



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

“DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE CULTIVO  
FLORÍCOLA VULNERABLES A LA MIGRACIÓN  
DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y  
CARBÁMICOS USANDO UN MODELO DE  
SIMULACIÓN DE LIXIVIACIÓN”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A:

**ALDO VELÁZQUEZ ZEPEDA**

DIRIGIDA POR:

**DR. JUAN CARLOS SÁNCHEZ MEZA  
DR. SALVADOR ADAME MARTÍNEZ  
DRA. ARACELI AMAYA CHÁVEZ**



TOLUCA, MÉXICO

ENERO, 2013





**Universidad Autónoma del Estado de México**  
**UAEM**

3° (EV. DE GRADO)  
OFICIO NO 738/2012

Toluca, México, 06 de diciembre de 2012

**P. DE MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES**  
**ALDO VELAZQUEZ ZEPEDA**  
**FACULTAD DE QUIMICA**  
**P R E S E N T E**

La que suscribe Directora de la Facultad de Química, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, comunica a Usted que el Jurado de su Evaluación de Grado estará formado por:

Dr. Delfino Madrigal Uribe  
**PRESIDENTE**

Dr. Salvador Adame Martinez  
**SECRETARIO**

M. en I. Víctor Francisco Pacheco Salazar  
**PRIMER VOCAL**

Dr. Juan Carlos Sánchez Meza  
**SEGUNDO VOCAL**

Dra. Araceli Amaya Chávez  
**TERCER VOCAL**

Dra. Patricia Balderas Hernández  
**SUPLENTE**

Dr. Alejandro Rafael Alvarado Granados  
**SUPLENTE**

FIRMA

**ATENTAMENTE**  
**PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO**  
**"2012, Año internacional de la Energía Sostenible para Todos"**

**M. en A.P. GUADALUPE OFELIA SANTAMARIA GONZALEZ**  
**DIRECTORA**

c.c.p. Archivo



---

## DEDICATORIA

**A ese ser Divino, Inmortal, Omnipotente y Supremo a quien pido permita mi alma madurar antes de ser segada.**

**A mis padres, ya que soy fiel testimonio y evidencia factual de Su sacrificio y esfuerzo.**

**A mis hermanos: siempre con Ellos, por Ellos y para Ellos.**

**A mis abuelos Tomás y Josefina; espérenme por favor un rato más y síganme marcando el camino que hubieran querido recorrer conmigo.**

**A Paula: Y morirme contigo si te matas,  
Y matarme contigo si te mueres;  
Porque el amor cuando no muere mata  
Porque amores que matan, nunca mueren.**

**A mis abuelos Celia y Antonio.**

**A mis tíos.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Dr. Juan Carlos Sánchez Meza por su valioso consejo y su profesional opinión; su valioso apoyo a lo largo de esta carrera profesional siendo iniciador de proyectos de vida más ambiciosos.**

**Al Dr. Salvador Adame Martínez; por su enorme calidad profesional y personal, que han permitido ampliar horizontes de conocimiento y abrir nuevas expectativas.**

**A la Dra. Araceli Amaya Chávez; por su incondicional apoyo, experiencia y la confianza que ha depositado en mi persona, mi respeto y admiración.**

**Al M. en C. Eduardo Cejudo Espinosa, por su invaluable colaboración y participación en el presente proyecto, esperando sea el inicio de una larga carrera de logros conjuntos.**

**A la M. en C. Paula Alejandrina Gamboa Suárez por su dedicación, tiempo e incondicional soporte en el desarrollo de este proyecto y con toda seguridad de próximos en puerta.**

**Al M. en C. Jorge Paredes Tavares, por su apoyo en la realización y revisión del presente documento.**

**A todos los profesores del claustro del Programa de Maestría y Doctorado de Ciencias Ambientales.**

**A todos mis compañeros de posgrado: por haber compartido vivencias valiosas, continuas, profesionales y personales en esta experiencia única e invaluable, mi más profundo agradecimiento y mi más amplio deseo de éxito.**

**A la Facultad de Química de la UAEM, mi casa.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	6
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	9
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	10
<b>SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS</b> .....	11
<b>RESUMEN</b> .....	14
<b>ABSTRACT</b> .....	15
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	16
1. Antecedentes.....	17
1.1 Edafología.....	17
1.1.1 Definición de suelo.....	17
1.1.2 Formación del suelo.....	20
1.2 Componentes del suelo.....	22
1.3 Morfología del suelo.....	23
1.4 Propiedades físicas del suelo.....	27
1.4.1 Textura del suelo.....	27
1.4.1.1 Fracciones granulométricas y su justificación.....	30
1.4.1.2 Triángulo de texturas y su uso.....	31
1.4.1.3 Determinación de la textura en campo.....	32
1.5 Densidad del suelo.....	32
1.6 Porosidad.....	33
1.7 El agua del suelo.....	35
1.7.1 Infiltración, permeabilidad y percolación .....	36
1.7.1.1 Infiltración.....	36
1.7.1.2 Permeabilidad.....	41
1.7.1.3 Percolación.....	42
1.8 Interacción entre sustancias y suelo.....	42
2 Ecotoxicología.....	45
2.1 Fuentes de ecotóxicos.....	48
2.1.1 Propiedades de los ecotóxicos .....	50

2.1.2 Efectos generales de los toxones en el ambiente.....	52
2.1.2.1 Respuestas fisiológicas y conductuales de los organismos.....	53
3 Plaguicidas.....	57
3.1 Organofosforados.....	61
3.1.1 Ésteres organofosfatados.....	62
3.1.2 Insecticidas de ésteres fosfotionatos y fosforoditionatos.....	63
3.1.3 Venenos militares organofosforados.....	65
3.2 Carbamatos.....	65
3.3 Plaguicidas en la agricultura.....	66
4. Modelación analítica para predicción del transporte de sustancias.....	73
4.1 Modelos de destino y transporte de plaguicidas.....	76
4.1.1 Clasificación de modelos de acuerdo con sus características.....	76
4.2 Descripción de modelo PESTAN (Pesticide Analytical Model).....	81
4.2.1 Conceptualización del modelo.....	81
4.2.2 Supuestos del modelo PESTAN.....	83
4.2.3 Descripción del modelo matemático usado por PESTAN.....	84
4.2.4 Parámetros de ingreso para la simulación en PESTAN.....	84
5. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	86
5.1 Definición.....	86
5.2 Conceptos de sistemas de información geográfica.....	89
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>92</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>94</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>94</b>
<b>MATERIAL Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>95</b>
Zona de estudio.....	96
a) Aspectos físicos.....	96
b) Aspectos sociales.....	107
c) Aspectos demográficos.....	108
d) Aspectos económicos.....	112

<b>RESULTADOS</b> .....	120
<b>DISCUSIÓN GENERAL</b> .....	147
<b>CONCLUSIONES</b> .....	152
<b>REFERENCIAS</b> .....	155

### ANEXOS

Anexo	Descripción	
1	Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de MANCOZEB.	166
2	Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de METOMILO.	167
3	Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de CARBENDAZIM.	168
4	Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de CARBOFURANO.	169
5	Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de DIMETOATO.	170
6	Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera en zona de estudio (0.0-30.0 cm)	171
7	Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera en zona de estudio (30.0-60.0 cm)	172
8	Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera San Mateo Coapexco (0.0-30.0 cm)	173
9	Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera San Mateo Coapexco (30.0-60.0 cm)	174
10	Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera en Villa Guerrero (0.0-30.0 cm)	175
11	Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera en Villa Guerrero (30.0-60.0 cm)	176
12	Descripción de perfil obtenido para MANCOZEB.	177
13	Descripción de perfil obtenido para METOMILO.	178
14	Descripción de perfil obtenido para CARBENDAZIM.	179
15	Descripción de perfil obtenido para CARBOFURANO.	180
16	Descripción de perfil obtenido para DIMETOATO.	181



## Índice de Cuadros

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	
I	Clases de tamaños en fracciones granulométricas.	28
II	Denominación granulométrica.	29
III	Fracciones granulométricas y su justificación.	30
IV	Clasificación de los poros por su diámetro.	34
V	Permeabilidad de los suelos.	42
VI	Términos comunes y grupos característicos de ecotóxicos.	49
VII	Escala de toxicidad con sustancias de referencia	64
VIII	Descripción del proceso de simulación aplicado de modelos comúnmente empleados para evaluación de impacto ambiental	79
IX	Parámetros de ingreso para la simulación en PESTAN	85
X	Distribución de la población por género, Villa Guerrero, 2005-2010	108
XI	Distribución de la población por localidad, Villa Guerrero 2010	110
XII	Población según condición de residencia, Villa Guerrero 2010	111
XIII	Población de 15 años y más por condición de actividad, Villa Guerrero, 2010	113
XIV	Niveles de ingreso, Villa Guerrero, 2000	114
XV	Cantidades aplicadas estimadas de plaguicidas	116
XVI	Relación del potencial de lixiviación de los plaguicidas con base en concentraciones estimadas	148

## Índice de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	
1	Componentes del suelo	22
2	Representación de la formación de horizontes.	24
3	Delimitación arbitraria de volumen mínimo de suelo.	25
4	Representación de un polipedón.	25
5	Perfil ideal del suelo donde se muestran todos los horizontes que pueden distinguirse.	26
6	Tamaño de partícula de arena, limo y arcilla.	28
7	Triángulo de texturas que muestra los límites de arena, limo y arcilla considerados en las diferentes clases de textura.	31
8	Películas de agua del suelo y las tensiones de retención.	35
9	Representación de un suelo bajo condiciones de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.	36
10	Efectos de la topografía en los movimientos de agua superficial, escorrentía, erosión, lixiviación y drenaje impedido.	37
11	Representación gráfica de la infiltración acumulada.	39
12	Representación gráfica de la velocidad de infiltración.	40
13	Respuestas biológicas a concentraciones de sustancias esenciales y no esenciales para el desarrollo.	50
14	Relación entre las propiedades de un ecotóxico y su interacción con ecosistemas.	51
15	Niveles de efectos de los toxones sobre una población.	52
16	Los efectos de un químico sobre un ecosistema.	54
17	Procesos y rutas metabólicas implicadas en la interacción con toxón ingerido.	55
18	Plaguicidas organofosforados.	62
19	Representaciones esquemáticas de los principales agentes químicos empleados como armas.	65
20	Plaguicidas orgánicos derivados del ácido carbámico.	66
21	Fenómenos que determinan la distribución, transformación y transporte de un plaguicida en el ambiente	75
22	Clasificación de los modelos usados para evaluar el destino y transporte de plaguicidas en el ambiente	78
23	Conceptualización del modelo de migración vertical del plaguicida	82
24	Partes que conforman un SIG.	88
25	Metodología del proyecto.	95
26	Zona de estudio, San Mateo Coapexco, Villa Guerrero, México.	96
27	Tipos de suelo.	101
28	Usos de suelo.	105
29	Estructura poblacional del municipio de Villa Guerrero, 2000-2005	109
30	Representación gráfica de las concentraciones de los plaguicidas a 0.0-30.0 cm de profundidad.	149
31	Representación gráfica de las concentraciones de los plaguicidas a 30.0-60.0 cm de profundidad.	150

### Símbolos y abreviaturas.

Cuando en el presente documento se haga referencia a los siguientes símbolos o abreviaturas, se entenderá:

%	Porcentaje o tanto por ciento
$\mu$	Micras
ADN	Ácido desoxirribonucleico
atm	Atmósferas
ATP	Adenosin trifosfato
Bv	Brecha volcánica
C	Concentración
cm	Centímetros
$\text{cm}^3$	Centímetros cúbicos
CNA	Comisión Nacional del Agua
CRAD	Capacidad de retención de agua disponible para las plantas
Dap	Densidad aparente
DDT	Dicloro Difenil Tricloroetano
$\text{DL}_{50}$	Dosis letal media
Dr	Densidad real
EPA	Environmental Protection Agency
<i>et al</i>	Locución latina "y otros"
FAO	Organización para la Alimentación y la Agricultura
FIFRA	Acta Federal de Insecticidas, Fungicidas y Roedoricidas
fig.	Figura
g	Gramos
$\text{g}/\text{cm}^3$	Gramos por centímetro cúbico (densidad)
GEM	Gobierno del Estado de México
GUS	Groundwater Ubiquity Score
h	Hora
ha	Hectárea
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
ISEM	Instituto de Salud del Estado de México
ISSS	International Society of Soil Science
Kg	Kilogramos
$\text{Km}^2$	Kilómetros cuadrados
Koc	Coeficiente de partición orgánico
L	Litros
m	Metros
$\text{m}^2$	Metros cuadrados (área o superficie)

m <sup>3</sup>	Metros cúbicos (volumen)
MFO	Oxidasa de función mixta
mg	Miligramos
MIP	Manejo integral de plagas
mL	Mililitros
mm	Milímetros
MO	Materia orgánica
∅	Diámetro
°C	Grados Celsius
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPP	Office of Pesticide Programs
PAH's	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
PEA	Población Económicamente Activa
PEI	Población Económicamente Inactiva
PESTAN	Pesticide Analytical Model
pH	Potencial de Hidrógeno
PNUMA	Programa Ambiental Naciones Unidas
redox	Reducción - oxidación
S	Segundos
S.S.S.	Soil Survey Staff
SIG	Sistemas de Información Geográfica
t	Tiempo
T	Temperatura
TEEP	Tetraetil pirofosfato
TOCP	Tri- <i>o</i> -cresil fosfato
tons	Toneladas
UAEM	Universidad Autónoma del Estado de México
UDP	Uridindifosfato
USD	United States Dollars
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos
v	Volumen
vsm	Veces el salario mínimo



## RESUMEN

Actualmente, uno de los problemas más preocupantes relacionados con la contaminación del suelo y agua subterránea, en terrenos florícolas, es el uso no controlado de plaguicidas. El riesgo en su uso requiere de un análisis integral del impacto que estos compuestos producen sobre la salud humana y el ambiente. A partir de un estudio exploratorio desarrollado en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), basado en la estimación de los índices de riesgo sobre el ambiente de los grupos de plaguicidas más ampliamente usados en la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México, se generó información necesaria para la presente investigación, al tiempo de mostrar las deficiencias en el conocimiento actual sobre índices de riesgo y la potencial aplicación interdisciplinaria para resolver dicha problemática.

El presente trabajo se enfoca en la integración de un sistema de información geográfica (SIG) que permita y favorezca la adecuada toma de decisiones para la identificación de las zonas florícolas vulnerables a la migración de plaguicidas organofosforados y carbámicos, mediante el uso de un modelo de simulación de estimación del transporte de sustancias orgánicas a través del suelo, desarrollado en la plataforma del software PESTAN (Pesticide Analytical) mediante la integración de la base de datos requerida para la simulación, con base en la información preliminar sobre la caracterización de suelos de la zona, un análisis de las variables que se incluyen en el modelo y la identificación de las propiedades ecotoxicológicas y fisicoquímicas relevantes de los plaguicidas empleados. Una vez que un perfil de concentración de sustancias dentro del suelo fue obtenido como producto de la simulación, se generó una representación espacial (ArcGis) de los áreas de cultivo vulnerables a la lixiviación de los plaguicidas incluidos para su análisis y datos de respaldo sobre información relacionada con cargas empleadas durante las jornadas de fumigación, productos más comúnmente empleados y su rotación.

## ABSTRACT

Nowadays, one of the problems that concern the most about soil contamination in flower fields is the uncontrolled use of pesticides. The inherent risk in its use requires a comprehensive analysis of the impact these compounds have on human health and the environment. Based upon an exploratory study developed in the Faculty of Chemistry, UAEMex that estimated the risk to the environment of the more widely used pesticides in Villa Guerrero; (State of Mexico) it was noticed the lack of information about risk indexes and the multidisciplinary approach to solve such problematic.

The present work focuses on the generation of a geographic information system that allows and encourages the taking of decisions required for the determination of flower areas vulnerable to the migration of organophosphorus pesticides and carbamate compounds, using a simulation model estimation of the transport of organic substances through the soil, developed on the software platform PESTAN (Pesticide Analytical). Once a profile of concentration of substances into the soil has been obtained as result of the simulation, there will be the entry of this data to a GIS software developed ArgGIS to generate a spatial representation of the areas crop vulnerable to leaching of compounds including pesticides for analysis and supporting data on charges related information used during the days of spraying, most commonly used products and their rotation.

Database required for simulation PESTAN, with preliminary information on the characterization of soils in the area, an analysis of the variables included in the model and the identification of relevant physico-chemical and ecotoxicological properties of pesticides employed was built. A geographic information system it is been currently integrated, based on data obtained from the simulation and data related to floriculture activities in the area, such as types of pesticides used, loads of agrochemicals, soil types and uses of the area, pests commonly reported and removed from the cultures.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación forma parte de un plan integral cuyo fin es el de desarrollar un SIG que permita la identificación de las áreas de cultivo florícola que favorecen a la migración de plaguicidas organofosforados y carbámicos, haciendo uso de una base de datos predictivos generados por el modelo de simulación de lixiviación PESTAN en la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México. Si bien estos grupos de plaguicidas se consideran menos persistentes que otros grupos como los organoclorados (Sánchez, 2010), no se cuenta hasta el momento en la zona, con información sobre las cargas aplicadas de estos productos, el destino y transporte de los mismos y su repercusión sobre organismos *no blanco*. Para determinar el riesgo que representan para el ambiente y la salud de las comunidades, con el propósito de orientar acciones para su manejo adecuado y evaluar a su vez el grado de vulnerabilidad de los terrenos a ser afectados, con la finalidad de prevenir incremento en los daños, este estudio identifica e integra una metodología de evaluación de la vulnerabilidad de los terrenos, derivado del uso de plaguicidas organofosforados y carbámicos mediante el uso de un programa de simulación de la lixiviación y el empleo de métodos geoestadísticos para determinar la distribución espacial de las concentraciones ambientales estimadas de estas sustancias.

La actividad florícola representa una alternativa económica compleja para la comunidad de San Mateo Coapexco, en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México, que requiere un análisis cuidadoso en relación con otros aspectos, de índole social y el ambiental. Lo anterior incrementa la necesidad de contar con métodos de análisis para identificar y cuantificar las concentraciones de los plaguicidas empleados en el cultivo de flor y conocer su distribución en la zona y la posibilidad de transporte o migración través del suelo o del agua y con ello prevenir posibles riesgos a la salud humana y al ambiente.



## ANTECEDENTES

En el presente apartado, se abordará el tema de Edafología, con el fin de sentar las bases de la importancia de la interacción entre los plaguicidas y el suelo como un ente transformador y así, establecer criterios de transporte y destino de sustancias. El estudio del suelo es amplio y diverso; dado lo anterior la investigación se enfoca en la inclusión de temas específicos, incluyendo definición y formación del suelo, componentes, morfología y características físicas.

### 1.1 Edafología.

#### 1.1.1. Definición de suelo

Certini y Scalenghe (2006) señalan que el Soil Survey Staff (1998) definió al suelo como “un cuerpo natural que comprende sólidos (mineral y orgánico), líquidos y gases que se producen en la superficie de la tierra, ocupa un espacio, y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas, que se pueden distinguir a partir del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o la capacidad de soportar plantas enraizadas en un entorno natural. El suelo es un recurso natural, localizado en la superficie de la tierra, integrado por una amplia gama de elementos físicos y biológicos que determinan sus características y su potencial empleo, habitacional, recreativo, forestal, agrícola, pecuario, etc. Consecuentemente, puede aceptarse que el suelo es un agente trascendental en la descomposición y filtración de productos de desecho, vegetales y animales, aún de aquellos que por su naturaleza química, son potencialmente tóxicos (Sánchez, 2010). El tipo de actividades que el suelo desempeña son llamadas funciones del suelo. Las funciones del suelo ayudan a ordenar sistemas de suelo extremadamente complejos en pequeños componentes que pueden ser estudiados y comprendidos. Dependemos del suelo para mucho más que solo producir alimentos. Otras funciones del suelo incluyen: a) proveer materiales de construcción y soporte para estructuras; b) preservar historia cultural y natural; c) regular, distribuir y filtrar agua y aire; d) dar sostén a la productividad y diversidad biológicas; e) atrapar contaminantes; y f) proveer sitios para la recreación. Los suelos desempeñan funciones específicas y críticas, sin importar

donde se encuentran localizados o si desempeñan más de una función simultáneamente. (NRCS, 2005)

- Los suelos actúan como esponjas, absorbiendo y reteniendo agua de lluvia y de escorrentía. También impactan en la recarga de acuíferos y mantos freáticos y en el control de plagas en áreas urbanas.
- Actúan como grifos, almacenando y liberando agua y aire para consumo por plantas y animales.
- Desempeñan funciones de distribuidor, ya que proveen nutrientes valiosos, así como aire y agua a las plantas y animales. Los suelos también almacenan carbono y previenen su pérdida dentro de la atmósfera.
- Los suelos actúan como coladores o filtros, purificando y filtrando agua y aire que fluye a través de ellos.
- Los suelos amortiguan, degradan, inmovilizan, desintoxican y retienen contaminantes, como el aceite, plaguicidas, herbicidas y metales pesados, evitando su ingreso en depósitos de agua subterránea. También actúan como depósitos de nutrientes para uso futuro por plantas y animales sobre la superficie y por microflora y fauna dentro de ellos. (NRCS, 2005)

Al hacer uso de este recurso natural para obtener alimento y vestido, mediante la agricultura, el hombre provoca cambios en él, mediante la deforestación, produce que el suelo quede expuesto a la erosión y pérdida de su fertilidad y estructura, a salinización y alcalinización (Giller,1997). Al intensificarse el uso de la tierra, entendida la intensificación como el uso continuo del suelo derivado del lucro o de una urgente necesidad de producir una mayor cantidad de cultivos, altera los procesos de autorregulación en los que está involucrada la agrobiodiversidad y propicia la presencia de plagas y enfermedades. Así progresivamente aparecen los insumos químicos y las prácticas mecánicas como una alternativa para reemplazar los procesos naturales de regulación. (Solís, 2003).

El suelo consiste en una capa finamente dividida de minerales estratificados y de materia orgánica en la cual crecen las plantas, siendo el requerimiento más fundamental para la agricultura. Para humanos y los organismos terrestres, el suelo es la parte más importante de la geósfera. Aunque solamente es una delgada capa comparada contra el diámetro total terráqueo, el suelo es el medio que produce la mayoría del alimento requerido por los seres vivos.

Un buen suelo (y un clima que favorezca a su productividad) es el más valioso activo que cualquier nación pueda tener. Además de ser el sitio más importante para la producción alimenticia, el suelo es el receptor de una gran cantidad de contaminantes, como las partículas de materia provenientes de chimeneas de plantas de energía. Fertilizantes, pesticidas y algunos otros materiales aplicados en el suelo a menudo contribuyen a la contaminación de agua y de aire. Por lo tanto, el suelo es el componente maestro para los ciclos químicos ambientales (Stanley, 2000)

Los suelos están formados por la acción del desgaste de las rocas madre como resultado de la interacción de los procesos geológicos, hidrológicos y biológicos. Los suelos son porosos y verticalmente estratificados en horizontes, como resultado de la percolación hacia abajo de agua y de los procesos biológicos, incluyendo la producción y la descomposición de la biomasa. Los suelos son sistemas abiertos propensos al intercambio de materia y de energía con la atmósfera, hidrósfera y biósfera.

El suelo, en su significado tradicional, se considera como el medio natural para el desarrollo de las plantas y está limitado en profundidad hasta donde penetran las raíces. La definición anterior es muy útil para relacionar a la Ciencia del Suelo con el conocimiento empírico. Desde el punto de vista técnico, suelo puede definirse como: “un cuerpo natural que se encuentra sobre la superficie de la corteza terrestre, conteniendo materia viva y soportando o siendo capaz de soportar plantas”.

La definición anterior contiene conceptos fundamentales, en primer término es un cuerpo natural, es decir, es un ente dentro de la naturaleza y como tal, posee la propiedad de singularidad; por lo tanto, tiene características propias y está sujeto a leyes específicas.

