada especie y variedad tiene un rango específico donde se desarrolla mejor. Normalmente entre pH 6,5 y 7,0 es el rango que se maneja especialmente para cultivos bajo técnicas de fertirrigación.

### **Metales pesados**

#### **Clasificación de los metales pesados.**

Dentro de los metales pesados hay dos grupos (García & Dorronsoro, 2005):

- Oligoelementos o micronutrientes, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: Arsénico (As), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Hierro (Fe), Selenio (Se) y Zinc (Zn).
- Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva apareja disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son,

entre otros: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi), Estaño (Sn), Talio (Tl), etc.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables (García, I. y Dorronsoro, C., 2005), de hecho la entrada de metales pesados en el suelo ha aumentado desde que comenzó la industrialización.

### Comportamiento ambiental de los metales pesados

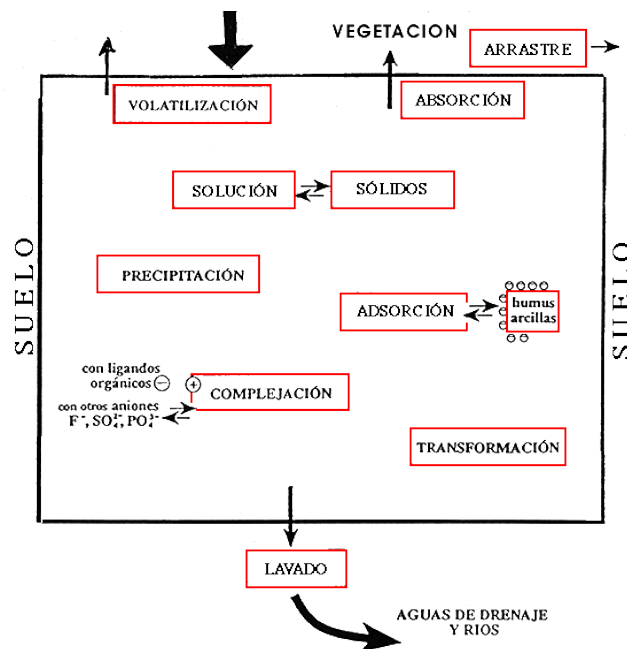


Figura 3. Dinámica de los metales pesados en el suelo

Fuente: García, I. y Dorronsoro, C., 2005)

Según (García & Dorronsoro, 2005), los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así, incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

En el suelo los metales pesados pueden estar en seis compartimentos principales, asociados de formas diversas a los constituyentes del suelo.

- Dentro de las redes cristalinas de los minerales primarios (no alterados, heredados de la roca madre) y de constituyentes secundarios (minerales procedentes de la alteración edafogenética).
- Adsorbidos en las fases de hidróxido de hierro, aluminio y manganeso.
- Secuestrados o ligados a los restos vegetales y animales (que son liberado a medida que se van mineralizando estos residuos).
- Incluidos en las macromoléculas orgánicas.
- En forma intercambiable (ión) asociados a la superficie de las arcillas minerales y a la materia orgánica.
- En forma soluble, coloide o particulada, en la solución del suelo.

## **Factores que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales en el suelo**

Los principales factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales pesados son:

- pH.
- Condiciones redox.
- Materia orgánica.
- Textura del suelo.
- Mineralogía de las arcillas.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn.
- Salinidad.

## **Dinámica y destino de los metales pesados**

### **Cadmio**

Una entrada importante de cadmio en el suelo proviene de la aplicación de fertilizantes de fosfatos en el suelo. En este medio, el cadmio es absorbido por las plantas, debido a su semejanza con el zinc, y así ejerce su acción tóxica. Cuando entra en el suelo, el cadmio se muestra bastante móvil y se distribuye uniformemente a lo largo del perfil del suelo. Se puede encontrar a distintas profundidades y en distinta forma molecular:

- ✓ Ocupando sitios de intercambio catiónico en la fracción arcillosa (silicatos laminares, óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, etc.) y húmica.
- ✓ Adsorbido o coprecipitado junto con óxidos e hidróxidos.
- ✓ Precipitado como carbonato en suelos a pH superior a 7.
- ✓ Precipitado como sulfuro en suelos reductores.
- ✓ Adsorbido específicamente al material húmico formando quelatos esenciales, etc. (Domenech & Peral, 2006).