En segundo lugar, contiene materia viva, es decir, posee propiedades de los organismos vivientes y finalmente, soporta o es capaz de soportar plantas, esto es, que su estudio siempre estará relacionado con los requerimientos de las plantas que sobre él se desarrollan (Ortíz, 1987)

### 1.1.2. Formación del suelo

Jenny en 1941, propuso que el suelo (S) es una función de la acción conjunta de cinco factores (Ortíz, 1987):

<b><math>s = f(m, cl, o, r, t)</math></b>	<b>m=Material parental (pasivo)</b>
	<b>cl=Clima (activo)</b>
	<b>o=Organismos o biosfera (activo)</b>
	<b>r=Relieve (pasivo)</b>
	<b>t=Tiempo (neutro)</b>

Los materiales parentales de los suelos mexicanos se clasifican en: residuales (depósitos de rocas expuestos a la intemperie para permitir el desarrollo de suelos y minerales) y transportados (minerales o fragmentos de roca que han sido removidos de un lugar por la acción del agua, del viento, la gravedad, el hielo o combinación de éstos). Los efectos directos del clima sobre la formación de suelos pueden incluirse dentro de los siguientes:

- Acumulaciones de carbonatos de calcio en áreas de poca precipitación.
- Suelos ácidos en áreas húmedas debido al intenso intemperismo y lavado.
- Erosión de suelos en pendientes pronunciadas.
- Depósito de materiales del suelo en partes bajas.
- Mayor intensidad de intemperismo, lavado y erosión.

La actividad de plantas y animales y la descomposición de sus residuos orgánicos y desperdicios tienen marcada influencia en la formación del suelo debido al contenido y distribución de material orgánica (MO), acidez del suelo y la compactación del mismo.

El tiempo requerido para que el suelo desarrolle diferentes capas llamadas horizontes depende de las interrelaciones de todos los factores como clima, naturaleza parental, los

organismos y el relieve; bajo condiciones ideales un suelo puede formarse completamente en 200 años.

Existen factores que retardan el desarrollo del suelo como son (Ortíz, 1987):

1. Baja precipitación (poco intemperismo y lavado)
2. Baja humedad relativa (escaso desarrollo de algas, hongos y líquenes)
3. Alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{NaCO}_3$  en material parental.
4. Suelos ricos en arenas cuarzosas con poca arcilla (pocos coloides para moverse)
5. Alto porcentaje de arcilla (aireación pobre, movimiento lento del agua)
6. Materiales parentales resistentes como el granito (poco intemperismo)
7. Pendientes muy fuertes (la erosión remueve el suelo, poco agua para lavados)
8. Nivel del agua elevado (lavado ligero y poco intemperismo)
9. Temperaturas bajas (reacciones químicas disminuyen)
10. Constante acumulación de materiales del suelo por depósito (continuamente se tiene nuevo material)
11. Severa erosión eólica o hídrica
12. Mezclas por animales y por el hombre (labranza)

Condiciones opuestas pueden favorecer el desarrollo de un suelo.

Se tienen tres etapas teóricas de formación del suelo:

- a) Intemperismo físico: al quedar expuestas las rocas al ambiente se inicia su desintegración por acción del agua, temperatura y la gravedad.
- b) Intemperismo químico: por medio de reacciones de hidrólisis, hidratación, oxidación, reducción, carbonatación y solución, que originan cambios en la solubilidad o estructuras de los materiales.
- c) Invasión de la vegetación: la MO produce cambios bioquímicos en el suelo.

## 1.2 Componentes del suelo.

El suelo es una variable mezcla de minerales, materia orgánica, espacio poroso y agua capaces de soportar plantas y vida sobre la superficie terrestre. Es el producto final de la acción de desgaste físico, químico y biológico. La porción orgánica del suelo consiste en biomasa de plantas en diferentes estados de descomposición. Grandes poblaciones de bacterias, hongos y animales como los gusanos de tierra pueden encontrarse en el suelo. El suelo contiene espacios de aire y generalmente tienen una textura suelta. La fracción sólida de un suelo productivo típico es de aproximadamente 5.0% de materia orgánica y 95.0% de materia inorgánica. Algunos suelos (como los suelos de turba) pueden contener tanto como 95.0% de materia orgánica, mientras que otros solo contienen el 1.0% (Stanley, 2000)

Al suelo en su sentido más amplio se les ha considerado como una mezcla de materia mineral, materia orgánica, agua y aire (Ortíz, 1987).

El volumen ocupado por cada uno de estos componentes en un suelo superficial de textura franca y en condiciones ideales para el desarrollo de las plantas, será aproximadamente como sigue: minerales 45.0%; materia orgánica 5.0%; agua 25.0 y aire 25.0%. Alrededor de la mitad del volumen es espacio poroso (agua y aire).

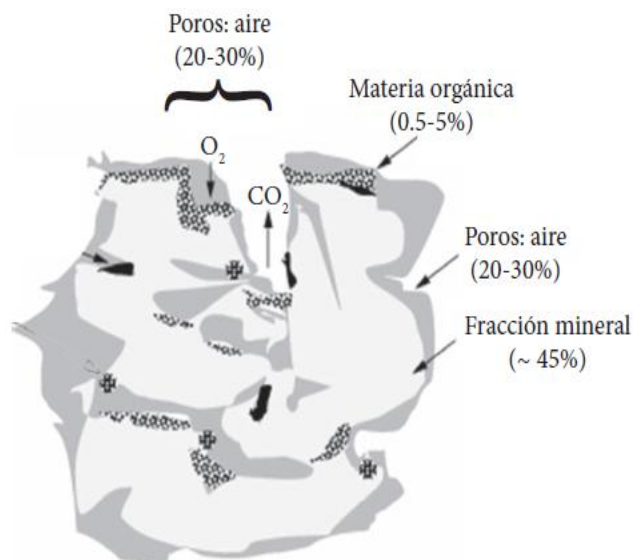


Fig. 1. Componentes del suelo (Rucks, 2004)

Las proporciones de estos componentes varían de tiempo y de lugar a lugar. El volumen de agua y aire componen una relación directamente proporcional uno con el otro. La entrada de agua al suelo excluye al aire. Al ser removida el agua por el drenaje, la evaporación o por las plantas en desarrollo, el espacio poroso llega a ocuparse con aire. El subsuelo generalmente se caracteriza por contener menor materia orgánica que el suelo superficial. Un suelo orgánico (humífero o turboso) tienen un mayor volumen de materia orgánica que de material mineral.

### **1.3 Morfología del suelo.**

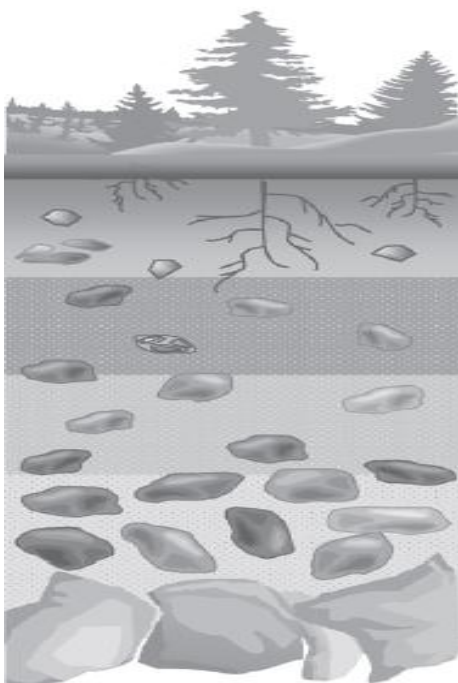
Al ser el suelo un cuerpo natural tridimensional, parte de un ecosistema, su estudio debe iniciarse en el campo, con la observación detallada y precisa tanto del suelo en su conjunto, como del medio en el que se halla. El perfil del suelo es un corte vertical del terreno, que permite estudiar el suelo en su conjunto desde su superficie hasta el material originario. Los suelos típicos presentan capas distintivas a una profundidad específica. Al observar el perfil pueden distinguirse capas que se denominan horizontes, dado que su disposición suele ser horizontal o subhorizontal. Los horizontes se forman como resultado de una serie de complejas interacciones entre los procesos que ocurren durante el desgaste.

La percolación del agua de lluvia a través del suelo trae consigo sólidos disueltos y coloidales a los horizontes más bajos donde son depositados (Porta y otros, 1999).

Los procesos biológicos, como la descomposición bacteriana de la biomasa del residuo de plantas, produce ligeramente  $\text{CO}_2$ , ácidos orgánicos y compuestos complejantes que son transportados por el agua de lluvia a horizontes bajos, donde interactúan con arcillas y otros minerales, alterando las propiedades de los minerales. Cada uno de ellos suele tener características y propiedades diferentes en un mismo suelo, de ahí la importancia de su identificación para estudiarlos, describirlos y muestrearlos separadamente.

Los horizontes se delimitan atendiendo a los siguientes aspectos (Porta y otros, 1999):

- Las diferencias de color.
- Propiedades morfológicas: textura, estructura, elementos gruesos.
- Propiedades asociadas: consistencia, compacidad, plasticidad, adhesividad, friabilidad y dureza.

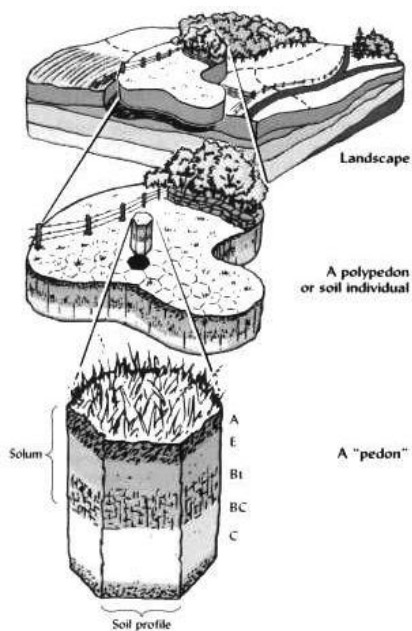


**Fig. 2. Representación de la formación de horizontes.**

El suelo queda delimitado en su parte superior por la superficie del terreno, su límite inferior puede resultar más difícil de definir. Teniendo en cuenta que los procesos de formación del suelo producen modificaciones en sentido vertical, la variación de las propiedades es función de la distancia a la superficie. La profundidad, a partir de la cual las características son constantes, con independencia de la distancia a la superficie o presentan ritmicidad de carácter estratigráfico, define el límite inferior del suelo. (Porta y otros, 1999) Para estudiar, describir y muestrear un individuo suelo, se delimita de forma arbitraria un volumen mínimo. El Soil Survey Staff (S.S.S) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) utiliza como unidad mínima de descripción y muestreo el pedón, lo que permite emplear métodos estadísticos y determinar la pureza de un mapa de suelos. El pedón es un volumen arbitrario de suelo, considerado como el



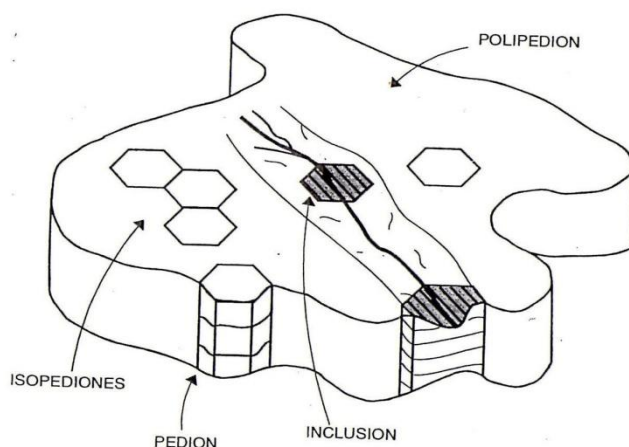
más pequeño que puede reconocerse como un suelo individual, cuyas dimensiones laterales son suficientes para permitir el estudio de las formas de los horizontes y sus relaciones. Su superficie puede ser de 1.0-10.0 m<sup>2</sup>, según la variabilidad del suelo. Su extensión vertical comprende desde la superficie (límite superior), hasta la aparición del material originario. Si los horizontes son intermitentes o cíclicos, si bien recurrentes a intervalos lineales de 2.0-7.0 m, el pedón incluye la mitad del ciclo, si la recurrencia es con mayor intervalo se diferenciarán dos suelos distintos (Porta y otros, 1999).



**Fig. 3. Delimitación arbitraria de volumen mínimo de suelo.**

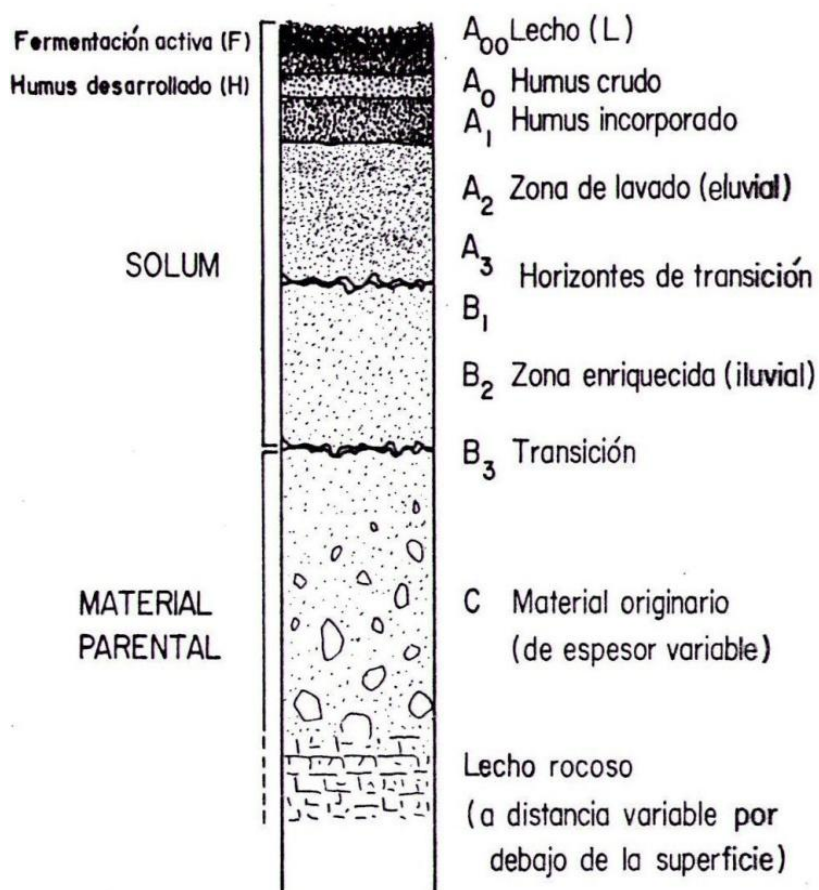
Los suelos presentan una variabilidad espacial significativa con cambios laterales graduales. Pedones cuyas características varían dentro de intervalos estrechos de unos a otros pueden agruparse en una misma unidad.

Se trata de isopedones: conjunto de pedones contiguos que constituyen un polipédono. El polipédono, por la extensión que ocupa, puede tener representación cartográfica en mapas de suelos a escala grande, constituyendo una unidad cartográfica. Ahora bien, dentro de un polipédono puede existir cierta variabilidad entre los pedones que lo integran. A parte de los isopedones puede haber pedones que ocupen una superficie no



**Fig. 4. Representación de un polipédono (Porta y otros, 1999).**

representable a la escala del mapa a la que se trabaja: constituyen las inclusiones o impurezas. En mapas a escala grande no llegan a superar un 15.0-20.0% de la superficie de la unidad cartográfica representada (Porta y otros, 1999). La presencia de horizontes es el resultado de la evolución o génesis del suelo a partir de un material originario, de ahí que se denominen horizontes genéticos. Dokuchaev introdujo la utilización de las primeras letras del alfabeto latino para la designar los sucesivos horizontes del suelo; hay que destacar que las distintas entidades que se vienen ocupando de la nomenclatura de horizontes no han logrado un acuerdo completo al objeto de uniformizar la simbología.



**Fig. 5. Perfil ideal del suelo donde se muestran todos los horizontes que pueden distinguirse (Aguilera, 1989).**

La capa superficial del suelo, típicamente de pocas pulgadas de espesor, es conocido como el horizonte A, o capa superior del suelo. Esta es la capa de mayor actividad biológica en el suelo y contiene a la mayoría de la materia orgánica (Stanley, 2000).

Los iones metálicos y las partículas de arcilla en el horizonte A son objeto de una lixiviación considerable. La siguiente capa es el horizonte B, o subsuelo. Este recibe el material como materia orgánica, sales y partículas de arcilla lixiviadas desde el horizonte A. El horizonte C se compone por roca madre desgastada de la cual se da origen al suelo. Los suelos exhiben una gran variedad de características que son usadas para su clasificación para varios propósitos, incluyendo la producción de cultivos y la disposición de desechos. Otras características que son incluidas son la resistencia, trabajabilidad, tamaño de partícula, permeabilidad y el grado de madurez.

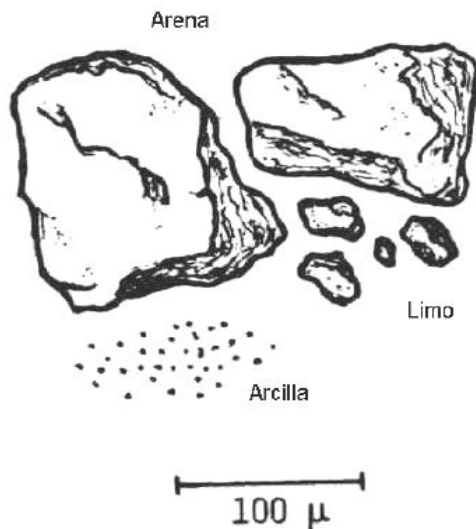
Una de las clases más importantes de suelo productivo es el podzol, que se encuentra formado bajo relativamente grandes condiciones de precipitación pluvial en diferentes zonas de temperatura. Estos suelos ricos generalmente tienden a ser ácidos (pH de 3.5-4.5) de tal manera que los metales alcalinos y los alcalinotérreos, en un menor grado aluminio y hierro, son lixiviados desde sus horizontes A, dejando caolita como el mineral arcilloso predominante. En tanto que a mayor pH en el horizonte B, los óxidos de hierro hidratados y las arcillas son re-depositados. (Stanley, 2000)

## **1.4 Propiedades físicas del suelo.**

### **1.4.1 Textura del suelo.**

La textura es una expresión sintética de las características de cada horizonte dependientes del tamaño de las partículas (Porta y otros, 1999). Se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en el suelo.

La clasificación de texturas se basa en la cantidad de partículas menores a 2 mm de diámetro. Las fracciones según el tamaño (arena, limo y arcilla) se denominan “separados del suelo” (Ortíz, 1987).



**Fig. 6. Tamaño de partícula de arena, limo y arcilla (Rucks, 2004).**

El estudio de las partículas minerales puede llevarse a cabo con distintos enfoques, atendiendo al tamaño y forma de las partículas, a su mineralogía, grado de meteorización, relaciones entre ellas, etc. Un planteamiento mucho más sencillo y, por ello más generalizado, consiste en determinar la granulometría de la fracción mineral.

La granulometría expresa las proporciones relativas de las distintas partículas minerales inferiores a 2 mm, agrupadas por clases de tamaños en fracciones granulométricas, tras la destrucción de los agregados (Porta y otros, 1999).

**Cuadro I. Clases de tamaños en fracciones granulométricas (Porta y otros, 1999).**

<b>Elementos gruesos</b>	<b>Diámetro aparente &gt; 2 mm</b>
<b>Bloques</b>	<b>25 – 60 cm y mas</b>
<b>Cantos</b>	<b>6 – 25 cm</b>
<b>Grava gruesa</b>	<b>2 – 6 cm</b>
<b>Grava media</b>	<b>0.6 – 2 cm</b>
<b>Gravilla</b>	<b>0.2 – 0.6 cm</b>
<b>Tierra fina</b>	<b>Diámetro aparente ≤ 2 mm</b>
<b>Arena</b>	
<b>Limo</b>	
<b>Arcilla</b>	

La granulometría es una de las características más estables y puede considerarse una determinación básica de cada horizonte de un suelo. Una vez se dispone de esta información para una parcela determinada o para una unidad de suelos, no será preciso repetir el análisis al cabo del tiempo. Si existe el mapa detallado de los suelos de la zona,

bastará con consultarlo, lo que evitara realizar este análisis, siempre laborioso y por ello de costo elevado.

**Cuadro II. Denominación granulométrica (Porta y otros, 1999).**

Granulometría (denominación)	FRACCIONES	
	Denominación	Diámetros aparentes $\mu\text{m}$
USDA Simple	Arena USDA	$50 < \phi < 2000$
	Limo USDA	$2 < \phi < 50$
	Arcilla	$\phi < 2$
USDA	Arena gruesa USDA	$500 < \phi < 2000$
	Arena fina USDA	$50 < \phi < 500$
	Limo USDA	$2 < \phi < 50$
USDA completa	Arcilla	$\phi < 2$
	Arena muy gruesa USDA	$1000 < \phi < 2000$
	Arena gruesa USDA sentido estricto	$500 < \phi < 1000$
	Arena media USDA	$250 < \phi < 500$
	Arena fina USDA sentido estricto	$100 < \phi < 250$
	Arena muy fina USDA	$50 < \phi < 100$
	Limo USDA	$2 < \phi < 50$
Internacional simple	Arcilla	$\phi < 2$
	Arena ISSS	$20 < \phi < 2000$
	Limo ISSS	$2 < \phi < 20$
	Arcilla	$\phi < 2$

El interés de conocer la granulometría reside en que permite inferir otras propiedades o características directamente relacionadas con el uso o comportamiento del suelo (Porta y otros, 1999):

- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas (CRAD) y de suministro.
- Facilidad para la circulación del agua.
- Facilidad para el laboreo.
- Riesgo para la formación del sellado y costra.
- Riesgo de erosión hídrica.
- Riesgo de erosión eólica.
- Capacidad de almacenamiento de nutrientes.
- Capacidad para admitir aguas residuales y otros residuos líquidos.

### 1.4.1.1 Fracciones granulométricas y su justificación.

Para separar las distintas fracciones granulométricas, arcilla, limo y arena, se hace necesario establecer previamente los límites entre cada una de ellas. Los criterios para ellos son un tanto arbitrarios y dependen de los objetivos perseguidos, de ahí que se hayan propuesto y se utilicen diversos valores numéricos.

Los más comunes en Edafología son los propuestos por Atterberg, adoptados por la International Society of Soil Science (ISSS) en 1927 y los United States Department of Agriculture (USDA). Las distintas fracciones granulométricas utilizadas y la justificación de los valores adoptados para establecer los límites entre ellas son presentadas en el Cuadro III:

**Cuadro III. Fracciones granulométricas y su justificación (Porta y otros, 1999).**

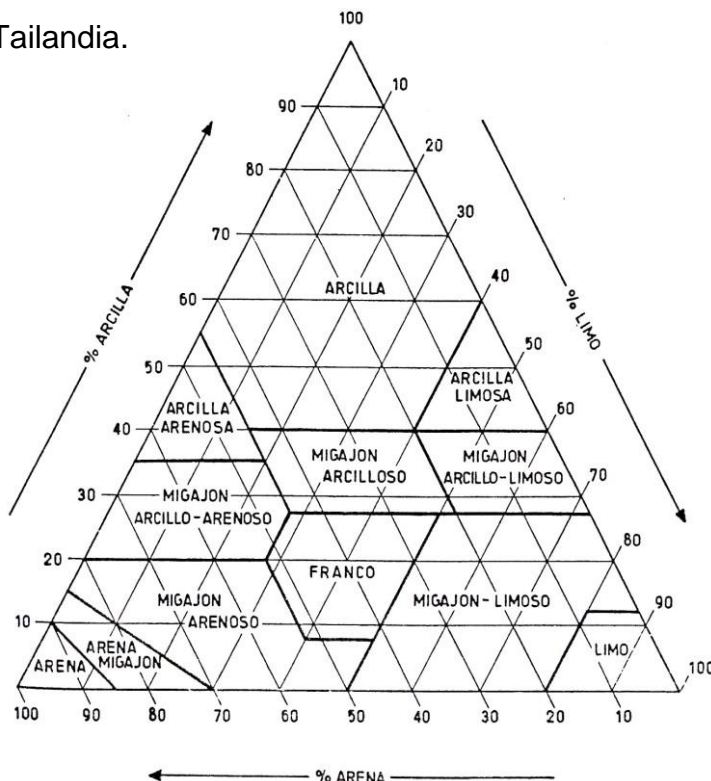
Límite	Fracción	Justificación
> 2 mm	Elementos gruesos	A partir de este tamaño las fuerzas de unión actúan difícilmente y las partículas se mantienen siempre separadas sin cohesión, incluso si están húmedas.
200 $\mu\text{m}$	Límite superior de la arena fina ISSS	Por debajo de este tamaño los granos de los minerales formadores de las rocas se presentan separados, esta circunstancia tiene interés para estudios mineralógicos de arena.
50 $\mu\text{m}$	Límite superior del limo USDA	El predominio de partículas tamaño limo (50-2 $\mu\text{m}$ ) en suelo le confiere características físicas desfavorables, inestabilidad estructural, apelmazamiento, susceptibilidad a formar costra superficial, deficiente movimiento del agua, etc.
20 $\mu\text{m}$	Límite superior del limo ISSS	Límite arbitrario
$\leq 2 \mu\text{m}$	Arcilla	Partículas con importante carga eléctrica superficial, superficie específica elevada.
$\leq 0.2 \mu\text{m}$	Arcilla fina	Partículas con carga eléctrica superficial, comportamiento coloidal, superficie específica muy elevada.

La textura del suelo es una característica en extremo importante. Afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo tanto los suelos pueden dividirse en términos generales en suelos de textura fina y gruesa. En los suelos de textura fina predomina la arcilla y tienen una mayor superficie activa que los suelos arenosos; poseen mayor capacidad de adsorción de nutrientes y usualmente son más fértiles. Los suelos arenosos son más porosos y permiten una más rápida infiltración del agua. Sin embargo

los suelos arcillosos son de mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor área superficial; tienen un mayor espacio poroso total que los suelos arenosos (Porta y otros, 1999). Esta diferencia se debe al mayor número de micro poros que funcionan en la retención del agua. En los suelos arenosos hay más macro poros que funcionan en el movimiento del aire y del agua.

#### 1.4.1.2 El triángulo de texturas y su uso.

La textura del suelo se expresa por los nombres de las clases que se encuentran en el triángulo de texturas. Los nombres de las clases de los suelos básicamente consisten de los términos arena, limo, arcilla y migajón o franco (usados ya sea como nombres, adjetivos o ambos). Si suficiente arcilla está presente, el nombre de la clase textural del suelo simplemente será “arcilla”. Sin embargo si el suelo contiene un porcentaje suficiente de arena apreciablemente modifica las propiedades impartidas por la arcilla, entonces el nombre de la clase textural del suelo podría ser “arcilla arenosa”. Cuando se conocen los porcentajes de arena, limo y arcilla el nombre de la clase textural se determina fácilmente con el uso del triángulo. Khuntong, en 2010 desarrolló un método de análisis para determinar las cinéticas de adsorción del plaguicida carbamato con base en las características fisicoquímicas y texturales del suelo de cultivos de arroz en Tailandia.



**Fig. 7. Triángulo de texturas que muestra los límites de arena, limo y arcilla considerados en las diferentes clases de textura. (Aguilera, 1989 y Rucks, 2004).**

### 1.4.1.3 Determinación de la textura en campo.

La textura del suelo también puede determinarse directamente en el campo. En general deber considerarse como una estimación y el procedimiento consiste en tomar entre los dedos una pequeña fracción de suelo, humectarlo y frotarlo moldeándolo. De acuerdo con la sensación o forma, se establece la clase textural. Las normas que tradicionalmente se siguen son: la dominancia de arena da una sensación rasposa (como de lija); la dominancia en limo produce una sensación a jabón y la dominancia de arcilla origina un material pegajoso y moldeable. También es común diferenciar a los suelos arcillosos de los francos por las formas que pueden moldearse. Con ambos suelos es posible hacer cordones redondeados entre las manos, pero solo con las arcillas pueden formarse anillos (Ortíz, 1987).

### 1.5 Densidad del suelo.

La densidad se considera como el peso por volumen unitario de sustancia, reportada comúnmente en  $\text{g/cm}^3$ . Simbólicamente la densidad se representa por la siguiente expresión:

$$D = \frac{p}{v}$$

Donde:

D= densidad ( $\text{g/cm}^3$ ),

p= peso (g),

v= volumen ( $\text{cm}^3$ ).

En el estudio de suelos se distinguen dos tipos de densidad: densidad real o de partículas ( $D_r$ ) y la densidad aparente ( $D_{ap}$ ), cuyas fórmulas de cálculo se expresan de la siguiente manera:

$$D_r = \frac{p}{\text{volumen real}}$$

$$D_{ap} = \frac{p}{\text{volumen aparente}}$$



La diferencia entre ambos volúmenes puede establecerse por medio de la siguiente igualdad:

$$V_{ap} = V_r + V_{vac}$$

**Donde:**

$V_{ap}$  = volumen aparente

$V_r$  = volumen real

$V_{vac}$  = volumen vacío

La diferencia entre ambas densidades radica en el volumen que se considere: la densidad real involucra al volumen de las partículas únicamente, mientras que la densidad aparente se calculará con el volumen de las partículas y el volumen vacío (o espacio poroso) (Ortíz, 1987).

### **1.6 Porosidad.**

El espacio poroso es importante debido a que los poros del suelo están totalmente llenos de agua y aire; estos fluidos se mueven a través de los espacios porosos. Así, la provisión de agua y oxígeno para el crecimiento de las plantas y la tasa de movimiento del agua en el suelo están relacionados con la cantidad y tamaño de los poros del mismo. Debido a que el peso del suelo está relacionado con la cantidad de espacios porosos, dichas relaciones se estudian juntas. Tanto el peso como el espacio poroso varían de horizonte a horizonte, al igual que otras propiedades de los suelos, y ambos son afectados por la textura y la estructura (Aguilera, 1989).

Los suelos superficiales arenosos usualmente tienen una mayor densidad aparente que los arcillosos. Esto significa que en estado seco los suelos arenosos tienen un volumen menor ocupado por espacio poroso (Cuadro IV). El agua se mueve más rápido a través de un suelo arenoso que en uno arcilloso (Rucks, 2004).

**Cuadro IV. Clasificación de los poros por su diámetro (Aguilera, 1989).**

Clases	Subclases	Límite de la clase
Macroporos	Macroporos muy finos	Mayor que 75 micras
		75 – 1000 micras
	Macroporos finos	1000 – 2000 micras
	Macroporos medios	2000 – 5000 micras
	Macroporos gruesos	Mayor que 5000 micras
Mesoporos		30 – 75 micras
Microporos		5 – 30 micras
Ultramicroporos		Menor que 5 micras
Criptoporos		Menor que 0.1 micras

Lo anterior se debe a que el espacio total poroso en un suelo arenoso puede ser bajo, pero una gran proporción de aquel está compuesta de poros grandes, los cuales son eficaces para el movimiento de aire y agua. El porcentaje del volumen ocupado por poros pequeños en suelos arenosos es bajo y ello causa su baja capacidad de retención acuosa.

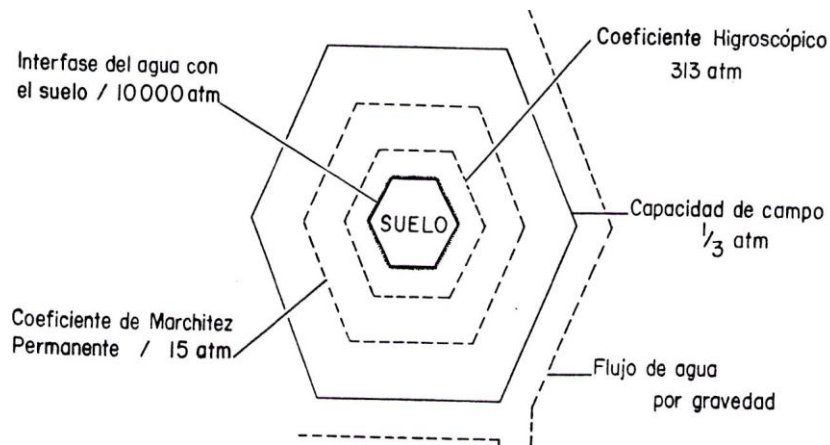
En contraste, los suelos superficiales de textura fina tienen más espacio poroso y una proporción relativamente grande de ellos se compone de poros pequeños, reduciendo un suelo con mayor capacidad para retener el agua. El aire y el agua se mueven a través del suelo con dificultad debido a que existen pocos poros grandes. Por lo tanto el tamaño de los espacios porosos en los suelos puede ser tan importante como la cantidad total de poros. En un suelo húmedo bien drenado, los espacios porosos grandes se encuentran usualmente llenos de aire, en consecuencia se les ha denominado poros de aereación o macro poros. Mientras más pequeños sean los poros se llenan con agua más fácilmente y se les denomina capilares o micro poros (Aguilera, 1989).

Después de la lluvia, los poros más pequeños (capilares) se llenan con agua y los poros mas grandes se llenaran con aire. Obviamente, la cantidad y tamaño de los poros afectaran el contenido de agua y aire del suelo humedecido. Si la lluvia se prolonga puede dar por resultado un flujo lento de agua a través de los horizontes del suelo subyacentes, menos permeables, formando una acumulación de agua en la capa superficial del suelo y causar un aumento de su concentración y disminución del aire. A través de toda la zona de raíces, éstas y los organismos consumen oxígeno y liberan

dióxido de carbono. El aire del suelo comúnmente contiene de 10 a 100 veces más dióxido de carbono y un poco menos de oxígeno que el aire normal. Si el oxígeno no se difunde hacia abajo en la zona radicular, entonces se desarrolla una deficiencia de oxígeno y una toxicidad por dióxido de carbono (Aguilera, 1989).

### 1.7 Agua del suelo.

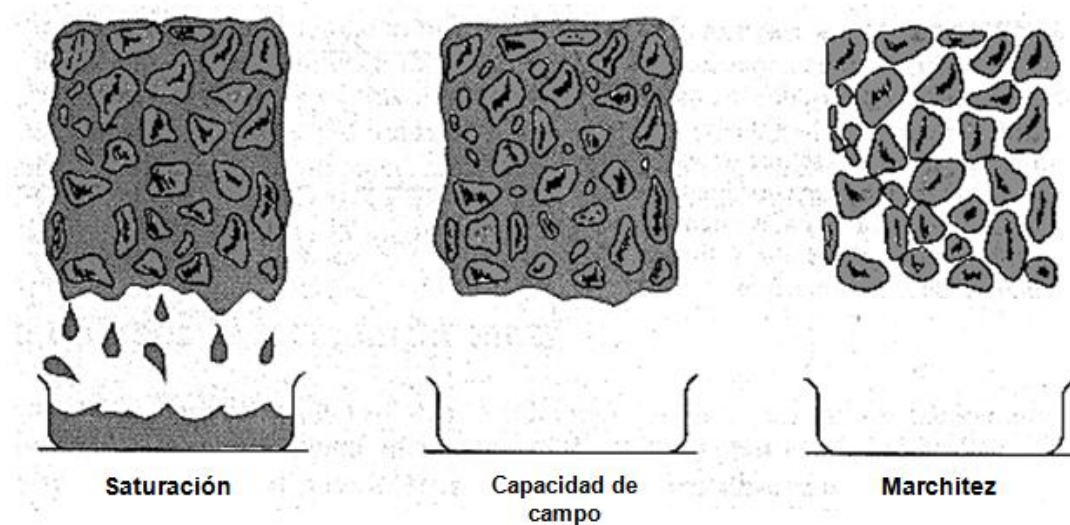
Es la cantidad de agua en el suelo en relación con los espacios porosos. El agua es retenida por los suelos debido a las fuerzas de adsorción de las partículas de materia orgánica y de los elementos inorgánicos, así como por las moléculas de agua que se suman a las fuerzas cohesivas de otras moléculas de agua adyacentes, dando por resultado delgadas películas de agua que se retienen fuertemente sobre la superficie de las partículas, haciéndola relativamente inmóvil mientras que estas delgadas películas son mas móviles y pueden desplazarse de partícula a partícula, tanto lateral como verticalmente (Aguilera, 1989).



**Fig. 8. Películas de agua del suelo y las tensiones de retención (Aguilera, 1989).**

Al agregarse agua en la superficie del suelo, el agua migra hacia abajo por la fuerza de gravedad. El agua es distribuida totalmente a través del suelo en un periodo de dos a tres días. Los contenidos de agua a la capacidad de campo se pierden por evaporación superficial y por la transpiración de las plantas, el último mecanismo quizá el más importante en la pérdida del agua en los perfiles de los suelos. Al removerse el agua de los poros por las raíces de las plantas, las películas de agua se hacen más delgadas y

son más fuertemente retenidas por las partículas del suelo, a tal grado que las raíces de las plantas no la pueden extraer. En estas circunstancias, al agua retenida se le conoce como punto de marchitez permanente (Aguilera, 1989).



**Fig. 9. Representación de un suelo bajo condiciones de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.**

El agua disponible en condiciones de capacidad de campo es aquella que se obtiene como diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, es la cantidad de agua para humedecer una capa de suelo desde el punto de marchitez permanente hasta la capacidad de campo. Las retenciones de agua por el suelo dependen de los contenidos de arcilla y de la materia orgánica. Buckman en 1969 reporta que las capacidades de retención del agua disponible para una capa de 10.0 cm de espesor es de 1.0 cm para un suelo arcilloso, de 1.7 cm en un suelo migajón limoso y 1.0 cm para un migajón arenoso (Aguilera, 1989).

### **1.7.1 Infiltración, permeabilidad y percolación.**

#### **1.7.1.1 Infiltración.**

La infiltración designa el proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través de la superficie del suelo, lo que constituye la primera etapa en el movimiento del agua en el suelo. Con el agua, penetran en el suelo las sustancias que lleve disueltas y en

suspensión. Al iniciarse la lluvia, un riego o llegar una corriente de agua sobre un suelo seco, la entrada tendrá lugar en condiciones no saturadas, principalmente bajo la influencia de los gradientes de potencial matricial por diferencias en el contenido de agua y, en menor medida, de la gravedad (Porta y otros, 1999).

El estudio de la infiltración tiene interés en:

a) Proyectos de riego:

- Transformaciones en el riego.
- Selección de equipos de riego.
- Manejo de agua de riego.
- Determinación de la pluviometría del riego por aspersión.

b) Estudios ambientales:

- Degradación de suelos por erosión hídrica: estudios sobre escorrentía.
- Determinación del caudal de aguas residuales que es capaz de infiltrar un suelo.
- Mejora de suelos afectados por salinidad
- Estudio del ciclo hidrológico.

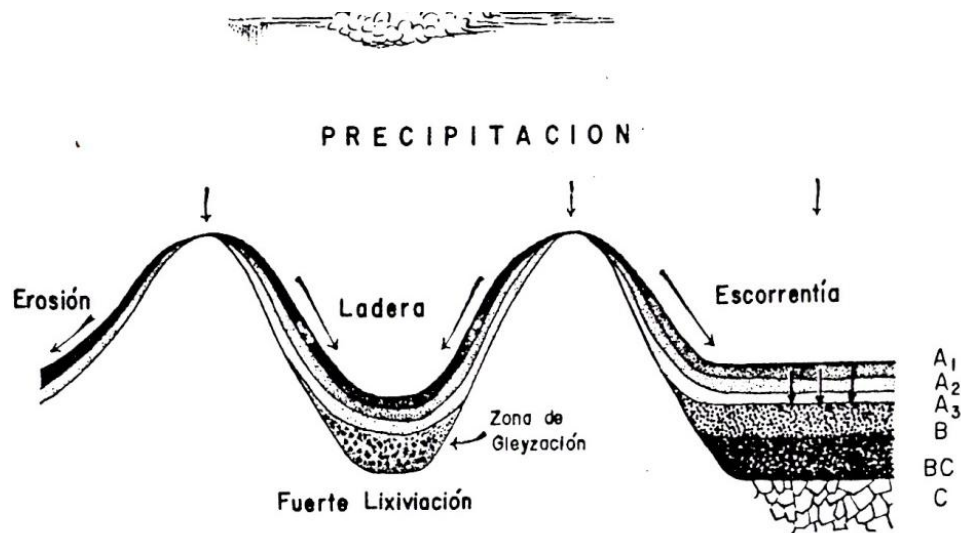


Fig. 10. Efectos de la topografía en los movimientos de agua superficial, escorrentía, erosión, lixiviación y drenaje impedido (Aguilera, 1989).

Los factores principales que controlan la magnitud del movimiento del agua en la infiltración son:

- Porcentaje de arena, limo y arcilla en el suelo. Las arenas gruesas favorecen el incremento de la infiltración.
- Estructura del suelo. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltración más altas.
- Cantidad de materia orgánica en el suelo. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- Profundidad del suelo a un “hardpan”, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- Cantidad de agua en el suelo. En general los suelos mojados tienen menor infiltración que los suelos secos.
- Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los fríos.

La cantidad de agua aportada por una lluvia o por un riego condiciona el proceso, siempre y cuando se cumpla que (Porta y otros, 1999):

**Donde:**

**$P < I$**

**P= Precipitación (mm)**

**I= infiltración acumulada (mm)**

En aquellos casos en que la intensidad de la lluvia vaya aumentando, llegará un momento en que el suelo no será capaz de infiltrar toda el agua que recibe:

$P > I$	<p><b>Donde:</b></p> <p><b>P= Precipitación (mm)</b></p> <p><b>I= infiltración acumulada (mm)</b></p>
<p>El exceso de agua formará charcos si el terreno es llano y, si se trata de una ladera, se movilizará a favor de la pendiente, dando lugar a escorrentía superficial. Suponiendo que no haya evaporación ni intercepción por la vegetación, ni encharcamiento en depresiones, se cumplirá:</p>	
$P = I + E$	<b>E= Escorrentía superficial</b>
<p>En este caso el proceso de infiltración viene controlado por las características del suelo, en especial las de su superficie (Porta y otros, 1999).</p>	

Cabe distinguir los siguientes conceptos:

- a. Infiltración acumulada: cantidad de agua que se ha infiltrado en la unidad de superficie de un suelo a lo largo de un determinado tiempo, por ejemplo una lluvia.

$$I = I(t)$$

Donde:

I= infiltración acumulada ( $L^3 L^{-2}$ )

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l m}^{-2}$$

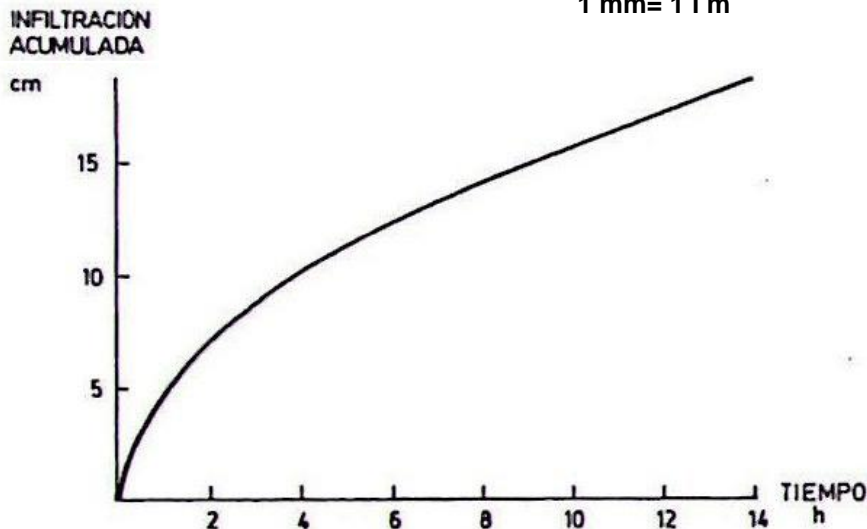


Fig. 11. Representación gráfica de la infiltración acumulada (Porta y otros, 1999).

- b. Velocidad de infiltración: tasa o velocidad a la que el agua entra en el suelo en cada instante. Cantidad de agua infiltrada por unidad de superficie y de tiempo. Disminuye rápidamente a lo largo de los primeros momentos del proceso, partiendo de unas condiciones de suelo seco y tiende a estabilizarse asintóticamente a lo largo del tiempo. Se denomina también velocidad de infiltración instantánea.

Donde:

$$i(t) = \frac{d I (t)}{dt}$$

$i(t)$ = velocidad de infiltración

$I$ = infiltración

$t$ = tiempo

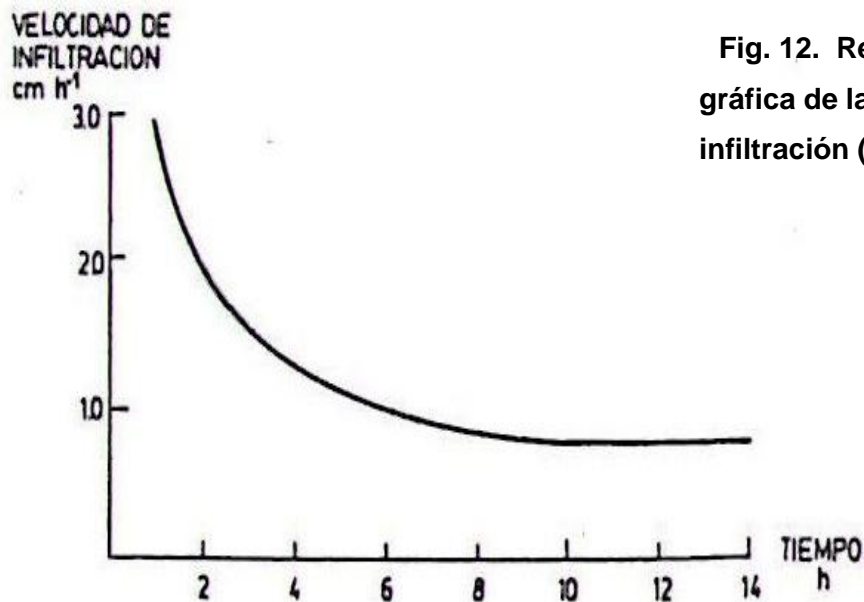


Fig. 12. Representación gráfica de la velocidad de infiltración (Porta y otros, 1999).



La magnitud de infiltración se clasifica de la siguiente manera:

- Muy lenta: suelos con capacidad de infiltración menor a 0.25 cm de lámina de agua por hora se clasifican como muy lentos; en este grupo están los suelos con un alto contenido de arcilla.
- Lenta: infiltración de 0.25 a 1.75 cm por hora. Este grupo incluye suelos con alto porcentaje de arcilla, de bajo contenido de materia orgánica o suelos delgados.
- Media: son las infiltraciones de 1.75 a 2.5 cm por hora. La mayoría de los suelos en este grupo son migajones arenosos o migajones limosos.
- Rápida: infiltración mayor de 2.5 cm de lámina de agua por hora. Arenas y migajones limosos profundos y de buena agregación, están en este grupo.

#### **1.7.1.2 Permeabilidad.**

Permeabilidad es la cualidad del suelo o de sus horizontes que se relaciona con la transmisión del agua o del aire a todas las partes de su masa. Las características que determinan la rapidez con la cual el aire y el agua fluyen a través del suelo, describen lo que se conoce como permeabilidad. La proporción del movimiento del agua a través del suelo queda definida por el horizonte menos permeable. El paso del arado o capas arcillosas (claypan) naturales reducen la permeabilidad del suelo. La labranza continua reduce la permeabilidad, mientras que el desarrollo de pastos, leguminosas y árboles de raíces profundas aumentan la permeabilidad. El agua es movilizada en el suelo como líquido o como vapor, principalmente a través de los macro poros. Esto significa que entre más grandes y numerosos sean los poros mayor será la permeabilidad. Las clases propuestas para indicar la permeabilidad, consideran las siguientes láminas de agua presentadas en el Cuadro V:

**Cuadro V. Permeabilidad de los suelos (Aguilera, 1989).**

Descripción de la permeabilidad	Rango (cm/hora)	Agrupación
Muy lenta	< 0.12	Lenta
Lenta	0.12 – 0.5	
Moderadamente lenta	0.5 – 2.0	
Moderada	2.0 – 6.0	Moderada
Moderadamente rápida	6.0 – 12.5	
Rápida	12.5 – 25.0	Rápida
Muy rápida	> 25.0	

### 1.7.1.3 Percolación.

Percolación es el movimiento de agua a través de una columna de suelos hacia niveles inferiores, especialmente en suelos saturados o casi saturados. Las aguas que percolan son la única fuente del agua de manantiales y pozos. Las aguas percolantes arrastran nutrientes de las plantas que se sitúan fuera del alcance de las raíces (Ortíz, 1987).