En suelos contaminados las especies de cadmio soluble predominantes son el ion libre  $Cd^{2+}$  junto con otras especies neutras como  $CdSO_4$  o  $CdCl_2$ , presentes en cantidades crecientes donde el pH es mayor que 6.5 (Alloway, 2013).

El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales (Alloway, 2013).

### **Plomo**

En el suelo, el plomo está fuertemente retenido, ya sea por el humus, sobre todo si contiene grupos  $-SH$ , o por las fases sólidas arcillosas en donde se adsorbe químicamente. No obstante, a pH neutro-ligeramente alcalinos, la mayor parte del plomo se encuentra precipitado como carbonato, hidróxido, sulfuro o fosfato. A pH alcalinos, la solubilidad aumenta debido a la formación de complejos solubles como compuestos orgánicos naturales e hidroxocomplejos. La gran afinidad del plomo por el humus hace que, al igual que el mercurio, se acumule en los horizontes superficiales del suelo (Domenech & Peral, 2006).

## Capítulo 2

### Proceso metodológico y sus resultados

La presente investigación tuvo, por un lado, un carácter descriptivo, ya que propuso la descripción detallada de las actividades relacionadas con el manejo de los plaguicidas utilizados en el cultivo del tabaco. Asimismo, por otro lado, constituyó una investigación experimental, ya que persiguió la obtención de información cuantitativa sobre la contaminación del suelo por metales pesados provocada por los plaguicidas y fertilizantes, sin pretender controlar de manera alguna la variable independiente. La investigación se desarrolló utilizando el método de observación directa en el diagnóstico del manejo actual de los agroquímicos en la hacienda agrícola objeto de estudio. Asimismo, se aplicó el método deductivo puesto que a partir de información general y, luego del análisis de laboratorio de muestras de suelo, se determinó la acumulación de metales pesados en el suelo, el cumplimiento de la normativa ambiental nacional vigente y, consecuentemente, el grado de contaminación del mismo.

La población de la presente investigación es la extensión superficial total del suelo agrícola destinado al cultivo de *Nicotiana Tabacum* en la hacienda Tabaganesha del cantón Buena Fe. El cantón Buena Fe cuenta con dos parroquias, las cuales son Patricia Pilar y San Jacinto de Buena Fe. Cuenta con una población de 63100 habitantes (8.1% respecto a la provincia de Los Ríos), distribuidos en el 60,6% de población urbana y el 48,3% de población rural.

Se seleccionaron tres parcelas experimentales dentro de las cuales se tomaron tres muestras representativas de suelo correspondiente al inicio, intermedio y final del período de

aplicación de los agroquímicos. La técnica de muestreo empleada fue la de cuarteo para obtener una muestra compuesta en cada punto. La encuesta se la realizó a 50 agricultores de la zona.

Se aplicó la observación directa como fuente primaria de información en el primer objetivo específico. Por otro lado, también se utilizaron libros impresos y electrónicos, además de artículos científicos de investigaciones, para contextualizar teóricamente la investigación y contrastar los resultados en la discusión de los mismos. Además, los demás objetivos específicos requirieron de información contenida en los reportes del laboratorio que realizó los análisis de las muestras de suelo.

Para determinar el manejo uso y aplicación de los agroquímicos en las plantaciones de tabaco se usó un formulario de preguntas a 50 agricultores de la zona (Anexo 3). La toma de muestras de suelo se realizó siguiendo la técnica de Brown, y para el análisis de las muestras se usó la metodología indicada en el informe del laboratorio *Testfarm*, localizado en la ciudad de Santo Domingo (Anexo 3). Además, se utilizó la tabla 1 del anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097 para la comparación de los resultados de cadmio y plomo con los estándares de la legislación ambiental nacional aplicable. El muestreo se realizó en tres parcelas seleccionadas al azar en el área total del cultivo en proceso de producción (12 ha). Dentro de cada parcela, con dimensiones de 16 m x 13 m, se tomó una muestra compuesta al inicio, en la mitad y al final del período de las fumigaciones en el ciclo productivo que dura 70 días.

La encuesta fue realizada de manera directa al personal técnico, operativo y de campo de la hacienda Tabaganesha, utilizando el formulario de preguntas del Anexo 2, realizando preguntas para inquirir sobre el tipo de plaguicidas que utilizan, las dosificaciones utilizadas en cada aplicación, intervalo de tiempo entre una aplicación y otra, el uso que se da a los envases vacíos de los plaguicidas y qué conocimientos tenían sobre la contaminación del suelo a causa del uso de los plaguicidas.