Las pérdidas por lavado son proporcionales a las cantidades de agua que pasan a través del suelo. Los nutrientes de las plantas se pierden en cantidades mayores cuando ningún cultivo en desarrollo absorbe los nutrientes.

Sin embargo y sin considerar el uso de la tierra, la proporción relativa de la pérdida de nutrientes del suelo por efecto del lavado están en el siguiente orden: Ca>Mg>S>K>N>P (calcio, magnesio, azufre, potasio y fósforo).

### 1.8 Interacción entre sustancias y suelo.

Entre los insumos químicos empleados para la producción agropecuaria, que más afectan el funcionamiento de los ecosistemas se enlista a los plaguicidas y los factores limitantes, como nitrógeno, fósforo y el agua (Solís, 2003).

La exposición de un organismo a un contaminante no solo depende de la cantidad que se libera y los diferentes caminos que sigue para entrar en contacto con el organismo, también depende de muchas otras variables físicas y químicas, las cuales pueden a su

vez ser afectadas y con ello modificar el micro ambiente donde se encuentra el organismo (Moriarty, F., 1999). Por lo cual resulta importante conocer la especie química que entra en contacto con el organismo, las formas de estas especies químicas presentes en el medio y las fracciones de estas especies que pueden ser analizadas (Solís, 2003).

Su comportamiento en el ambiente está determinado fundamentalmente por sus propiedades fisicoquímicas que son características de cada sustancia y por las del medio en el cual la sustancia se encuentra presente. Ello determina su movilidad y la posibilidad de entrar en contacto con diferentes organismos de un ecosistema y producir en ellos algún efecto adverso. Se ha establecido que solo el 0.1% de la cantidad de plaguicidas aplicado llega a la plaga, mientras que el restante circula por el ambiente, contaminando posiblemente el suelo, agua y la biota; por lo tanto, se hace necesario caracterizar el destino final y la toxicidad no prevista de estos plaguicidas para evaluar con certeza el riesgo asociado a su uso (Torres, 2004).

La movilidad de una sustancia en el medio depende de tres factores importantes: la distribución de la sustancia en el agua, el aire o suelo, y en las interfases que entre ellos se puedan formar, por ejemplo agua-suelo (sedimento), o aire-suelo; el transporte de la sustancia a través de los diferentes medios y las diferentes transformaciones que pueden ocurrir, previo a que la sustancia entre en contacto con un organismo, ocasionadas por reacciones químicas como la hidrólisis o la fotólisis o bien por la transformación microbiana de estas sustancias.

Con base en lo anterior es necesario conocer la distribución de las sustancias en la zona y la posibilidad de transporte o migración a través del suelo o del agua y con ello prevenir posibles riesgos a la salud humana y al ambiente, tomando en consideración la dispersión de las sustancias en el suelo, se incluyen los siguientes aspectos (Solís, 2003):

1. La adsorción, acumulación, descomposición y excreción de sustancias por plantas, animales y particularmente microorganismos.
2. El transporte y acumulación de contaminantes en productos agrícolas.
3. La adsorción de sustancias (componentes líquidos y gaseosos) sobre partículas del suelo.
4. Intercambio de sustancias entre el suelo y la atmósfera (evaporación de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas de la superficie del suelo hacia la atmósfera)
5. El movimiento de sustancias por disolución y arrastre en la litósfera por acción del agua.
6. El movimiento de sustancias en las capas del suelo (en forma líquida y gaseosa) horizontal y vertical por acción de la capilaridad.
7. Conversión química y fotolítica de sustancias en la superficie y en el interior del suelo.

Las sustancias que se incorporan al ambiente y que pueden ocasionar efectos adversos sobre los ecosistemas, se clasifican de diferentes formas (Connell, 1999 y Solís, 2003):

- a) Tomando como referencia sus propiedades biológicas: plaguicidas, carcinógenos, teratógenos.
- b) Tomando como base su estructura química: organofosforados, bifenilos policlorados, metales pesados, piretroides, organoclorados.
- c) De acuerdo con características de sus propiedades fisicoquímicas: lipofílicos, hidrofílicos, surfactantes.

Las interacción que se lleva a cabo entre las sustancias y el medio de depósito o destino se ve influenciado por las características fisicoquímicas de ambos elementos (reactivo y reactor), por lo que las características del ambiente de depósito marcan la diferencia en el destino final de los compuestos. Esto es, objeto de estudio de la Ecotoxicología, que será abordado en la siguiente sección.

## 2. Ecotoxicología.

El término *ecotoxicología* fue acuñado en 1969 por R. Truhault, que la definió como la ciencia que se encarga de la descripción de los efectos tóxicos de varios agentes sobre organismos vivos, especialmente sobre poblaciones y comunidades dentro de los ecosistemas. En realidad se requiere incluir más de un tipo de clasificación para caracterizar una sustancia en el ambiente, quizá el mejor ejemplo pueda observarse en el caso de los plaguicidas, sustancias que están orientadas a eliminar o controlar los diferentes tipos de plagas existentes. La esencia de la ecotoxicología radica en dos áreas principales: un estudio del ambiente, teniendo origen en la ciencia de la ecología y un estudio de las interacciones de los químicos tóxicos con organismos vivos individuales: la toxicología. La toxicología es una de las ciencias más antiguas, data de tiempos ancestrales donde se iniciaba la búsqueda de remedios y curas para las enfermedades. Paracelso decía que todas las sustancias son venenos, solamente la dosis marcaba la diferencia entre los venenos y el remedio.

Las primeras definiciones de ecotoxicología incluyen la noción del peligro que corren los organismos vivos en contacto con químicos tóxicos que pueden ser investigados mediante el uso de datos, en otras palabras, con un enfoque retrospectivo. Lo anterior toma lugar como una perspectiva ambiental histórica, observando alguna situación que ha ocurrido y ligando la causa con el efecto. Por otra parte en contraste, se busca predecir el impacto de los químicos través de estudios prospectivos (Connell, 1999).

La ecotoxicología por su naturaleza, debe ser multidisciplinaria, combinando ciencias como Química, Toxicología, Farmacología, Epidemiología y Ecología, con un entendimiento de las fuentes y destino de las sustancias químicas en el ambiente. Quizás la mejor definición de Ecotoxicología sea la de Moriarty quien en 1988 sugiere que la tarea de esta ciencia es evaluar, monitorear y predecir el destino de sustancias extrañas en el ambiente. Esta definición incluye la caracterización química de los contaminantes que se encuentran presentes en nuestro ambiente y la necesidad de monitorearlas con el fin de evaluar si las cargas ambientales se están incrementando o

decreciendo, y la necesidad de predecir sus impactos mediante el estudio aplicando métodos modernos de Toxicología y Ecología.

Se estima que alrededor de 70000 sustancias químicas son comúnmente utilizadas para una amplia variedad de propósitos en nuestra comunidad global y que la proporción de introducción de nuevas sustancias es del orden de 200-1000 compuestos por año. Todas las comunidades humanas a través de la historia han producido desechos.

La disposición de los desechos debió ser fácil cuando las comunidades eran relativamente pequeñas en tamaño, pero las comunidades crecieron, ciudades más grandes fueron construidas, por lo tanto la disposición de desechos se convirtió en un problema difícil. Por ejemplo un médico en Londres, Percival Pott, notó la alta incidencia ocupacional de cáncer de escroto en limpia chimeneas, muchos de los cuales trepaban por las chimeneas para hacer su labor; él creía que esto era debido a la exposición de compuestos químicos producidos como resultado de la combustión de combustibles fósiles (los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos o PAH's) (Connell, 1999).

Un importante avance, la fabricación de fertilizantes nitrogenados a partir de nitrógeno atmosférico fue desarrollado por Fritz Haber en Alemania, con fábricas operando alrededor de 1913. Con el uso generalizado de fertilizantes se inicio una “edad química” de la agricultura, donde los suelos pobres podrían ser usados de manera más efectiva, teniendo grandes rendimientos en cultivos por año, dando lugar a que los países pudieran exportar y conservar producto para su propio consumo.

Un segundo grupo de químicos, los cuales han tenido últimamente un mayor efecto sobre la vida humana, la salud y la supervivencia han sido los agentes biocidas, incluyendo pesticidas y herbicidas. Estas sustancias han sido las “balas mágicas” contra agentes como insectos y mala hierba que dañan o destruyen cultivos o que son vectores transmisores de enfermedades para humanos y animales. Muchos de estos compuestos son sintéticos, en otras palabras que no ocurren en la naturaleza, sino que han sido sintetizados por el hombre.

La introducción del DDT (*Dicloro Difenil Tricloroetano*) en los últimos días de la Segunda Guerra Mundial para combatir al mosquito transmisor de la malaria es un caso clásico de uso de pesticidas. Una gran cantidad de nuevos compuestos químicos fueron introducidos, generalmente cuando el compuesto previo usado se había vuelto ineficiente debido al desarrollo de resistencia por parte de los organismos blanco. Muchos compuestos fueron diseñados no solo para matar organismos, sino para estar activos en el ambiente por periodos extensos, por lo tanto los costos involucrados en su uso se vieron disminuidos. Otros compuestos han sido diseñados “con amplio espectro” que matan más de una peste a la vez (matando a menudo desafortunadamente a especies “no blanco”) (Connell, 1999).

El uso de varios metales para tecnología se ha visto incrementado sustancialmente y también el de metales raramente empleados, como el mercurio y el cadmio, que favorecen a los efectos secundarios toxicológicamente significativos para el ambiente y las poblaciones humanas. Los bifenilos policlorados que fueron empleados principalmente como fluidos dieléctricos en la industria eléctrica se introdujeron por primera vez en 1929. Los clorofluorocarbonos fueron ampliamente usados en refrigeración y aires acondicionados. Desde 1960 muchas otras sustancias han sido similarmente reconocidas como contaminantes ambientales. Fue en 1962 que Rachel Carson publicó su libro *Silent Spring* detallando al público en general por primera vez los efectos no intencionales de productos químicos de uso generalizado en la vida silvestre (especialmente pesticida) (Connell, 1999).

Las sustancias tóxicas de origen natural biológico (principalmente derivadas de microorganismos, plantas y animales) son usualmente descritas como toxinas. Existen pocas sustancias de origen natural que pueden ser importantes ecotóxicos.

Es amplio el rango de toxones relativamente comunes en nuestra sociedad: petróleo, productos farmacéuticos y plaguicidas. Son sustancias que son descargadas dentro del ambiente, de ahí su denominación de ecotóxicos (Cuadro VI).

Estas sustancias pueden ser producto de las descargas por la industria, actividades domésticas y agrícolas, de esta última la mayor parte de las sustancias son plaguicidas.

El término ecotóxico engloba un amplio número de sustancias desde un grupo que incluye sustancias descargadas en el ambiente y que tienen un potencial impacto en ecosistemas a relativas bajas concentraciones. Puede incluir sustancias las cuales se encuentran ya presentes en el ambiente, siendo potenciadas por las descargas anteriormente mencionadas. Plomo, arsénico y mercurio se encuentran en los océanos, suelos y otras partes del ambiente.

### **2.1 Fuentes de ecotóxicos.**

La mayoría de las actividades de la sociedad humana producen toxones. El volumen de producción es relativamente alto al igual que su impacto. Los vehículos automotores son la mayor fuente de plomo en las zonas urbanas y otros metales, hidrocarburos aromáticos policíclicos y gases tóxicos. Las actividades agrícolas desarrolladas fuera de las zonas urbanas son probablemente la mayor fuente de producción de contaminantes para el suelo, debido al uso de plaguicidas (insecticidas y herbicidas). Quizás el ejemplo más espectacular de contaminación tóxica del ambiente ocurre debido al derrame accidental de petróleo (Solís, 2003)

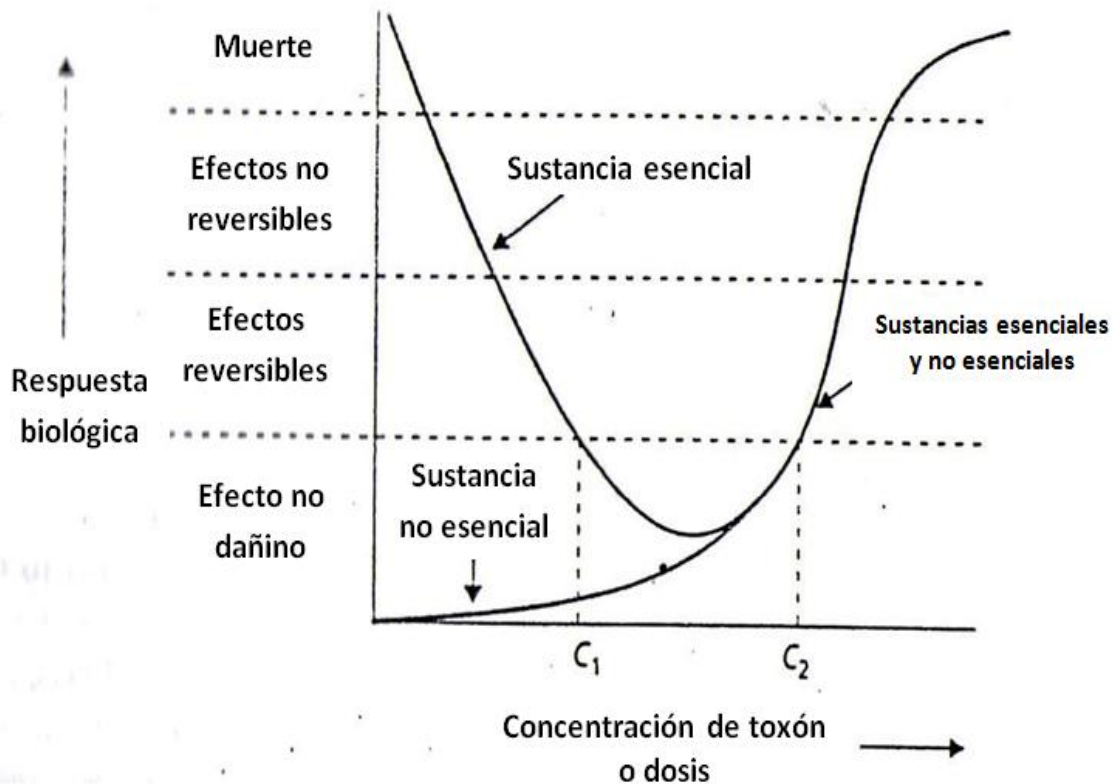


**Cuadro VI. Términos comunes y grupos característicos de ecotóxicos (Velázquez, Aldo con base en Connell, 1999)**

	<b>Término</b>	<b>Características</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Grupo basado en propiedades y estructura química</b>	Clorohidrocarburos	Compuestos basados en cloro, carbono e hidrógeno	DDT
	Hidrocarburos	Compuestos basados en carbono e hidrógeno	Hexano
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)	Hidrocarburos que contienen uno o mas grupos aromáticos	Benzo (a) pireno
	Organoclorados (OCs)	Compuestos orgánicos que contienen cloro	DDT; 2,4-D
	Organoclorados persistentes	Compuestos orgánicos que contienen cloro con persistencia ambiental	DDT
	Dioxinas	Productos de la combustión industrial que poseen estructura policlorodibenzodioxina	Tetraclorodibenzodioxina
	Furanos	Productos de la combustión industrial que poseen estructura policlorodibenzofurano	Tetraclorodibenzofurano
	Metales pesados	Metales tóxicos con alta gravedad específica	Mercurio
	Organometálicos	Compuestos orgánicos que contienen metales	Tributiltin
	Piretroides	Generalmente plaguicidas relacionados con pyrethrum	Fenialerato
	Organofosfatos	Compuestos basados en estructura organofosfato	Paratión
	Ácidos fenoxiacéticos	Compuestos basados en estructura de ácido fenoxiacético	2,4-D
<b>Grupo basado en propiedades fisicoquímicas</b>	Lipofílicos (o hidrofóbicos)	Solubles en grasa e insolubles en agua	DDT
	Hidrofílicos	Solubles en agua insolubles en grasa	Fenol
	Compuestos orgánicos neutrales	Compuestos orgánicos sin carga iónica	DDT
	Radionucleidos	Sustancias con radioactividad	Uranio
	Surfactantes	Compuestos que actúan en interfases por alteración de tensión superficial	Alquilbenzan sulfonatos

### 2.1.1 Propiedades de los ecotóxicos.

El comportamiento inicial de los toxones inmediatamente después de la descarga involucra dispersión física en el ambiente, la cual se ve influenciada por su estado físico (sólido, líquido o gaseoso). Las propiedades fisicoquímicas principalmente determinan la distribución de la sustancia dentro de diferentes medios: aire, agua, suelo, biota y sobre sí mismos (Figura 14) . Sus propiedades bioquímicas pueden determinar que la sustancia pueda ser degradada o transformada por la biota, incluyendo la excreción y bioacumulación.



**Fig. 13. Respuestas biológicas a concentraciones de sustancias esenciales y no esenciales para el desarrollo. La actividad metabólica normal ocurre entre las concentraciones  $C_1$  y  $C_2$  (Connell, 1999).**

Los flujos de energía y de nutrientes a través de un ecosistema pueden ser alterados. Las sustancias pueden ser clasificadas por sus efectos biológicos observables, su estructura química, características fisicoquímicas o comportamiento.

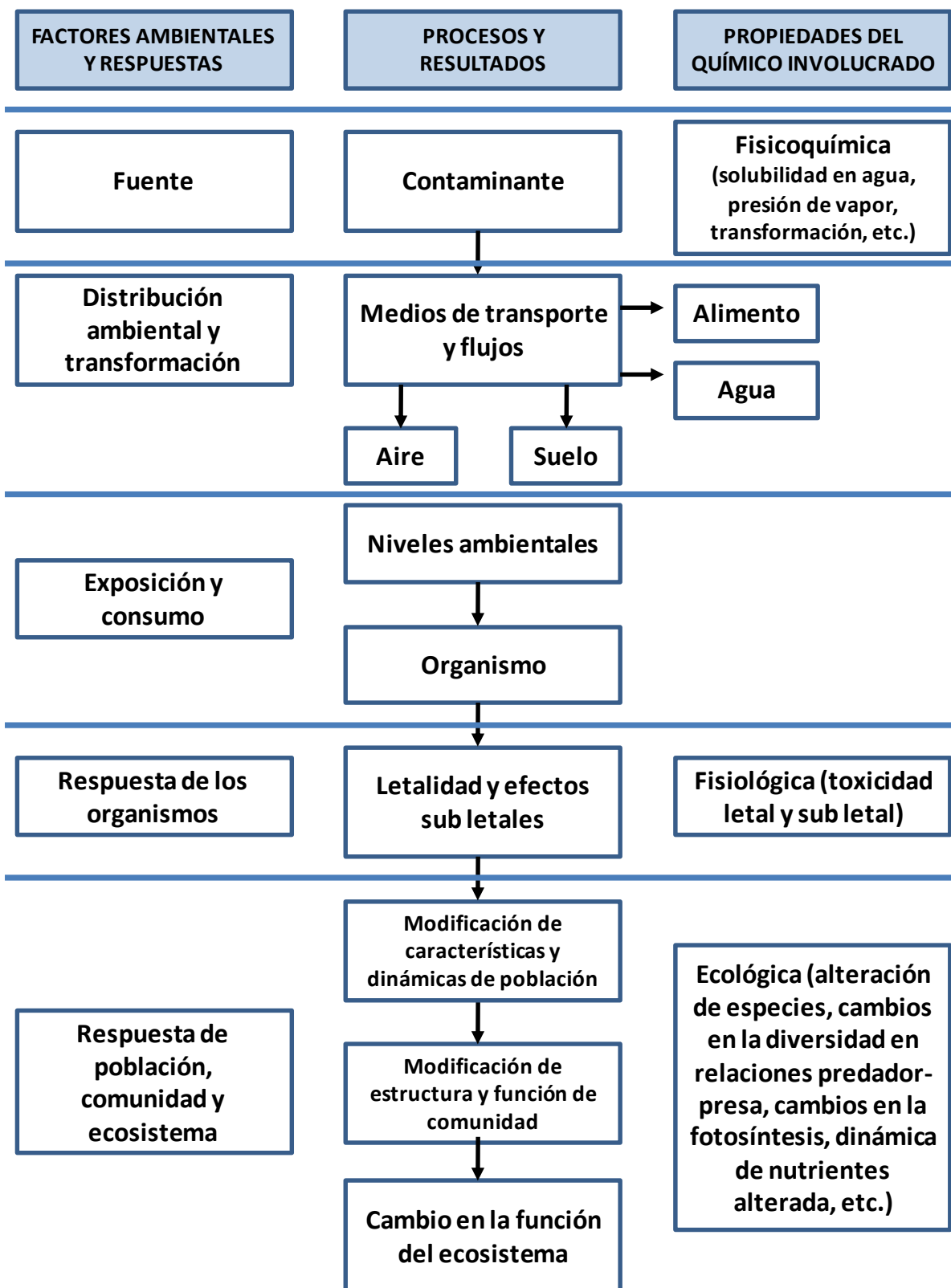


Fig. 14. Relación entre las propiedades de un ecotóxico y su interacción con ecosistemas.

(Velázquez, Aldo con base en Connell, 1999)

### 2.1.2 Efectos generales de los toxones en el ambiente.

Muchas sustancias no son requeridas para el crecimiento y desarrollo de los organismos dentro de sus procesos naturales. El periodo de exposición puede afectar claramente los niveles actuales dentro de los cuales los efectos tóxicos ocurren en sustancias esenciales y no esenciales. Se toma como regla general que los ecotóxicos provocan efectos a bajas dosis, pero a periodos prolongados de exposición (Figura 15).

<b>Dosis o concentración</b>	<b>Periodo de exposición</b>	<b>Respuesta predicha</b>
Muy baja	Muy largo (varios años)	Sin efectos detectables
Baja	Largo (meses/años)	Muerte de individuos sensibles (efectos subletales en sobrevivientes)
Intermedia	Intermedio (días)	Igual número de muertes y sobrevivientes (efectos severos en supervivientes)
Alta	Corto (horas/días)	Pocos individuos resistentes sobreviven
Muy alta	Muy corto (horas)	Muerte de todos los miembros de la población

Fig. 15. Niveles de efectos de los toxones sobre una población. (Velázquez, Aldo con base en Connell, 1999)

### **2.1.2.1 Respuestas fisiológicas y conductuales de los organismos.**

Los toxones pueden ingresar a los sistemas biológicos por diferentes rutas, como pueden ser la superficie respiratoria, superficie general del cuerpo o ingestión oral (Figura 17). Los efectos tóxicos de cualquier sustancia pueden variar dependiendo de la ruta de ingreso. Las superficies respiratorias generalmente poseen un área superficial que facilita el intercambio gaseoso (teniendo una superficie mayor a 25 veces el área de la superficie corporal).

Debido a estas características de la superficie respiratoria, los toxones son mucho más fácilmente disueltos y absorbidos a través de la membrana celular y la cantidad de sustancia ingresada es mucho mayor, por lo que una alta dosis es ingresada por el sistema respiratorio, generando así mayor toxicidad.

La absorción de los toxones a través de la superficie corporal es por lo tanto mucho más lenta. Por otra parte, los toxones que ingresan al cuerpo mediante ingestión oral deben recorrer el canal digestivo antes de que la absorción tenga lugar. En este caso la naturaleza química, la biodisponibilidad y la toxicidad del compuesto se pueden ver alteradas por enzimas digestivas o el pH del ambiente digestivo. En algunos casos la naturaleza química y la toxicidad se ven alteradas por la flora microbiana presente.

Después de ingresar al sistema biológico, los toxones pueden ser eliminados de muchas maneras. La eliminación puede llevarse a cabo a través de la excreción, transformación en otras formas menos tóxicas a través de las actividades biológicas y el metabolismo (por ejemplo el secuestro de sustancias en tejidos como actividad metabólica).

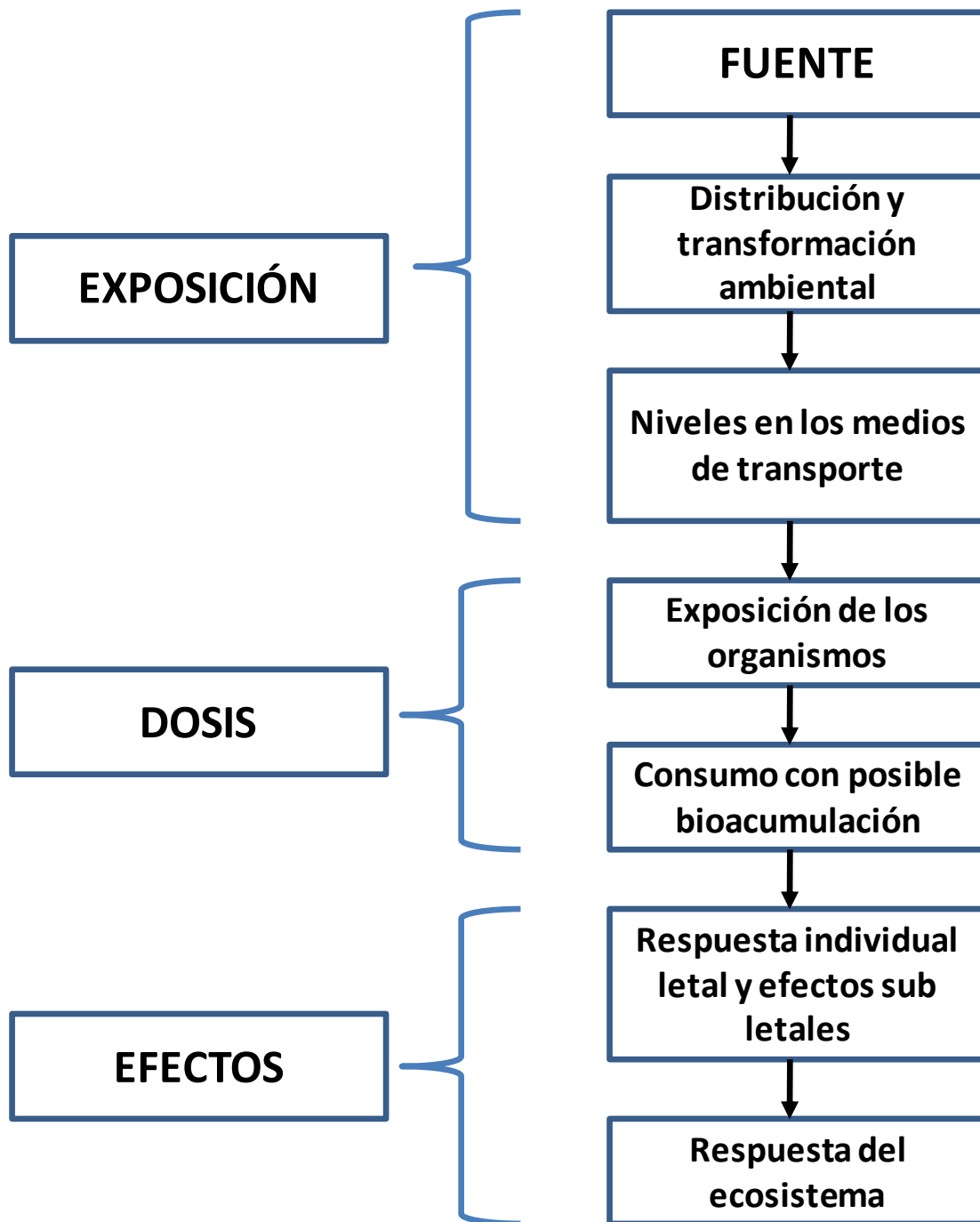


Fig. 16. Los efectos de un químico sobre un ecosistema (Connell, 1999).

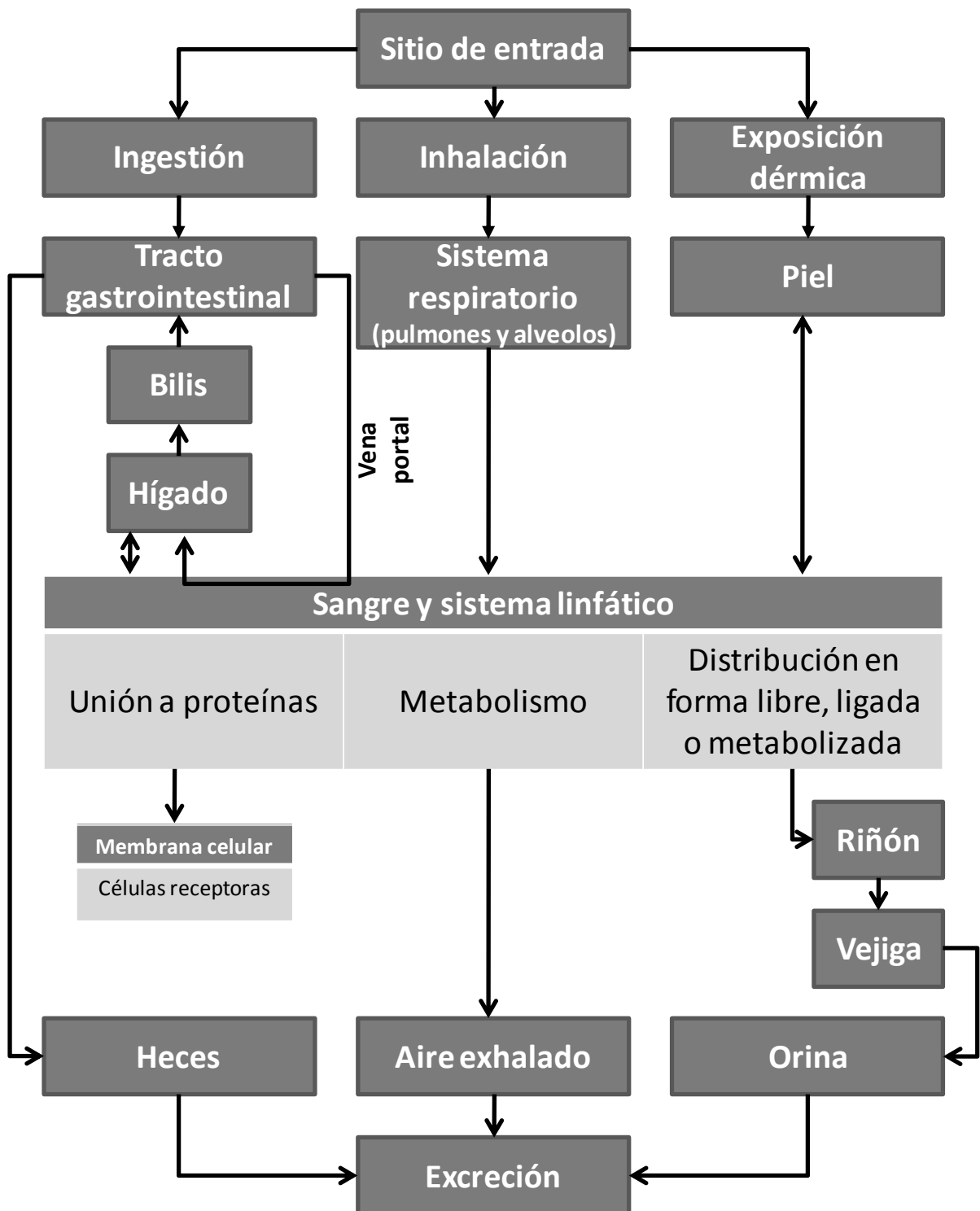


Fig. 17. Procesos y rutas metabólicas implicadas en la interacción con toxo ingerido. (Velázquez, Aldo con base en Connell, 1999)

La toxicidad depende de la vida media de los toxones xenobióticos en los sistemas y es probablemente menor para aquellas sustancias con una vida media biológica corta. Dado que el nivel de un toxón se mantiene menor al umbral dentro de un sistema biológico, conocido como homeostasis, no se observan efectos biológicos, sin embargo se requiere energía para las funciones de aclaramiento. Si la proporción de ingesta es mayor que el aclaramiento, las sustancias tóxicas se concentrarán en los sistemas biológicos con el paso del tiempo. Esto generalmente ocurre durante la exposición crónica alguna sustancia. En estos casos el nivel de las sustancias tóxicas excede el valor de umbral tarde o temprano.

Los toxones pueden inducir respuestas a diferentes niveles de organización biológica. Las respuestas pueden verse incrementadas conforme se eleva el nivel de organización: iniciando desde un nivel molecular, pasando por ADN, alterar su estructura e iniciar una cascada de efectos incluyendo, por ejemplo, el desarrollo de cáncer. Pueden suprimir las actividades enzimáticas necesarias para rutas bioquímicas esenciales e interrumpir el metabolismo, pueden iniciar o suprimir también la síntesis de ciertas proteínas y altera funciones moleculares básicas; la expresión de un gen puede verse alterada.

A un mayor impacto fisiológico mayor impacto conductual puede verse observado (por ejemplo en la alimentación, locomoción, respuesta a la luz). En el caso extremo de una falla fisiológica, puede ocurrir la muerte. El periodo normal requerido para la respuesta tóxica depende de la naturaleza y la dosis del toxicante: el efecto puede ser en cuestión de minutos o de horas para que la respuesta fisiológica se manifieste, o días y meses o incluso años sin que se manifiesten los síntomas de daño. Desde el punto de vista ecotoxicológico resulta obvio el uso de la predicción o la extrapolación de la ocurrencia de las respuestas biológicas a mayores niveles de organización, por ejemplo desde una población, una comunidad y un ecosistema desde la observación de niveles menores individuales (cambios fisiológicos, bioquímicos).



### 3. Plaguicidas.

El término pesticida es un adjetivo de plaguicida (usado también como sustantivo) cuyo significado es "que se destina a combatir plagas". Por tanto, en español, el término "pesticida" se refiere a una modalidad de "plaguicida". El término plaguicida está más ampliamente difundido que el nombre genérico exacto: biocida (literalmente: matador de la vida). El término plaguicida sugiere que las plagas pueden ser distinguidas de los organismos no nocivos, que los plaguicidas no lo matarán y que las plagas son totalmente indeseables. Albert, 2005 y Restrepo, 2007 establecen que los plaguicidas son sustancias que se utilizan para prevenir, controlar o combatir plagas, enfermedades y malezas; y que pueden ser formuladas como líquidos, gas, polvo o gránulos. Se usan para controlar insectos, plantas y hierba. Todos estos compuestos pueden matar o enfermar gravemente a las personas en caso de no utilizarla adecuadamente y con los cuidados necesarios. Algunos plaguicidas son más tóxicos que otros (lo cual depende de su composición química). Plaguicida es un término genérico para describir una sustancia empleada para matar, controlar, repeler o mitigar cualquier plaga; un producto plaguicida consiste en una o más ingredientes activos coformulados (Margni y otros, 2002).

Debido a las exigencias de calidad de la producción de flor y también a los inevitables factores que ponen en riesgo los cultivos como plagas y enfermedades; los agroquímicos son cada vez más utilizados en el control y combate de éstas; de dicha forma se hace necesaria la identificación de las principales plagas existentes en la floricultura y los agroquímicos más utilizados.

Para el mejor entendimiento de una plaga, Villalva, 2004 hace la similitud entre una plaga y el concepto de enfermedad, de forma que debe entenderse como plaga a una situación en la cual un animal produce daños económicos, normalmente físicos, a intereses de las personas (salud, plantas cultivadas, animales domésticos, materiales o medios naturales); de la misma forma que la enfermedad no es el virus, bacteria, sino la situación en la que un organismo vivo (patógeno) ocasiona alteraciones fisiológicas en otro, normalmente con síntomas visibles o daños económicos.

Por tanto un agroquímico puede ser una sustancia de tipo inorgánico u orgánico utilizada en los cultivos agrícolas para favorecer y mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas e incrementar su producción.

Los agroquímicos son sustancias (líquidos, gases o polvos) artificiales utilizadas con distintos fines como: proporcionar nutrientes a los suelos (fertilizante), eliminar plantas (herbicida), eliminar hongos y algunas algas (fungicida), matar insectos y animales pequeños (insecticida), matar nemátodos, gusanos del suelo (nematicida), eliminar roedores (rodenticida) o acelerar el crecimiento, floración y maduración de frutos (Doménech y otros 2006).

Los plaguicidas comprenden un grupo amplio de sustancias tóxicas que han sido diseñadas con el propósito de controlar o erradicar diferentes tipos de organismos que producen efectos nocivos sobre las plantas y animales de utilidad para el hombre, las cuales en términos genéricos son denominados plagas (Albert, 2005). Se estima que 1.5 millones de toneladas de plaguicidas son manufacturados cada año, representando un negocio de alrededor de 30 billones de dólares (Chambers, 2002). El uso de plaguicidas hasta la fecha ha aumentado 50 veces desde 1950 y actualmente hay miles de productos plaguicidas sintéticos hechos de más de 1.000 productos químicos diferentes y combinaciones de los mismos (Miller, 2002). Así, el mercado de plaguicidas se ha convertido en multimillonario; el costo comercial estimado que el mercado mundial de plaguicidas presenta un incremento en 2008 en un 29% con respecto al nivel de 2007 de 40.7 a 52.4 billones de dólares (un aumento sin precedentes que se produjo en un momento cuando la crisis financiera mundial estaba en su apogeo (Reportlinker, 2008). Un plaguicida se considera tóxico si produce efectos adversos en un organismo, sus descendientes o en un ecosistema (OECD, 2002).

Existen alrededor de 928 formulaciones y 241 productos técnicos registrados en nuestro país, con una diversidad de usos entre los cuales destacan su aplicación en la agricultura, en el control de los vectores de enfermedades y para plagas que infestan los bosques (Sánchez, 2010).

De acuerdo con GCM 1991, en la "Reglamentación técnico-sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas" se establecen una serie de clasificaciones.

Atendiendo a su acción específica pueden clasificarse en:

- Insecticidas
- Acaricidas
- Fungicidas
- Nematicidas, desinfectantes y fumigantes en general
- Herbicidas
- Fitorreguladores y productos afines
- Molusquicidas, rodenticidas y varios
- Específicos post-cosecha y simientes
- Protectores de maderas, fibras y derivados
- Plaguicidas específicos varios

Desde el punto de vista de su constitución química, los pesticidas pueden clasificarse en diversos grupos, siendo los más importantes los siguientes:

- Arsenicales
- Carbamatos
- Derivados de cumarina
- Derivados de urea
- Dinitrocompuestos
- Organoclorados
- Organofosforados
- Organometálicos
- Piretroides
- Tiocarbamatos
- Triazinas

Algunos de estos grupos engloban varias estructuras diferenciadas, por lo que, en caso de interés, es posible efectuar una subdivisión de los mismos.

En un estudio realizado en el Estado de México sobre los plaguicidas como un peligro latente para la población y el medio ambiente, Sánchez, 2011 expresa como los plaguicidas más utilizados a los derivados de compuestos de organofosforados, en segundo lugar con fosfomeglicina y en tercero con carbamatos.

Por otro lado, la misma reglamentación atendiendo a su grado de peligrosidad para las personas clasifica a los plaguicidas de la siguiente forma (Mociño y otros, 2011 y BOE, 1991):

En cuanto a su grado de toxicidad:

- *De baja peligrosidad*: los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea no entrañan riesgos apreciables.
- *Nocivos*: los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea puedan entrañar riesgos de gravedad limitada.
- *Tóxicos*: los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea puedan entrañar riesgos graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte.
- *Muy tóxicos*: los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea puedan entrañar riesgos extremadamente graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte.

En cuanto a otros efectos:

- *Corrosivos*: los que en contacto con tejidos vivos pueden ejercer sobre ellos una acción destructiva.
- *Irritantes*: los no corrosivos que, por contacto directo, prolongado o repetido con la piel o las mucosas, pueden provocar una reacción inflamatoria.
- *Explosivos*: los que pueden explotar bajo efecto de una llama o que son más sensibles a los choques o a la fricción que el dinitrobenceno.
- *Fácilmente inflamables*: aquellos plaguicidas:
  - a) Que a la temperatura normal al aire libre y sin aporte de energía pueden calentarse e incluso inflamarse.

- b) En estado sólido, que pueden inflamarse fácilmente por la breve acción de una fuente inflamable y que continúan quemándose o consumiéndose después de retirar la fuente inflamable.
- c) En estado líquido, que tengan un punto de inflamación inferior a 21 °C.
- d) Gaseosos, que son inflamables al aire libre a la presión normal.
- e) Que en contacto con el agua o el aire húmedo desprenden gases fácilmente inflamables en cantidades peligrosas.

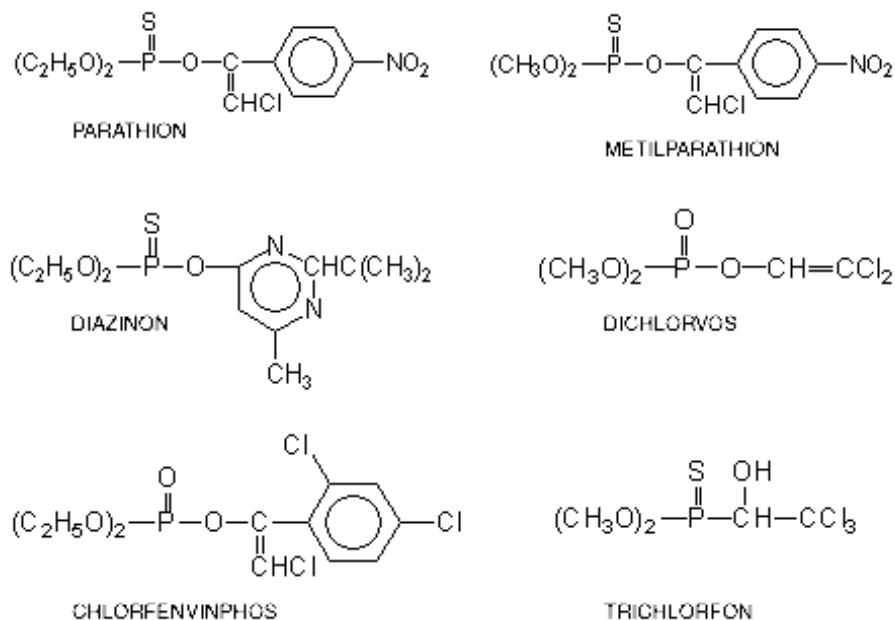
### 3.1 Organofosforados.

Los insecticidas organofosforados son compuestos orgánicos insecticidas que contienen fósforo, algunos de los cuales son ésteres orgánicos del ácido orto fosfórico, como el paraoxón (algunos ejemplos se muestran en la figura 18). Los compuestos fosforados insecticidas más comunes son los compuestos fosforotiónatos, como el paratión o clorpirifos, los cuales poseen un grupo funcional =S mejor que un grupo =O para su unión a P (Stanley, 2000). Los insecticidas organofosforados actúan combinándose con gran afinidad con cierto tipo de esterasas, con la consecuencia de su inactivación. Esta reacción, en el contexto de la fisiología de sus funciones, es irreversible.

Los oxofosforados (enlaces P=O) son fuertemente inhibidores, mientras que los tiofosforados (P=S) no son fuertemente inhibidores y necesitarán de una biotransformación a la forma oxo para actuar como inhibidores. En particular, la inhibición de las colinesterasas es la que va a derivar en los síntomas y signos de la intoxicación aguda. El papel fisiológico de la colinesterasa consiste en la hidrólisis de la acetilcolina, mediador químico en la transmisión del impulso nervioso. Se acumulan así grandes cantidades de acetilcolina en las sinapsis (PLM, 2006, O.I.T., 1998).

Existen dos tipos de colinesterasas: la colinesterasa verdadera, presente en eritrocitos y tejido nervioso y la pseudocolinesterasa presente en suero o plasma. Ambas enzimas son inhibidas por los compuestos organofosforados, pero la eritrocitaria es la que mejor refleja el estado de inhibición de la colinesterasa del sistema nervioso, por lo que se utiliza para evaluar el estado de intoxicación aguda de un paciente. Por otro lado, la

colinesterasa plasmática o pseudocolinesterasa es la que más tarda en regenerarse, por lo que se utiliza en la evaluación de la exposición crónica a organofosforados (Stanley, 2000). Los compuestos organofosforados han variado sus grados de toxicidad. Algunos de estos compuestos, como los “gases nerviosos” producidos industrialmente como venenos, son letalmente efectivos a cantidades diminutas.



**Fig. 18. Plaguicidas organofosforados.**

### 3.1.1 Ésteres organofosfatados.

El trimetil fosfato es probable y moderadamente tóxico cuando es ingerido o absorbido a través de la piel, mientras que el trietil fosfato es moderadamente tóxico  $(C_2H_5O)_3PO$ , donde daña los nervios e inhibe a la acetilcolinesterasa. El tri-*o*-cresil fosfato (TOCP) es notoriamente tóxico, donde aparentemente se metaboliza productos que inhiben la actividad acetilcolinesterásica. La exposición a TOCP causa degeneración de las neuronas en el cuerpo central y en los sistemas nerviosos periféricos con síntomas tempranos como náusea, vómito, diarrea acompañada de dolor abdominal severo. Alrededor de 1-3 semanas después de que estos síntomas hayan disminuido, se manifiesta una parálisis periférica, que se desarrolla con “muñeca con gota” y “pie con gota”, seguido por una lenta recuperación, la cual puede ser completa o dejar una

parálisis parcial permanente (Stanley, 2000). Brevemente usado en Alemania como un sustituto para los insecticidas nicotínicos, el tetraetil pirofosfato (TEEP) es un potente inhibidor de la acetilcolinesterasa. Con un grado de toxicidad de 6 (súper tóxico) el TEEP es letal para humanos y otros mamíferos.

### **3.1.2 Insecticidas de ésteres fosfotionatos y fosforoditionatos.**

Debido a que los ésteres contienen el grupo funcional P=S (tiono) son resistentes a la hidrólisis no enzimática y no son tan efectivos como los compuestos P=O en la inhibición de la acetilcolinesterasa, ya que ellos presentan una mayor proporción de toxicidad insecto: mamífero que aquellos análogos no azufrados. Por lo tanto, los ésteres fosfotionato y fosforiditionato han sido ampliamente usados como insecticidas. La actividad insecticida de estos compuestos requiere conversión metabólica de P=S a P=O (desulfuración oxidativa). Ambientalmente, los insecticidas organofosforados son superiores a muchos de los organoclorados porque los primeros están propensos a sufrir biodegradación y no bioacumulación (Stanley, 2000).

El primer insecticida de ésteres fosforotionatos/fosforodotionatos comercializados exitosamente fue el paratión (*O,O*-dietil-*O-p*-nitrofenil fosforoditionato), con su primera licencia para uso en 1944. Este insecticida tiene un grado de toxicidad de 6 (súper tóxico, ver cuadro VII). Desde que su uso inicio, muchos cientos de personas han muerto a causa del paratión (incluyendo como ejemplo a 17 de 79 personas expuestas a harina contaminada en Jamaica en 1976). Dosis tan bajas como 120 mg de paratión han sido documentadas para matar a un adulto humano y una dosis de 2 mg han sido fatales para niños. La mayoría de los envenenamientos accidentales han ocurrido por absorción a través de la piel. El metilparatión (un compuesto íntimamente relacionado con los grupos metil en lugar de los grupos etil) está considerado como extremadamente tóxico; en Agosto de 1999 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) propuso severas limitaciones para su uso. Para que el paratión tenga efectos tóxicos, éste debe ser convertido metabólicamente en paraoxón el cual es un potente inhibidor de

la acetilcolinesterasa. Debido al tiempo necesario para su conversión, los síntomas desarrollados varias horas después de la exposición, mientras que los efectos tóxicos del TEEP o el paraoxón se desarrollan mucho más rápidamente. Los humanos envenenados por paratión presentan tirones o calambres en la piel y dolor al respirar. En casos fatales, la falla respiratoria se presenta debido a una parálisis del sistema nervioso central (Stanley, 2000).