Asimismo, los resultados de la determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en las tres parcelas distintas, y en tres fases distintas del cultivo, se sometieron a un análisis de varianza a fin de determinar las diferencias significativas, y una prueba de separación de media por el método de Tukey.

Con los resultados de las muestras de suelo los valores de cadmio y plomo se analizaron entre sí y luego se compararon con los valores establecidos por los estándares permisibles de la legislación ambiental.

Entre los resultados se puede identificar que la mayoría de los agricultores (89%), expresó que utiliza plaguicidas para el control de plagas y enfermedades (Figura 1), aplicando más de tres veces al año (Figura 2), lo que demuestra la gran cantidad de producto utilizado para estas labores agrícolas y permitiendo deducir de igual manera que la contaminación de los suelos debe de ser de igual manera elevado.

Entre las razones que indican para justificar el empleo frecuente de los plaguicidas, se encuentran la necesidad de salvaguardar la inversión de la producción debido a los

elevados estándares de calidad exigidos y la resistencia de las plagas a los plaguicidas en este cultivo.

Se presentan los tipos de plaguicidas usados por los productores de tabaco, el 52% usan los carbamatos (Regent, Basudin, Prowl 400, Vidate, Vorlex), los organofosforados en un 28% (Acrobat MZ, Manzate 200, Biovit 32 WP, Baytroid 050), biológicos en un 10% (Dipel 2X, Aliette 80) y el resto de componentes en estudio en un 10%. Al analizar los productos empleados por los agricultores se puede determinar que en su mayoría son carbamatos y organofosforados, y una pequeña parte de productos biológicos. Si se considera esta lista de productos químicos y se relaciona con el uso frecuente que realizan de ellos los productores, es notorio que existe un serio riesgo a la flora y la fauna existente en estos sectores por la contaminación, si se mantienen las labores de manejo como se vienen ejecutando.

Las aplicaciones de los plaguicidas de tipo carbamatos por hectárea es de 1600 cc/ha año, y de los plaguicidas de tipo organofosforados es de 1200cc/ha año.

La mayor parte de los agricultores (89%) comentaron que utilizan dosis medias (300cc/200 litros) para el control de las plagas y enfermedades en el cultivo del tabaco, no obstante aún el hecho de utilizar dosis medias de estos productos, no significa que dejan de ser nocivas y acarrear problemas de contaminación a los suelos agrícolas.

La aplicación se la realiza al atardecer, ya que es en ese momento del día cuando los insectos de hábitos nocturnos, empiezan a atacar el cultivo.

El régimen de aplicación de los diferentes productos plaguicidas y fertilizantes en el cultivo de *Nicotiana tabacum* de la Hacienda Tabaganesha se describe a continuación:

(1) El proceso de aplicación de plaguicidas y fertilizantes se realizan dos o tres días después de la resiembra, se aplican fertilizantes foliares a base de nitrógeno y fósforo para inducir al crecimiento de las hojas del tabaco. Su aplicación se realiza dos a tres veces en un período de 30 días.

(2) A partir de la primer semana de siembra comienzan las aplicaciones de los insecticidas para evitar el daño en las hojas de la planta, que por constituir el producto de exportación, deben estar en perfecto estado sin presentar ningún daño causado por ataques de insectos, por lo que el ciclo de aplicaciones depende del grado de ataque de insectos que el cultivo presente. La aplicación de estos plaguicidas se prolonga hasta diez días antes de inicio de la cosecha (aproximadamente sesenta días), y su frecuencia, que depende del grado de severidad del ataque, es de cada dos días si el ataque es severo; y de cada cuatro o cinco días si el ataque es mínimo, y básicamente en estos casos la aplicación responde a un control preventivo de la plaga. Cabe puntualizar que en esta etapa de la aplicación de plaguicidas, el ingrediente activo se cambia alternadamente, usándose regularmente tres clases de moléculas distintas para evitar que los insectos creen inmunidad hacia estos.

(3) En lo que concierne a los fungicidas, su aplicación es preventiva con una frecuencia de siete días a lo largo de todo el período de producción del cultivo.