Malatión es el insecticida fosforoditionado mejor conocido. Ha presentado una alta proporción de toxicidad en insectos y en mamíferos debido a sus dos ligaduras carboxiester, las cuales son hidrolizables por enzimas carboxilasa (las cuales poseen los mamíferos, pero no los insectos) a productos relativamente no tóxicos. Por ejemplo, aunque el malatión es un muy efectivo insecticida, su dosis letal media (DL<sub>50</sub>) para ratas adultas macho es alrededor de 100 veces que la del paratión.

**Cuadro VII. Escala de toxicidad con sustancias de referencia (PLM, 2006)**

Escala de toxicidad con sustancias de referencia <sup>1</sup>		
Sustancia	DL <sub>50</sub> aproximada	Clasificación de toxicidad
DEHP <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	1. Prácticamente no-tóxico > 1.5x10 <sup>4</sup> mg/kg
Etanol	10 <sup>4</sup>	
Cloruro de sodio	10 <sup>3</sup>	2. Ligeramente tóxico, 5x10 <sup>3</sup> – 1.5x10 <sup>4</sup> mg/kg
Malathion	10 <sup>2</sup>	3. Moderadamente tóxico, 500-5000 mg/kg
Chlordane	10	
Heptachlor	1	4. Muy tóxico, 50-500 mg/kg
Parathion	10 <sup>-1</sup>	
TEPP <sup>3</sup>	10 <sup>-2</sup>	5. Extremadamente tóxico, 5-50 mg/kg
Tetradotoxina <sup>4</sup>	10 <sup>-3</sup>	
TCDD <sup>5</sup>	10 <sup>-4</sup>	6. Supertóxico, <5 mg/kg
Toxina botulínica	10 <sup>-5</sup>	

<sup>1</sup> Las dosis están en unidades de mg de toxicante por kg de masa corporal. La clasificación de toxicidad se encuentra dada en números desde 1 (prácticamente no-tóxico) hasta 6 (supertóxico) junto con las dosis letales estimadas para humanos en mg/kg. Los valores estimados de DL<sub>50</sub> de las sustancias han sido analizados en animales, comúnmente en ratas, aplicando dosis orales.

<sup>2</sup> Bis(2-ethylhexyl)phthalate

<sup>3</sup> Tetraethylpyrophosphate

<sup>4</sup> Toxina proveniente del pez globo.

<sup>5</sup> TCDD representa a 2,3,7,8,-tetrachlorodibenzodioxina, comúnmente llamada “dioxina”.



### 3.1.3 Venenos militares organofosforados.

Poderosos inhibidores de la enzima acetilcolinesterasa, los venenos militares organofosforados “gases nerviosos” incluyen al Sarín y al VX (para los cuales las fórmulas estructurales son mostradas en la figura 19). La posibilidad de que estos venenos militares pudieran haber sido usados en la guerra fue la mayor preocupación durante el conflicto del Medio-Este durante 1991, en el cual afortunadamente concluyó sin ser empleados. Veneno sistémico para el sistema nervioso central que es absorbido rápidamente como un líquido a través de la piel, el Sarín puede ser letal a dosis tan bajas como 0.01 mg/Kg, una sola gota puede matar a un humano (Stanley, 2000 y Midey y otros, 2012).

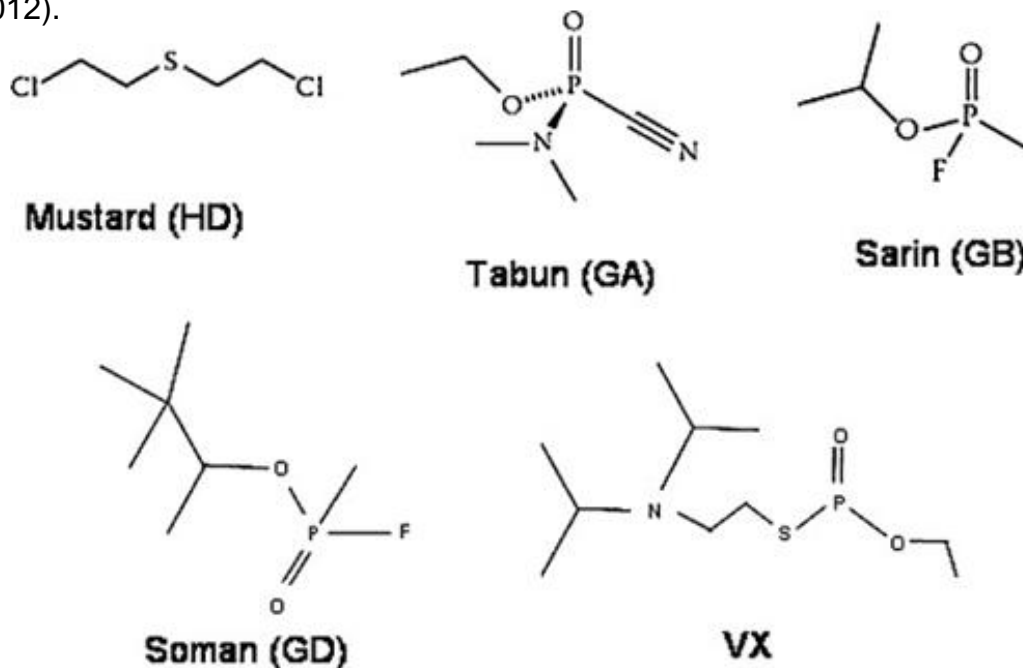
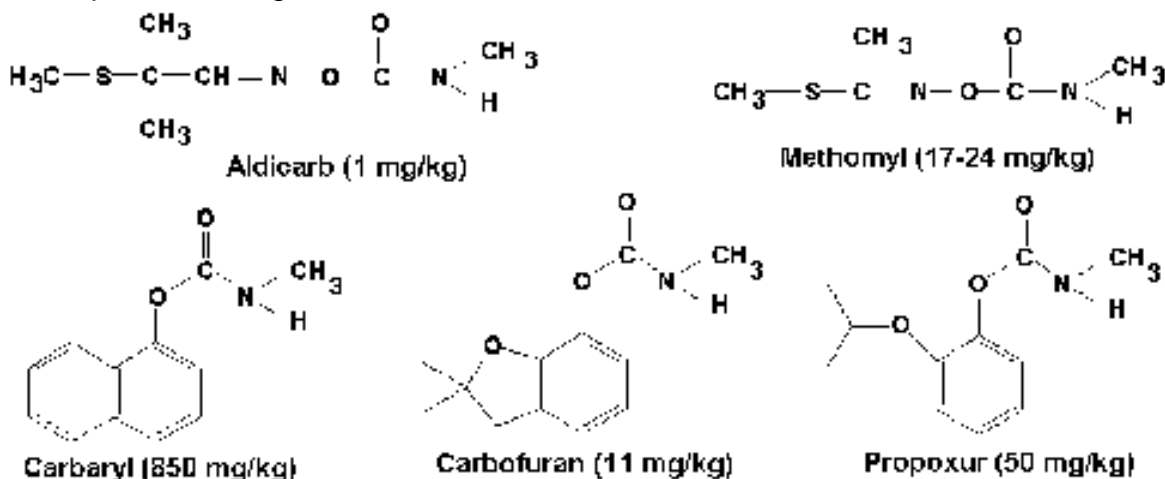


Fig. 19. Representaciones esquemáticas de los principales agentes químicos empleados como armas: sulfuro mostaza “*mustard*” (HD); tabun (GA); sarín (GB); soman (GD) y VX (Midey y otros, 2012).

### 3.2 Carbamatos.

Los plaguicidas orgánicos derivados del ácido carbámico son colectivamente denominados como carbamatos (se presentan algunos ejemplos en la figura 20). Han sido ampliamente aplicados debido a que algunos son más biodegradables que los

formalmente populares organoclorados y tienen menor toxicidad dérmica que los más comunes pesticidas organofosforados.



**Fig. 20. Plaguicidas orgánicos derivados del ácido carbámico.**

Carbaryl ha sido ampliamente usado como un insecticida en céspedes o jardines. Posee baja toxicidad en mamíferos. Carbofurano tiene una alta solubilidad en agua y actúa como un insecticida sistémico en plantas. Como un insecticida sistémico de plantas, es absorbido por las raíces y las hojas de las plantas con las cuales los insectos se alimentan, por lo que son envenenados por el material vegetal. Pirimicarb se emplea ampliamente en la agricultura como un aficida sistémico (a diferencia de muchos carbamatos, éste es muy persistente, con una fuerte tendencia a ligarse al suelo). Los efectos tóxicos de los carbamatos en animales son debido al hecho de que estos compuestos inhiben a la acetilcolinesterasa. A diferencia de los insecticidas organofosforados, los carbamatos realizan la inhibición sin necesidad de ser sometidos a una biotransformación previa y son por lo tanto clasificados como inhibidores directos. La inhibición producida de la acetilcolinesterasa por ellos es relativamente reversible. La pérdida de los efectos inhibitorios puede ser resultado de la hidrólisis del éster carbamato, el cual ocurre de manera metabólica (Stanley, 2000).

### 3.3 Plaguicidas en la agricultura.

Los plaguicidas, particularmente los insecticidas y herbicidas, son una parte integral de la producción de la agricultura moderna. En los Estados Unidos, los pesticidas empleados

en la agricultura son regulados por el Acta Federal de Insecticidas, Fungicidas y Roedoricidas (FIFRA), promulgada por primera vez en 1947 y revisada posteriormente de manera más detallada en 1972; ha sido sujeta a muchas enmiendas desde entonces. Desde 1989, los plaguicidas han sido sometidos a registro.

A finales de la década de 1960, se culminó la creación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE.UU., que fue la primera agencia gubernamental en tomar acciones contra el uso de pesticidas en ese momento. El riesgo que representa el uso cada vez mayor de plaguicidas sintéticos para los seres humanos y el medio ambiente más tarde fue reconocido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

La Asamblea General de las Naciones Unidas en 1972, decidió establecer el Programa Ambiental Naciones Unidas (PNUMA) para servir como un punto focal para generar acción ambiental y la coordinación dentro del sistema de las Naciones Unidas. El PNUMA, junto con la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) promovieron más prácticas en la sustitución de los pesticidas orgánicos persistentes con manejo integral de plagas (MIP) (FAO, 2002). Desde el inicio de este proceso, los productores han retirado del mercado muchos miles de productos debido a los elevados costos que implican el proceso de revisión de seguridad. El problema ha sido especialmente severo en los plaguicidas de menor uso para los cuales el mercado no es muy amplio.

En contraste con los plaguicidas usados en aproximadamente 220 millones de acres de los mayores cultivos en los Estados Unidos (maíz, frijol de soya, trigo y algodón), los plaguicidas de uso menor son aplicados en solamente 8 millones de acres de orquídeas, árboles ornamentales, plantas, céspedes, frutas, nueces y vegetales. A pesar de su uso limitado, cerca del 40% del valor monetario de los plaguicidas agrícolas radica en los plaguicidas de uso menor. Complicando aun más el proceso de registro por muchos años más, fue la bien intencionada pero poco realista Enmienda 1958 Delaney en el Acta de Comida, Drogas y Cosméticos, en la cual se prohibía en la comida el uso de cualquier químico que hubiera mostrado ser agente causal de cáncer en animales y humanos.

Muchos químicos que casi sin duda son seguros a niveles traza de contaminantes en comida, seguramente serán, de hecho, causa de cáncer a dosis masivas cuando se alimentan animales experimentales. Este efecto ha sido atribuido en parte al hecho de que altas dosis de varios químicos destruyen el tejido, el cual los organismos intentan reemplazar mediante el crecimiento de nuevas células. Estas células se reproducen rápidamente en un intento por reparar los tejidos perdidos que son probamente más propensos a convertirse en cancerosos (Stanley, 2000).

Es conocido que el uso y aplicación de plaguicidas ha contribuido en forma importante al control de enfermedades endémicas, así como para mejorar e incrementar la producción de alimentos, sin embargo, el uso desmedido, indiscriminado y sin control de estos productos ha ocasionado la aparición de plagas resistentes, la contaminación del agua, así como la intoxicación y muerte de organismos incluyendo al hombre.

El principal uso de los plaguicidas sintéticos en México fue en el cultivo del algodón que, en la época de 1956, aportaba el 25.0% de las divisas del país. Por ejemplo, según datos oficiales, en 1960 se aplicó al algodón el 62.5 % del total de plaguicidas; este uso excesivo causó que rápidamente se generara una importante resistencia de las plagas del algodón, la que en pocos años, causó que prácticamente este cultivo se tuviera que abandonar por incosteable (Hernández, 2005). Tuvieron que pasar casi cuarenta años antes de que se empezaran a formar agrónomos más conscientes de los problemas asociados con estos productos y para que las autoridades empezaran a reconocer los riesgos que sus métodos presentan para el ambiente y para la salud de aplicadores y consumidores, sin contar con que la gran mayoría de los plaguicidas se han usado para cultivos de exportación, o no alimentarios como algodón, flores y tabaco (Albert, 2005).

Inicialmente, todos los plaguicidas sintéticos se importaban en el país, pero poco a poco se fue obteniendo la tecnología para fabricar los más sencillos. El gobierno mexicano llegó a tener una de las industrias más fuertes de plaguicidas, pero ésta se especializó en insecticidas organoclorados, que ya están prohibidos en casi todo el mundo y organofosforados de primera generación que van por el mismo camino (Albert, 2005).

En este momento, la industria propiamente nacional está formada por empresas relativamente pequeñas, cuyos productos en general son ya obsoletos o están en vías de desaparecer del mercado mundial, mientras que en la industria de plaguicidas prevalecen las compañías multinacionales, las cuales dominan más del 80.0% del mercado, en especial de productos tecnológicamente complejos o relativamente recientes.

Actualmente las regiones con mayor uso de plaguicidas son: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora, Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México y Puebla-Oaxaca (INEGI-SEMARNAP, 1998). Se calcula que en ellas se aplica el 80.0% de total de plaguicidas usados en el país, lo que comprueba que el uso de plaguicidas tiene una fuerte concentración en algunas regiones y algunos cultivos (INEGI, 1998). Actualmente en el mundo se emplean diariamente cantidades enormes de numerosos plaguicidas con el propósito de combatir diversas plagas y enfermedades, asegurando así la productividad del campo y la inversión económica ya que los daños causados por las plagas pueden originar reducción del 40.0% de la producción (Badii y otros, 2008).

El cultivo de flores se desarrolla de manera sobresaliente en el Estado de México, principalmente en los municipios de Tenancingo, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Tonalico, Zumpahuacan, Malinalco y Villa Guerrero. El 56.0% de la producción florícola estatal es generado solamente por Villa Guerrero (Sánchez, 2010). Durante el año 2006 se exportaron un volumen total de 19,822.3 toneladas de flores y capullos frescos, representando un monto de 44.8 millones de dólares, lo cual significó un incremento del 146.0% con respecto al valor de las exportaciones del año 2005 (INEGI, 1998; Secretaría de Economía 2007). La actividad florícola representa una alternativa económica compleja para la comunidad que requiere un análisis cuidadoso en relación con otros aspectos como el social y el ambiental.

De acuerdo con información del Instituto de Salud del Estado de México (ISEM), en el periodo de 1993 a 2002 se registraron 739 casos de intoxicación en el Estado de México, de ellos el 48.9% (362 casos clínicos) se ubicaron en la Jurisdicción de Tenancingo, la cual abarca a los principales municipios productores de flor. La tasa promedio más elevada de mortalidad atribuible a intoxicación por plaguicidas se registro en el año de 1995 con un valor de 4.4 casos por cada 100,000 habitantes y un total de 13 muertes para ese año (ISEM, 2006).

Así mismo, existen una serie de investigaciones desarrolladas con el fin de determinar el daño relacionado con la exposición crónica a plaguicidas. Los organofosforados de uso común y los plaguicidas organoclorados inhiben la acetilcolinesterasa en las sinapsis en los sistemas somático, autonómico y nervioso central y por lo tanto pueden tener efectos duraderos en el sistema nervioso: la exposición puede aumentar el riesgo de demencia y enfermedad de Alzheimer en la vejez (Hayden, 2010).

Los pesticidas organofosforados podrían actuar como disruptores endócrinos en los seres humanos (Blanco, 2010). La exposición crónica a plaguicidas produce daño en el Ácido Desoxirribonucleico (ADN) de floricultores (Castillo, 2005). Así mismo, estas observaciones sugieren un incremento en la tasa de características atípicas de la placenta, que podría estar relacionado con cambios en la biología feto y algunos signos de hipoxia (Levario, 2001). Además, otras alteraciones a la salud, son las lesiones denominadas músculo esquelético, los problemas psicosociales relacionados con la organización del trabajo, y los accidentes como las caídas y cortes, entre otros (Gaytán y otros, 2008).

Los efectos tóxicos que provocan los plaguicidas son: *agudos* y *crónicos*. Los primeros ocurren cuando el efecto tóxico de una sustancia es inmediato sobre el organismo que la ingiere. Es el efecto causado en un organismo por la incorporación al mismo de cierta cantidad de un tóxico, generalmente alta. En muchos casos causa la muerte; en tanto que los segundos son la capacidad de una sustancia para producir efectos adversos en un organismo debido a una exposición continua o repetida a cantidades relativamente

bajas de la misma, durante un período prolongado. Las exposiciones repetidas provocan una acumulación del agente tóxico en el organismo, que conduce a medio/largo plazo una enfermedad degenerativa como cáncer, alteraciones en la reproducción (teratogénesis), aparición de lesiones degenerativas (silicosis, cirrosis, arteriosclerosis) y malformaciones.

La toxicidad se presenta en dos formas: una *local*, que es la que ocurre en el sitio de contacto entre el tóxico y el organismo; y la *sistemática* que después de la absorción del tóxico causa acciones a distancia del sitio de administración. Las vías por las cuales el elemento tóxico (plaguicida) entra en contacto con el individuo son: gastrointestinal, dérmica y respiratoria. Para estudiar el impacto a la salud asociado al uso de agroquímicos, es necesario conocer que es la salud, Piédrola, 2002, menciona la definición de la salud según la Organización Mundial de la Salud como el estado completo de bienestar físico, mental y social y no solamente como la ausencia de enfermedad o invalidez. La salud y la enfermedad son el resultado de un proceso de interacción permanente del ser humano con el medio en que vive, tratando de adaptarse a éste, son la resultante del éxito o del fracaso del organismo para adaptarse física, mental y socialmente a las condiciones de nuestro ambiente. Un individuo sano es aquel que muestra y demuestra una armonía física, mental y social con su ambiente. El paso de la salud a la enfermedad comienza con un periodo silencioso de incubación, que puede ser corto o muy largo.

Resulta frecuente el uso de los plaguicidas más tóxicos entre los agricultores sin haber tenido entrenamiento alguno para su uso y los medios para protegerse contra los peligros de intoxicación: todo esto se refleja en las prácticas peligrosas cuando manejan los pesticidas. Los síntomas de las intoxicaciones son comunes en relación con las operaciones de fumigación (Erik, 2006). En este momento se puede afirmar que prácticamente no hay un agricultor en México que no use uno o más tipos de plaguicidas, usualmente en un contexto de falta de asesoría técnica y de medidas de protección insuficientes, inadecuadas, o nulas (NOM-003-STPS-1999).

No hay datos claros sobre la cantidad de plaguicidas que se usa actualmente en el país, sin embargo en 2005 se estimaba que se consumían alrededor de 50,000 toneladas anuales de ingrediente activo. El valor actual del mercado se calcula que está entre 400 y 600 millones de dólares US, si bien es posible que este valor subestime la realidad (Albert, 2005). La evaluación de la exposición ocupacional a pesticidas basados en la información puede ser un reto, sobre todo en las poblaciones donde de los trabajadores agrícolas requieren capacitación en métodos especializados necesarios para hacer frente a las barreras lingüísticas y culturales, tomando en cuenta una alfabetización limitada (Hofmann, 2010).



#### **4. Modelación analítica para predicción del transporte de sustancias.**

El desarrollo de modelos de adsorción y de transporte de contaminantes en el suelo en particular de los plaguicidas, debe permitir realizar predicciones precisas acerca del comportamiento de estos componentes y del riesgo de contaminación que de su vertido en el suelo puede derivarse. Para ello es necesario conocer inicialmente la carga de plaguicidas aplicados al suelo. El monitoreo de las concentraciones de plaguicidas en el medio resulta de gran importancia para identificar si se han alcanzado niveles que representen algún riesgo para la salud del hombre o de otros organismos (Sánchez, 2010).

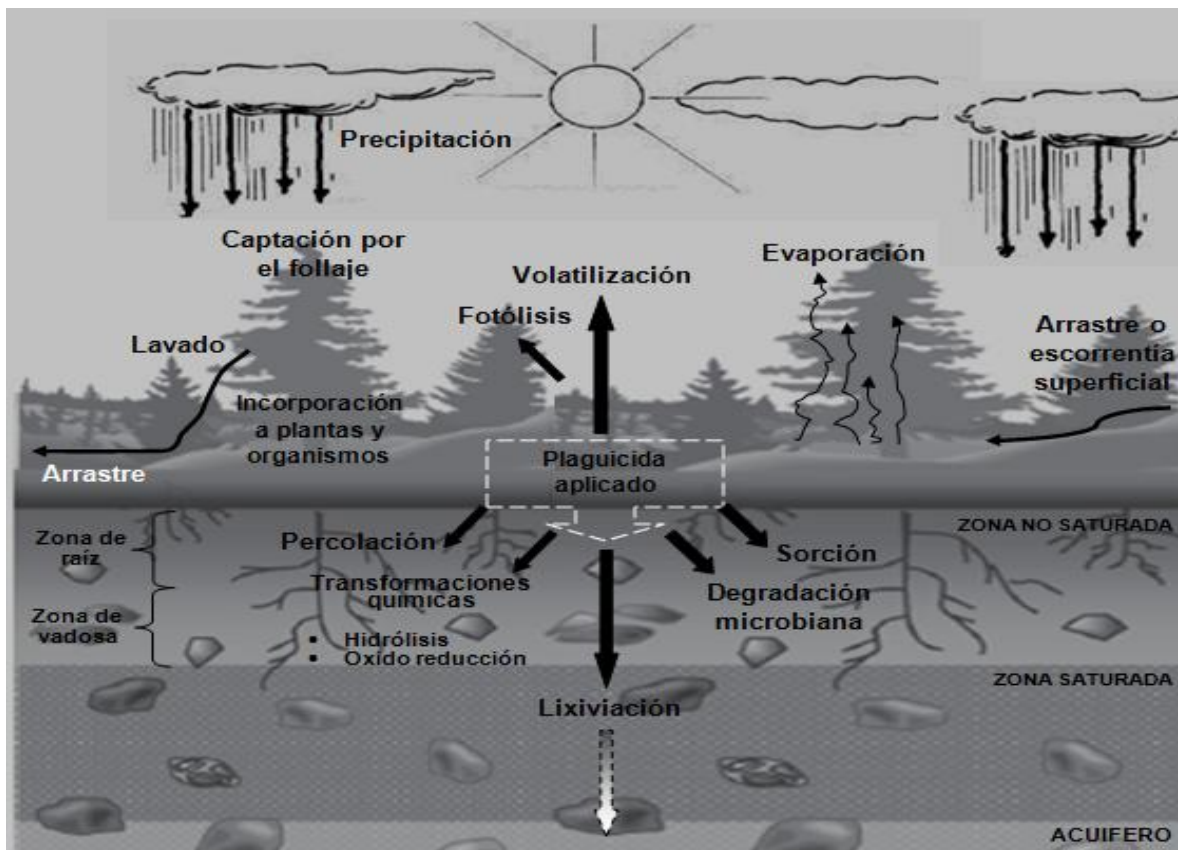
Por otro lado los modelos predictivos específicos para un sitio requieren el ingreso de datos que frecuentemente son difíciles de obtener con el grado de detalle y precisión requeridos. Por lo cual son empleadas aproximaciones o supuestos, los cuales requieren a su vez ser validados y calibrados por medio de datos experimentales. Los enfoques experimental y teórico pueden ser productivos al ser usados como herramientas complementarias en la evaluación de la exposición. El agrosistema es considerado un sistema abierto, un ecosistema artificial que depende de la adición de energía en forma artificial en prácticas como fertilización, irrigación, aplicación de plaguicidas, etc. (Finizio y otros, 2002). Los efectos adversos que se pueden presentar en el ambiente terrestres debido a la presencia de un agente químico pueden ser: efectos sobre la función del suelo, sobre la producción de biomasa, sobre los organismos en la superficie del suelo, sobre vertebrados expuestos y acumulación de compuestos en las cadenas alimenticias (Alhers y otros, 2003). La contaminación de aguas superficiales se modela tomando en cuenta dos procesos principales: la carga debida al goteo como consecuencia de la aplicación del plaguicida y la carga debida a la lluvia y acarreo. Esto permite estimar dos concentraciones ambientales predecibles que diferían en la variable de tiempo. Esta información resulta importante para el manejo de riesgos para el ambiente acuático. Otros estudios se han orientado a evaluar mediante SIG la vulnerabilidad del terreno para facilitar la lixiviación de los plaguicidas aplicados y por consecuencia determinar el riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas (Sánchez, 2010)

La lixiviación es un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido. También es aplicable el término en ecología para indicar el desplazamiento hacia los ríos y mares de los desechos y excrementos, además de otros contaminantes como pueden ser los fertilizantes; producido por el mismo proceso indicado para el fenómeno químico. Es considerado el fenómeno de desplazamiento de nutrientes siendo estos arrastrados por el agua, provocado este a su vez por la deforestación antropogénica (Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, 2001).

Es importante reconocer que los plaguicidas al ser depositados en el suelo pueden ser arrastrados y/o ser lixiviados convirtiéndose en un contaminante potencial de las fuentes de agua superficial y subterránea, por lo tanto se requiere identificar los suelos presentes en estas áreas que son más susceptibles a llevar a cabo procesos de lixiviación de los plaguicidas que ellos reciben y que potencialmente pueden contaminar los acuíferos y aguas superficiales (Sánchez, 2010). Debido a su elevada toxicidad para la fauna acuática, muchos insecticidas son considerados como contaminantes prioritarios entre una gran variedad de contaminantes de fuentes no puntuales (Brock y otros, 2000).

Los plaguicidas pueden también volatilizarse, ser arrastrados por lluvia y/o lixivarse. El destino ambiental de un contaminante se encuentra determinado por factores que dependen de las características fisicoquímicas de la sustancia y por las del medio donde se encuentra distribuida. Las características fisicoquímicas determinan el potencial para la reactividad y movilidad, las ambientales controlan el grado en que opera dicho potencial (Sánchez y otros, 2009). Entre otros factores que determinan la retención del plaguicida en el suelo se encuentran la adsorción por parte de partículas en el suelo y la materia orgánica, la sedimentación de las partículas, alto o bajo potencial redox y a la biodegradación de los plaguicidas (Figura 21) (Braskerud y otros, 2003)

La posibilidad de que un plaguicida pueda alcanzar un acuífero depende entre otros factores, de que el compuesto sea soluble en agua, no se adsorba fuertemente a las partículas del suelo y presente la suficiente persistencia (permanencia o estabilidad) para permanecer como el compuesto original o un producto cercano capaz de producir toxicidad (Carter, 2000).



**Fig. 21. Fenómenos que determinan la distribución, transformación y transporte de un plaguicida en el ambiente (Velázquez, Aldo con base en Sánchez, 2010)**

Los procesos de transporte de los plaguicidas en los suelos son complejos, incluyen conocer la variación en el contenido de agua presente en los poros del suelo y la velocidad convectiva a la cual fluye la sustancia disuelta en este medio, así como los fenómenos de adsorción química, degradación (química y microbiana) que ocurren conforme las sustancias se mueven a través del suelo.

El monitoreo de las concentraciones de plaguicidas en el medio resulta de gran importancia con el fin de identificar posibles niveles que representen algún riesgo para la salud humana o de otros organismos (Clements, 2009).

#### **4.1 Modelos de destino y transporte de plaguicidas.**

El propósito de un modelo es representar a una realidad sobre un fenómeno existente en la naturaleza. Un modelo constituye una simplificación de la realidad para auxiliar en el entendimiento y predecir los aspectos relevantes de un sistema real. El proceso de un modelo implica una serie de etapas, que van desde la integración de uno conceptual, la definición del problema y los objetivos del modelo, así como la selección del tipo de modelo analítico o numérico, la identificación u los requerimientos de datos y la definición de parámetros, para finalmente validar el modelo contra datos obtenidos de campo y realizar el análisis de sensibilidad de los diferentes parámetros involucrados en el modelo.

Para ello es necesario conocer la cantidad de plaguicida que ha sido aplicada al suelo, las características fisicoquímicas de estas sustancias que pueden influir en su movilidad, así como las características fisicoquímicas del suelo que determinan o no la retención del plaguicida en este medio.

##### **4.1.1 Clasificación de los modelos de acuerdo con sus características.**

Para evaluar la migración de un plaguicida a través del suelo, los modelos pueden abarcar representaciones conceptuales, físicas o matemáticas. Uno de los más conocidos y aplicados para identificar el potencial de lixiviación de plaguicidas requerido por algunos procedimientos para la autorización de su uso es el denominado Índice GUS (Groundwater Ubiquity Score), el cual considera para su determinación, propiedades tales como el coeficiente de partición orgánico ( $K_{oc}$ ) y la persistencia del plaguicida en el ambiente (o tiempo de vida media,  $T_{1/2}$ ), calculándose mediante la siguiente ecuación empírica:

$$\text{GUS} = \log (T_{1/2})^* [4 - \log (K_{oc})]$$

De acuerdo con este índice, los plaguicidas pueden ser clasificados de la siguiente manera:

• Lixiviables	$GUS > 2.8$
• Intervalo de transición	$2.8 > GUS > 1.8$
• No lixiviables	$1.8 > GUS$

El índice GUS se emplea con el fin de determinar una estimación preliminar del potencial de lixiviación de una sustancia, sin embargo no considera otros factores que pueden incluir en el comportamiento del plaguicida en el suelo. Es posible que algunos plaguicidas al ser biotransformados en el ambiente presenten un mayor índice de lixiviación, aún y cuando este índice no reporte un potencial de lixiviación importante.

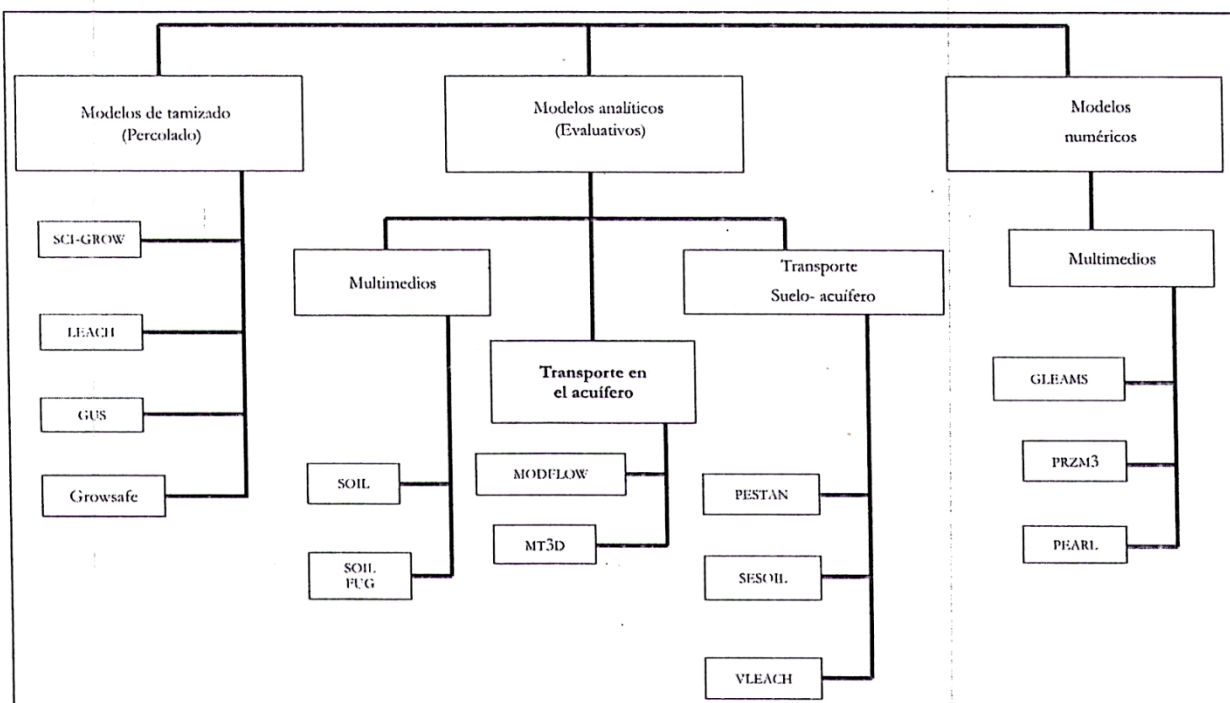
Por tal motivo se requiere incorporar el uso de modelos más complejos que aporten mayor cantidad de información sobre el comportamiento del plaguicida dentro del suelo. Una forma de expresar este comportamiento es mediante una ecuación de estado, en la cual estén representados los procesos de transporte, adsorción y reactividad del plaguicida y su interacción con el suelo.

Los modelos matemáticos (Figura 22) se pueden clasificar particularmente como analíticos o numéricos. Los primeros (denominados también evaluativos) son los más empleados en una primera etapa de análisis del destino y transporte de un contaminante en el medio. Estos modelos usan soluciones matemáticas para gobernar las ecuaciones continuas de espacio-tiempo y son aplicables a los procesos de transporte de una masa contaminante y su migración en el medio.

Entre las ventajas que los modelos analíticos ofrecen, se encuentran las siguientes:

- Son relativamente rápidos de desarrollar y usar.
- De fácil aplicación.
- Pueden ser resueltos para un set de parámetros de entrada y se usados para validar otros códigos numéricos.
- Se pueden adecuar a algunas propiedades anisotrópicas del medio.
- Son numéricamente estables.
- Pueden ser usados como herramienta de tamizaje inicial, previo al uso de modelos más complejos.

La selección y aplicación de un modelo determinado para una situación depende en primer término, del nivel de calidad de la información disponible y en caso de no ser así, se requiere generarla para posteriormente estar en condiciones de hacer uso de un modelo determinado (Cuadro VIII).



**Fig. 22. Clasificación de los modelos usados para evaluar el destino y transporte de plaguicidas en el ambiente (Sánchez y otros, 2009)**

**Cuadro VIII. Descripción del proceso de simulación aplicado de modelos empleados para evaluación de impacto ambiental (Velázquez, Aldo con base en Sánchez, 2010)**

Modelo	Descripción del proceso de simulación aplicado
AGNPS	Agricultural Non-point Source Pollution model. El modelo fue desarrollado para el análisis de fuentes difusas de contaminación en terrenos agrícolas. Estima la calidad del escurrimiento superficial y lo compara para diferentes estrategias de manejo. (Young et al., 1989)
ANSWERS	Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation. Simula el comportamiento de cuencas agrícolas. Predice la erosión causada por usos y prácticas de manejo específicos; también proporciona un análisis de calidad de agua asociado a sedimentos y productos químicos.
CREAMS	Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management System. Es un modelo a escala de campo para predecir escorrentía, erosión, y transporte químico a partir de sistemas de manejo agrícolas. (Knisel, 1980)
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator. EPIC calcula las pérdidas de rendimiento de los cultivos debido a erosión de suelos y otros factores. (Williams et al., 1984)
GLEAMS	El modelo GLEAMS v. 2.10 (Groundwater loading effects of agricultural management systems. Es un modelo matemático que simula el movimiento de productos químicos y sedimentos a escala de campo, tanto en profundidad como a través de la superficie del terreno. (Knisel, 1980)
HELP	El modelo para la evaluación del desempeño hidrogeológico de vertedero es un modelo quasi-bidimensional, que determina el balance de agua en determinados sitios. Desarrollado para vertederos y para instalaciones de desechos sólidos, usado como herramienta de evaluación de impacto. Aplicado también para la evaluación de lixiviación de hidrocarburos.
JURY-UNSATURATED	Diseñado para la estimación de flujo de volatilización de químicos del suelo al aire, predice concentraciones dentro de la fase acuosa y puede ser empleado para estimar los contaminantes a través de la zona no saturada, vadosa o de agua subterránea en relación con el tiempo.
LEACH	Modelo desarrollado por ASTM (1995). Calcula el factor de partición de la lixiviación en suelo y un factor de atenuación mezclando con agua subterránea. La disolución de los contaminantes dentro de la precipitación infiltrada se estima usando equilibrio particionado y la disolución dentro del acuífero es estimado usando un modelo de caja relativamente simple.
MOFAT	Simula transporte multifase para más de cinco especies químicas no inertes. Modela flujo de luz o líquidos orgánicos densos en tres sistemas de fase de fluidos. Maneja casos en los cuales el gas y/o la fase NALP están ausentes en parte o dominio entero a un tiempo dado. Resuelve ecuaciones para la exhibición de la fase del comportamiento del transiente usando un método ASD.

**Cuadro VIII. (Continuación) Descripción del proceso de simulación aplicado de modelos empleados para evaluación de impacto ambiental (Velázquez, Aldo con base en Sánchez, 2010)**

PESTAN	<p>Modelo de diferencias finitas para evaluar el transporte de masa en estado estacionario y transiente en la zona vadosa. (Varadhan, 2010).</p>
SAM	<p>Es una modificación de LEACH conocida como el modelo de atenuación de suelo (SAM). El proceso de lixiviación de la superficie hasta el acuífero se caracteriza por ser un proceso de tres pasos: iniciando con 1) equilibrio particionado de los contaminantes del suelo, seguida por 2) redistribución de la sorción de contaminantes del lixiviado bajo las capas de suelos limpios, y 3) dilución de los lixiviados.</p>
SESOIL	<p>Es un modelo unidimensional desarrollado por Benozountas y Wagner en 1984 para describir el destino y transporte de contaminantes en zonas insaturadas. Las transformaciones como la biodegradación, hidrólisis y el intercambio iónico también pueden ser simuladas.</p>
SUTRA	<p>Modelo bidimensional para simular flujo y transporte (de sustancias o energía) en la sub superficie. Es un modelo híbrido entre diferencias finitas y elemento finito, para simular el flujo y el transporte por debajo de la superficie, bajo ambas condiciones de saturación y no saturación.</p>
SWAT	<p>Soil and Water Assessment Tool. Desarrollado con el fin de predecir el impacto del manejo de las prácticas de manejo del agua, sedimentos y agroquímicos en cuencas.</p>
VLEACH	<p>Modelo de diferencias finitas unidimensional para lixiviación en zona vadosa. El modelo estima el impacto de agua subterránea debido a la movilización y migración de contaminantes orgánicos en zona vadosa. El modelo describe el movimiento de un contaminante orgánico dentro y entre tres fases: líquido, vapor y absorbidos.</p>
WEPP	<p>Water Erosion Prediction Project (WEPP). El modelo es una simulación continua de predicción de la erosión, implementado como un conjunto de programas informáticos.</p>



## **4.2 Descripción de modelo PESTAN (Pesticide Analytical Model).**

PESTAN se considera un modelo de diferencias finitas para evaluar el transporte de masa en estado estacionario y transiente del flujo de agua subterránea en la zona de vadosa (Varadhan, 2010). Un modelo de diferencia finita es aquel modelo numérico donde las ecuaciones que describen el movimiento del agua subterránea y del contaminante son solucionadas empleando los métodos de diferencia finita (Sánchez, 2010). El modelo se basa en una solución analítica de la ecuación de transporte advectivo-dispersivo-reactivo y se emplea como un procedimiento de evaluación inicial para determinar el potencial de contaminación de agua subterránea de plaguicidas en uso (Sánchez, 2010). Los métodos de predicción tradicionales son generalmente aplicados a un solo punto de muestreo y se asume que la lixiviación del plaguicida a través del suelo es exactamente caracterizada por la ecuación convectiva-dispersiva generada con ese propósito.

PESTAN estima el transporte de solutos orgánicos a través del suelo y el agua subterránea. El modelo se basa en una forma analítica cerrada de solución de la ecuación de transporte por convección-dispersión-reacción. El modelo fue desarrollado por Enfield en 1982 y desde entonces ha sido utilizado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en la Oficina del Programa de Plaguicidas (OPP) para las evaluaciones iniciales de selección en la evaluación del potencial de la contaminación de las aguas subterráneas (Enfield y otros 1982 y Varadhan, 2010).

### **4.2.1 Conceptualización del modelo.**

El modelo PESTAN determina la migración de un plaguicida en dirección vertical al punto de aplicación obteniendo como resultado una estimación de la concentración del plaguicida a diferentes profundidades en función del tiempo (Figura 23). El transporte vertical de contaminantes disueltos a través de la zona de vadosa se simula como un bloque de agua contaminada que migra dentro de un suelo homogéneo. La

concentración del bloque químico iguala a la concentración del contaminante en el agua y el grosor del bloque conceptualiza como el volumen del agua de poro requerida para disolver el total de la masa de contaminante disponible a la solubilidad del contaminante. El total de masa disponible se define como la masa que existe al tiempo de recarga. Cuando no ha transcurrido plazo alguno de tiempo entre la aplicación y la recarga, la masa disponible es equivalente a la masa aplicada. Al transcurrir tiempo significativo entre la aplicación y la recarga, existe una pérdida de masa debida a la degradación de la fase sólida, la cual inicia al tiempo de la aplicación y la masa total disponible será menor que la masa aplicada. El bloque inicia el ingreso al subsuelo al primer evento de precipitación y/o irrigación a una razón igual a la velocidad de agua de poro. El modelo asume condiciones de flujo estacionario a través del dominio del suelo. Una vez que el bloque ingresa al suelo, el transporte de contaminante es influido por la sorción y dispersión. La masa del contaminante puede ser perdida vía degradación de la fase líquida o por la migración externa del dominio del suelo.

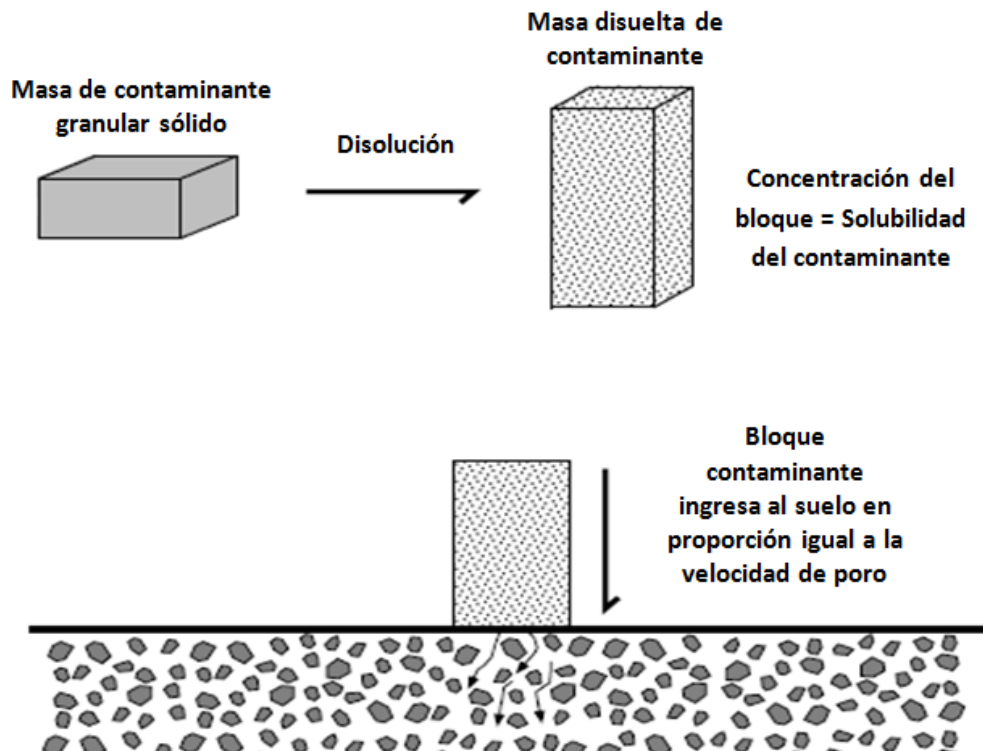


Fig. 23. Conceptualización del modelo de migración vertical del plaguicida (Varadhan, 2010).

#### 4.2.2 Supuestos del modelo PESTAN.

Los supuestos sobre los que se basa el modelo (de acuerdo con el Manual del Usuario) son los siguientes:

- a. PESTAN establece a las concentraciones del lixiviado como iguales a la máxima concentración posible. Expresa en valores de concentración máxima (conservadora) y un grosor mínimo de bloque. Por lo tanto el perfil de grosor del contaminante en el suelo será delgado y en una concentración mayor a aquella que actualmente se encuentra en el suelo.
- b. El bloque entra al suelo a la velocidad de agua del poro, la cual es expresada en razón de la recarga al contenido de agua de poro. El contaminante granular se disuelve en el bloque a una concentración igual a la solubilidad del contaminante. Cuando el tiempo de recarga es el mismo que el tiempo de aplicación, toda la masa del contaminante entra al suelo. Cuando el tiempo de recarga ocurre después del tiempo de aplicación, la masa del contaminante se perderá debido a la degradación. De aquí que la masa disuelta que entra al suelo será menor que la masa original del contaminante.
- c. Se asumen condiciones de flujo estacionario. Las condiciones de flujo estacionario en suelos ricos en arcillas se desarrolla cerca de las 48 horas y en suelos arenosos en menos de una hora. Los resultados para simulaciones hechas antes de alcanzar las condiciones del estado estacionario pueden dar lugar a error.
- d. Se presuponen condiciones homogéneas del suelo en el modelo. Este supuesto rara vez ocurre en campo. El usuario puede estimar el impacto de los suelos no uniformes para comparar los resultados de varias simulaciones que cubren el rango de propiedades de los suelos presentes en el sitio.
- e. Isotermas lineales describen la partición del contaminante entre la fase líquido y la fase suelo. Se supone un equilibrio instantáneo o local entre las fases.
- f. Se considera una degradación del contaminante de primer orden. La degradación de la fase sólida se lleva a cabo en la superficie entre el tiempo de aplicación y el tiempo de recarga. La degradación de la fase líquida se lleva a cabo dentro del

- sistema suelo. La velocidad de degradación de la fase líquida no cambia con la profundidad del suelo o el tiempo. Esta suposición ignora los cambios potenciales que se observan en la actividad biológica con respecto a la profundidad del suelo.
- g. El contenido de agua en el suelo está relacionado con la conductividad hidráulica.
  - h. El modelo no informa de líquidos no acuosos o de cualquier condición de flujo derivado de la variable densidad.

#### 4.2.3 Descripción del modelo matemático usado por PESTAN.

Basado en el modelo teórico propuesto por Enfield en 1982, el transporte vertical de un plaguicida disuelto en agua y su migración a través del suelo puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\rho_b}{\theta} \frac{\partial S}{\partial t} - k_1 C$$

Donde:

C = Concentración contaminante fase líquida (masa contaminante en agua/ volumen de agua) (M/L<sup>3</sup>)

t = Tiempo (T)

x = Distancia a lo largo de la trayectoria de flujo (L)

D = Coeficiente de dispersión (L<sup>2</sup>/T)

v = Velocidad intersticial o poro-agua (L/T)

$\rho_b$  = Densidad aparente (M/L<sup>3</sup>)

$\theta$  = Contenido volumétrico de agua (volumen de agua de poro / volumen total) (L<sup>3</sup>/L<sup>3</sup>)

S = Concentración fase sólida (masa del contaminante en suelo/masa del suelo) (M/M)

$k_1$  = Coeficiente de degradación de primer orden en fase líquida (/T)

#### 4.2.4 Parámetros de ingreso para la simulación en PESTAN.

A partir de estudios previos realizados en 2009 por el Dr. Juan Carlos Sánchez Meza y otros, en el Departamento de Farmacia de la Facultad de Química de la UAEM, y las bases de datos desarrolladas como producto de dichos proyectos, a continuación (en el Cuadro IX) se señalan los diferentes parámetros que fueron tomados en consideración para el diseño de los diferentes escenarios generados por el modelo PESTAN.