### **Destino final de los residuos y envases de agroquímicos**

En cuanto al destino final de los envases vacíos, el 89% los desecha en fosas en el suelo o simplemente los desecha en la basura común, mientras que un 11% demuestra el poco conocimiento de los serios problemas sobre la flora y la fauna que representan el deshacerse de estos envases sin darles un manejo adecuado. Los resultados evidencian el poco cuidado y la escasa preocupación por el manejo de estos desechos, ya que al desecharlos pueden ocasionar daños severos a la salud y al medio ambiente

Bajo esta percepción los encuestados indican que el suelo se encuentra muy contaminado el 45%, mientras que un 22% cree que se encuentra contaminado y escasamente contaminado finalmente el 11% indica que el suelo no está contaminado.

Lo expresado por los productores de tabaco demuestra que tienen conocimiento de los problemas provocados por la agricultura tradicional y aceptan que existe contaminación de los suelos, pero que aun conociendo dicha realidad no han adoptado alternativas que permitan minimizar el impacto ambiental provocado por los controles químicos.

### **Concentración de cadmio y plomo en el suelo dedicado a la producción de tabaco.**

Las concentraciones de cadmio y plomo determinadas presentan valores de concentraciones promedios de 0,08 0,09 y 0,083 para cadmio y 2,58, 2,87 y 2,82 para plomo, como se muestra a continuación en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Concentraciones de cadmio y plomo en las muestras de suelo**

Tratamiento	Toma	Cadmio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
1	1	0,11	2,76
	2	0,06	2,67
	3	0,07	2,31
	Media	0,08	2,58
	Desviación estándar	0,026	0,238
2	1	0,07	2,98
	2	0,11	2,75
	3	0,08	2,87
	Media	0,09	2,87
	Desviación estándar	0,021	0,115
3	1	0,08	2,38
	2	0,08	2,68
	3	0,09	3,4
	Media	0,083	2,82
	Desviación estándar	0,006	0,524

Al realizar el análisis de varianza a los valores de concentración localizadas en el suelo, se encontró diferencias estadísticas significativas para los niveles de Cd; no obstante, en los valores encontrados de Pb no se encontraron diferencias entre los tratamientos en estudio.

**Cuadro 2. Varianza de las concentraciones de cadmio y plomo en suelo dedicado a la producción de tabaco.**

F de V	G.L.	Cuadrados medios		F. Tabla	
		Cd	Pb	0.05	0.01
<b>Tratamientos</b>	2	0,001033 *	0,103544 ns	6.94	18.00
<b>Repetición</b>	2	0,000033 ns	0,218978 ns	6.94	18.00
<b>Error</b>	4	0,000067	0,046594		
<b>Total</b>	8				
<b>CV (%)</b>		<b>9,80</b>	<b>7,83</b>		

El análisis de los tratamientos (T1: 15 días después de la

siembra; T2: mitad del ciclo vegetativo del cultivo; T3: 15 días antes de la cosecha) demuestra que existió diferencias estadísticas entre las medias de estos, siendo superior la presencia de Cd en el tratamiento T3 (0,10 mg/kg) comparado con el tratamiento T1 (0,07 mg/kg), y semejante al tratamiento T2 (0,08 mg/kg). Al verificar la existencia de Pb en el suelo, después de aplicar los tres diferentes controles químicos no se evidenciaron diferencias estadísticas entre ellos, no obstante el tratamiento T3 mostró una concentración más elevada de Pb que los demás tratamientos empleados.

**Cuadro 3.** Concentraciones de cadmio y plomo en suelo dedicado a la producción de tabaco.

Tratamientos	Cadmio	Plomo
T1	0,07 b	2,65 a
T2	0,08 ab	2,64 a
T3	0,10 a	2,97 a
CV (%)	9,8	7,8

\* Medias con letras iguales no muestran diferencias entre los tratamientos en estudio ( $P < 0.05$ )

Los resultados estadísticos permiten visualizar adecuadamente la acumulación del cadmio y el plomo en el suelo de la hacienda. A medida que avanza el tiempo de desarrollo del cultivo y se han aplicado sistemáticamente los agroquímicos, es evidente, aunque no de manera significativa, que los suelos de la hacienda han aumentado la retención de ambos metales pesados, verificándose lo indicado por Domenech y Peral (2006), quienes afirman que el plomo es fuertemente retenido en el suelo y que el cadmio es más móvil que el plomo.

**Concentraciones de cadmio y plomo en los suelos dedicados a la producción de tabaco con los límites permisibles por el Tulsma.**

Considerando los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 1 del anexo 2 constante en el Acuerdo Ministerial 097, que reforma el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (0,5 mg/kg para el cadmio, y 19 mg/kg para el plomo), es evidente que, de acuerdo con los resultados arrojados por los análisis de laboratorio.

Las concentraciones de cadmio y plomo en los suelos agrícolas de la hacienda Tabaganesha no superan tales límites y, por lo tanto, cumplen con la normativa ambiental referida. El libro concluye con que los plaguicidas utilizados en el cultivo de tabaco son los carbamatos, organofosforados y biológicos en dosis establecidas por las variantes y aplicación, productos necesarios en el proceso productivo que permiten alcanzar niveles de calidad óptimos para el productor.

Las concentraciones de cadmio en el suelo presentaron diferencia significativa (T1: 0,08; T2: 0,09; y T3: 0,083 mg/kg) representando mayor acumulación de cadmio en el suelo.

El nivel de concentración de cadmio y plomo en el suelo se encuentran dentro de los límites permisibles por el TULSMA por lo que la aplicación de plaguicidas en el tabaco se realizaron de forma y manera adecuada.

Realizar estudios respecto a buscar alternativas más amigables con el ambiente en cuanto a moléculas de plaguicidas que serán

distribuidas a lo largo del crecimiento, desarrollo y cosecha de *Nicotiana Tabacum*,

Difundir alternativas distintas y eficientes de controles de insectos plagas y enfermedades fungosas mediante productos y técnicas que permitan al agricultor común mantener en buen estado fitosanitario su cultivo, así de la mano reducir las concentraciones de metales pesados en el suelo y minimizar los daños causados al medio ambiente.

Es importante que se impulse la investigación de la dinámica en suelos tabacaleros de los metales pesados provenientes de los agroquímicos, dado que el Ecuador es un país agrícola y no hay información científica en cantidad y calidad suficiente para conocer el impacto de las prácticas agrícolas en la calidad del suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, B. (2013). *Heavy Metals in Soils* (3 ed.). New York: Springer.
- Baird, C. (2001). *Química Ambiental* (1 ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Diez, J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas*. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Domenech, X., & Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres* (1 ed.). Barcelona, España: Reverté.
- EBYSOS. (2 de Diciembre de 2013). *EBYSOS Servicios analíticos, Consultoría técnica*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de <http://ebysos.com/eby/ficha-tecnica-insecticidas-carmabatos-5.pdf>
- Eweis, J., Ergas, S., Chang, D., & Schöeder, E. (1999). *Principios de iorrecuperación* (1 ed.). Madrid, España: McGrawHill/nteramericana de España.
- Félix, I., Mite, F., Carrillo, M., & Pino, M. (2015). *Avances de investigación del proyecto Determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos*. VII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- García, I., & Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por metales pesados*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de <http://edafología.ugr.es/conta/tema15/introd..htm>

- García, I., & Dorronsoro, C. (2015). *Contaminación del suelo*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de <http://www.edafologia.net/conta/tema13/evol.htm>
- Gómez de Barreda, D. (1999). *Comportamiento de herbicidas residuales en suelos. Posible contaminación de acuíferos*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Infoagro. (15 de Marzo de 2013). *Agricultura. El cultivo del tabaco. 1ª parte*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/tabaco.htm>
- Infoagro. (2016). *Canal Agro*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2016, de <http://canales.hoy.es/canalagro/datos/herbaceos/industriales/tabaco.htm>
- Ministerio del Ambiente. (4 de Mayo de 2015). Acuerdo Ministerial 061. (316), *Edición especial*. Quito, Ecuador: Registro oficial.
- Morell, I., & Candela, L. (1998). *Plaguicidas, Aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos*. (I. Morell, & L. Candela, Edits.) Castelló de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Plaster, E. (2005). *La Ciencia del Suelo y su Manejo* (1 ed.). Madrid, España: Thomson.
- Ramos, J. J. (2002). *Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos en los invernaderos del poniente almeriense*. Universidad de Almería. Almería: Universidad de Almería.

Sánchez, M., & Sánchez, M. (1984). *DIGITAL.SCIC*. Recuperado el 25 de Octubre de 2016, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/12919/1/plaguicidas.pdf>

SEMARNAT. (2016). *Trámites SEMARNAT*. Recuperado el 25 de Octubre de 2016, de <http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-015AD/clasificaciones.pdf>

ISBN: 978-9942-814-29-6



9 789942 814296