**Cuadro IX. Parámetros de ingreso para la simulación en PESTAN (Varadhan, 2010 y Sánchez, 2010).**

Número  
Nombre del plaguicida  
Recarga(cm/h)  
Valor mínimo en x (cm)  
Valor máximo en x (cm)  
Valor mínimo tiempo (días)  
Valor máximo tiempo (días)  
Tiempo vida media suelo (días)  
Degradación fase sólida  
Tiempo vida media agua  
Degradación fase líquida  
Solubilidad en agua  
Coeficiente partición carbono orgánico suelo  
Tipo suelo (textura profundo)  
Tipo suelo (textura superficie)  
Densidad suelo (g/cm<sup>3</sup>) superficie  
Densidad suelo (g/cm<sup>3</sup>) profundo  
Contenido agua saturada superficial  
Contenido agua saturada profunda  
Coeficiente curva superficial  
Coeficiente curva profunda  
Conductividad hidráulica de saturación (ks)  
Conductividad hidráulica de saturación (ks)  
Contenido de carbono orgánico (%) superficie  
Fracción de carbono orgánico (foc) superficie  
Contenido de carbono orgánico (%) profundo  
Fracción de carbono orgánico (foc) profundo  
Constante de Sorción (kd) superficie  
Constante de Sorción (kd) profundo  
Cantidad de plaguicida aplicado (kg/Ha)  
Número de aplicaciones  
Coeficiente de dispersión (kd)

## **5. Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

### **5.1 Definición.**

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas para el análisis y el manejo de la información espacial de fenómenos localizados sobre la superficie de la tierra (figura 24). En el caso de los recursos naturales, ha permitido avances considerables para su estudio y manejo, con la posibilidad de construir escenarios para la toma de decisiones con base en modelos espacial estáticos y dinámicos. En los últimos años se han realizado muchos intentos por definir como concepto que es un SIG, sin embargo Pickles (1991) considera que el concepto es dinámico ya que este cambia continuamente en función de las tecnologías y aplicaciones que se han desarrollado (Roldán, 2003). En sus inicios los SIG se consideraron como “una tecnología para el análisis espacial de datos” que se integró gracias al desarrollo de campos alternos como: la evolución de métodos conceptuales en el análisis espacial; los avances en el procesamiento automatizado de datos y la necesidad creciente de procesar cada vez mayor volumen de información para la solución de problemas. Básicamente, los SIG describen objetos del mundo real en términos de su posición respecto a un sistema de coordenadas, los cuales pueden estar relacionados a un conjunto de atributos.

Se describen a continuación cuatro enfoques para definir a los SIG, aunque cabe hacer mención que todos poseen alguna debilidad tomando en consideración el punto de vista y aplicación mismas (Roldán, 2003).

- a. Enfoque orientado a procesos. Basado en la idea formulada por Tomlinson (1976) de que un sistema de información consiste de varios subsistemas integrados que ayudan a convertir los datos geográficos en otra información útil. El sistema entero debe incluir procedimientos para la entrada, almacenamiento, recuperación, análisis y salida de información geográfica. El valor de dichos sistemas está determinado por su capacidad para entregar información oportuna y útil.

- b. Enfoque de aplicación. Pavlidis en 1982, hace un esquema que incluye sistema de inventario de recursos naturales, sistemas urbanos, sistemas de planeación y evaluación, sistemas de administración y control. Si bien lo anterior ilustra el alcance de campo en su aplicación, no nos permite distinguir un SIG de cualquier otra forma de procesamiento de datos geográficos. Los SIG son independientes de las escala, como de su aplicación.
- c. Enfoque de caja de herramientas. Se derivan de la idea de que el sistema incorpora un sofisticado conjunto de procedimientos computacionales y algoritmos que manejan datos espaciales. Típicamente estas herramientas están organizadas de acuerdo a las necesidades de cada subsistema orientado a un proceso específico, por ejemplo, entrada, análisis o salida. Las funciones deben estar presentes y trabajar eficientemente para realizar la transferencia de una variedad de tipos de datos geográficos a través del sistema y hacia las manos del usuario final.
- d. Enfoque de base de datos. Goodchild en 1993 establece que un SIG es mejor definido como un sistema que usa una base de datos espacial para proporcionar respuestas a consultas de naturaleza geográfica. Por lo tanto se establece que el éxito de un SIG estará determinado por la eficiencia que los modelos de datos tengan para la recuperación, análisis y despliegue de información.

Una definición más actual, corta y puntual sería: un Sistema de Información Geográfica es un sistema que por medio de computadoras y datos geográficos ayuda a nuestro mejor entendimiento del mundo en que vivimos y nos permite resolver los problemas que diariamente afrontamos. Un SIG sirve para resolver problemas y es simplemente una herramienta muy poderosa, cada vez más utilizada, para hacer de nuestro mundo un mejor lugar donde vivir (Crossier, 2002).

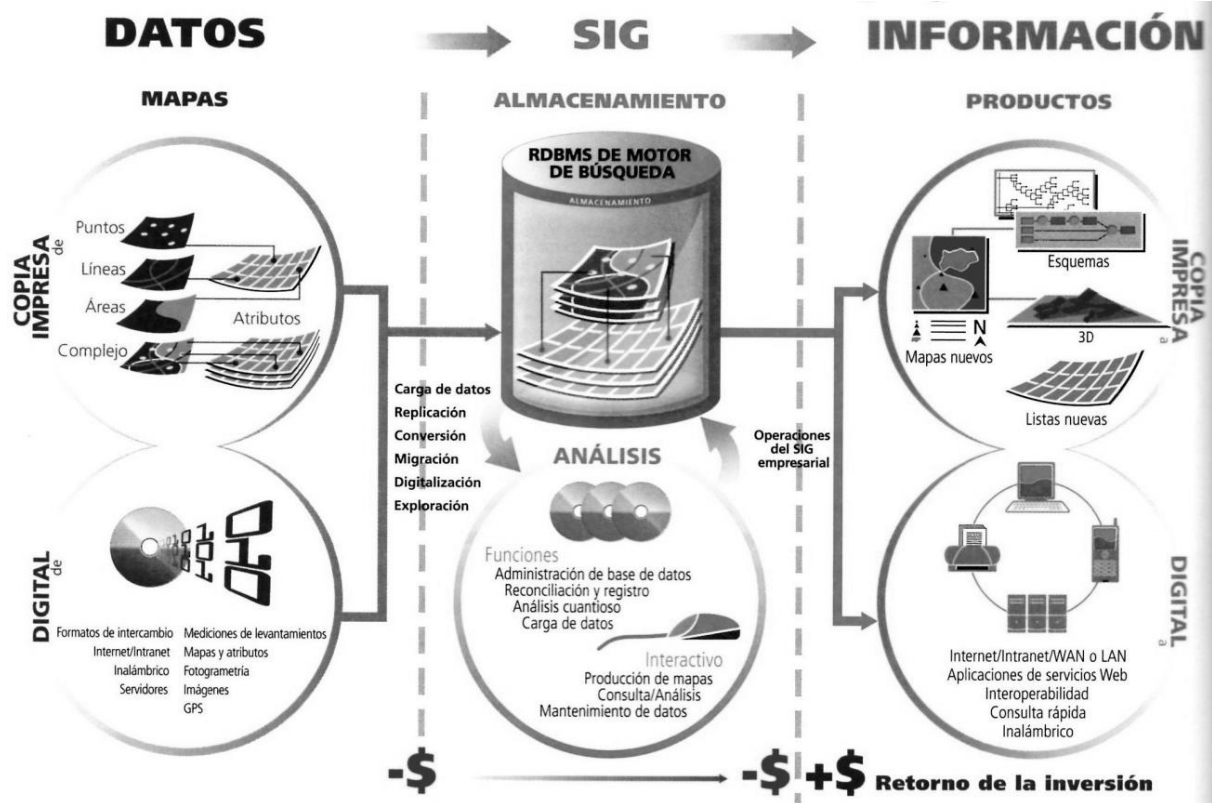


Fig. 24. Partes que conforman un SIG (Tomlinson R., 2007)

Previo a la disponibilidad de la tecnología SIG, la forma en que se tomaban decisiones, no siempre era la más adecuada. Se confiaba en mapas tradicionales y en tablas estadísticas impresas. Estos mapas y registros se mantenían generalmente en departamentos o sectores aislados dentro de una cierta organización, perdiendo tiempo, duplicando esfuerzos e inevitablemente produciendo resultados erróneos. Mapas, tablas y cartografía eran difíciles de mantener actualizados, ni siquiera con los mejores mapas, tablas o cartas, se podía imaginar cómo eran realmente las cosas, cuales las mejores opciones de localización, y cual la decisión que se debía tomar.

Los resultados eran decisiones basadas en información pobre y solucionando sólo parte del problema o simplemente realizando una mala planificación. Todas las alternativas no podían ser tenidas en cuenta ya que no podían ser visualizadas en conjunto. Adicionalmente, las alternativas que se consideraban eran generalmente basadas en datos incompletos, distorsionando de esta forma la realidad. Un SIG es una herramienta



que es utilizada por personas que tienen la necesidad de tomar decisiones. A través de un SIG los mapas pueden ser integrados fácilmente con otros datos. Por ello, cualquier información en una tabla puede visualizarse en un mapa instantáneamente y cualquier problema representado en un mapa puede analizarse más rápido. Se pueden analizar relaciones y tendencias que no se habían percibido ahora sobre pantallas de computadoras y/o mapas SIG impresos. De esta forma los mapas son relacionados con otros. Al contrario de lo que sucede con los mapas tradicionales, los mapas SIG cambian dinámicamente en la medida que los datos alfanuméricos son actualizados. Por ello, el SIG refleja el mundo como realmente es hoy, mañana o dentro de diez años (Crossier, 2002).

Con el SIG se pueden combinar y asociar elementos cartográficos que permiten realizar inferencias causales, relaciones, y tendencias. Los SIG proporcionan las herramientas necesarias para analizar modelos, localizar eventos, medir cuán distante están dichos eventos, encontrar la mejor manera de llegar a un destino y explorar como los problemas se relacionan con los demás. Permite que las personas que utilicen esta tecnología se concentren en lo más importante: balancear las posibles alternativas y favorecer a la toma de decisiones (Crossier, 2002 y SDSPA, 2001).

## **5.2 Conceptos de sistemas de información geográfica.**

Existen tipos de codificación de datos geográficos que representan la manera en que se guarda la información y tiene dos vertientes (Crossier, 2002):

- La representación vectorial, que utiliza los elementos (primitivos) llamados punto, línea y polígono para representar la geografía. Ejemplo de esto son los SIG vectoriales como ESRI ArcInfo, Manifold System y otros ya en la categoría de Desktop Mapping Programs como MapInfo, AtlasGIS, ArcView.
- La representación ráster, se basa en la unidad fundamental llamada celda o pixel, los cuales definen toda una capa de información. Esta representación es utilizada

por programas SIG tales como Idrisi, MapCalc, ArcInfoGRID y otros en la categoría de Image Processors tales como ERDAS.

Así mismo, existen dos tipos de variables geográficas: los datos discretos, que se constituyen por elementos separados unos de otros o individualmente distintos (se representan mediante el modelo vectorial en forma de puntos, líneas o polígonos); y los datos continuos, que se representan mediante la agrupación de celdas que tratan de imitar este tipo de datos. Cada celda tiene un valor separado. Una representación común es la variable elevación, sin embargo pueden mencionarse, mas no limitarse, por ejemplo precipitación, temperatura, niveles de acidez del suelo, etc. Los programas ráster trabajan este tipo de representación de datos.

El empleo de SIG para la evaluación de riesgos presentes en agua superficiales derivados de la aplicación de plaguicidas es una herramienta de gran utilidad. Se han desarrollado modelos que integran bases de datos espaciales que se relacionan e incorporan modelos de balance de masas e indicadores de riesgos de plaguicidas, incluyendo dos procesos principales: carga debido al goteo como consecuencia de aplicación del plaguicida y la carga debida a los eventos de lluvia y acarreo (Verro y otros, 2002). Otros estudios se han orientado a evaluar mediante SIG la vulnerabilidad del terreno para facilitar la lixiviación de los plaguicidas aplicados y por consecuencia determinar el riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas (Thapinta y otros 2003; Shukia y otros, 1998).

Pfleeger y otros, describen en 2006 el uso de SIG para generar un escenario basado en un incidente reportado en Idaho, Estados Unidos con el fin de identificar la magnitud del riesgo relativo de la migración de herbicidas a otros sitios no-blanco. Tomando como base las propiedades ecotoxicológicas y su perfil fisicoquímico fue posible identificar a los plaguicidas que representaban el riesgo más alto y con ello poner medidas para el manejo de los riesgos, empleando el modelo SoilFug en áreas agrícolas de Xiamen en China (Calamari y otros, 2002). En México se han identificado diferentes áreas en las

cuales existe una aplicación importante de plaguicidas para el control de plagas en los cultivos, en particular en el Estado de México existen zonas de cultivo dedicadas a la floricultura con importante uso y aplicación de productos agroquímicos (Sánchez, 2010). El empleo de SIG para la evaluación de riesgos presentes en aguas superficiales derivados de la aplicación de plaguicidas es una herramienta de gran utilidad. Los acuíferos son un importante recurso natural que en recientes décadas la contaminación proveniente de los pesticidas usados en la agricultura los han convertido en objeto de monitoreo, que resulta ser costoso, pero necesario como herramienta flexible y útil para la determinación del riesgo potencial implícito (Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, 2001). La evaluación del riesgo de la calidad del agua ha sido revolucionada por la llegada de los sistemas de información geográfica (SIG).

## JUSTIFICACIÓN

El proyecto que aquí se presenta forma parte de una propuesta integral con el fin de evaluar el riesgo ecotoxicológico que representa el uso de plaguicidas en la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México, en particular organofosforados y carbámicos, si bien estos grupos de plaguicidas se consideran menos persistentes que otros grupos como los organoclorados, no se cuenta hasta el momento en la zona, con información sobre las cargas aplicadas, el destino y transporte de los mismos y su repercusión sobre organismos no blanco.

El estudio contribuye a la integración de métodos y técnicas para la identificación de zonas de mayor contaminación por plaguicidas y determinar el riesgo que representan para el ambiente y la salud de las comunidades, con el propósito de orientar acciones para su manejo adecuado y evaluar a su vez el grado de vulnerabilidad de los terrenos a ser afectados y prevenir así el incremento en el daño.

Para lo cual se pretende identificar e integrar una metodología para llevar a cabo la evaluación de la vulnerabilidad de los terrenos derivado del uso de plaguicidas organofosforados y carbámicos mediante el uso de programas de simulación de la lixiviación y el empleo de métodos geoestadísticos para determinar la distribución espacial de las concentraciones ambientales estimadas.

La actividad florícola representa una alternativa económica compleja para la comunidad, que requiere un análisis cuidadoso en relación con otros aspectos como el social y el ambiental. El cultivo de flores se desarrolla principalmente en los municipios de Tenancingo, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Tonatico, Zumpahuacan, Malinalco y Villa Guerrero. El 56% de la producción florícola estatal es generado solamente por Villa Guerrero.

Durante el año 2006, se exportaron un volumen total de 19,822.3 toneladas de flores y capullos frescos, representando un monto de 44.8 millones de dólares, lo cual significó un incremento del 146% con respecto al valor de las exportaciones del año 2005 (Sánchez, 2009)

Lo anterior marca la necesidad de contar con métodos de análisis para identificar y cuantificar las concentraciones de los plaguicidas empleados en el cultivo de flor y así mismo conocer su distribución en la zona y la posibilidad de transporte o migración través del suelo o del agua y con ello prevenir posibles riesgos a la salud humana y al ambiente; por lo cual el presente trabajo abordará los aspectos de geoposicionamiento de las zonas identificadas como vulnerables a favorecer la lixiviación de los plaguicidas mencionados mediante el uso de un modelo de simulación de la lixiviación PESTAN y un Sistema de Información Geográfica.

## **HIPÓTESIS**

“Es posible la determinación en las áreas vulnerables a la migración de plaguicidas organofosforados y carbámicos en terrenos de cultivo florícola de Villa Guerrero, Estado de México, con base en los resultados predictivos generados por un modelo de simulación de lixiviación desarrollado en PESTAN”

## **OBJETIVOS**

Objetivo general.

Desarrollar un Sistema de Información Geográfica que permita la identificación de las áreas de cultivo florícola que favorecen a la migración de los plaguicidas organofosforados y carbámicos haciendo uso de una base de datos predictivos generados por el modelo de simulación de lixiviación PESTAN.

Objetivos específicos.

- a) Estimar las cargas empleadas de los plaguicidas en los terrenos de cultivo.
- b) Evaluar las características fisicoquímicas del terreno con los datos disponibles.
- c) Identificar las variables aplicables al modelo de simulación e incorporarlas.
- d) Obtener, interpretar e incorporar la información a un SIG para su análisis.

**MATERIAL Y METODOLOGÍA**

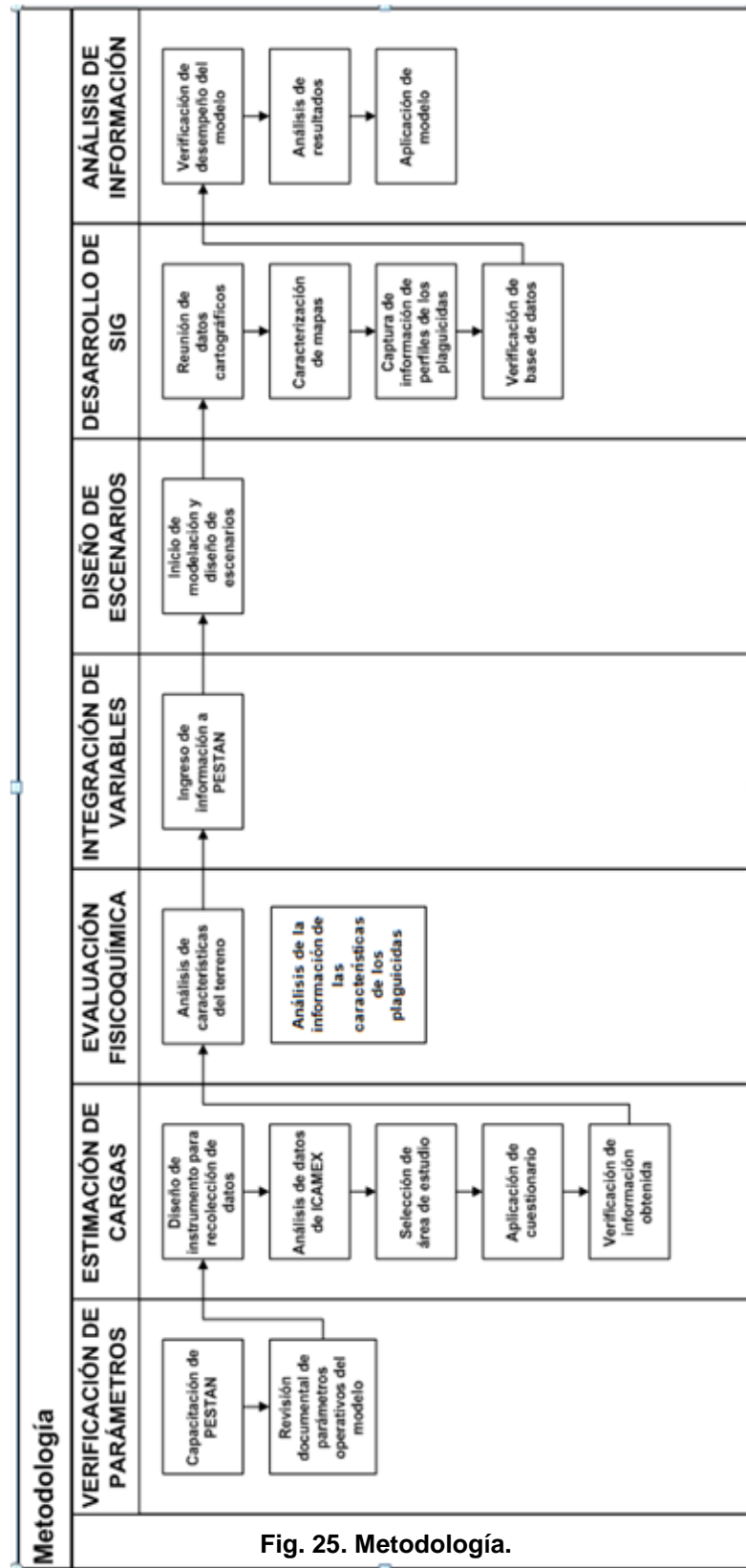
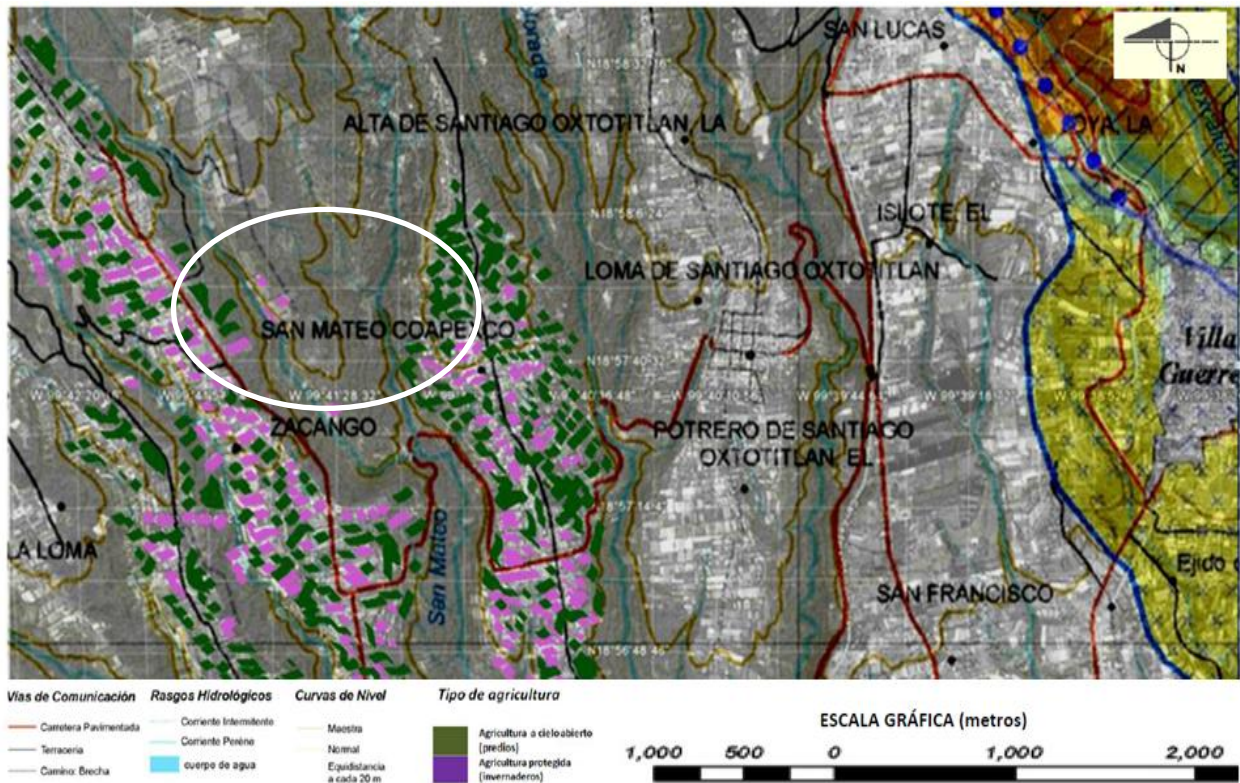


Fig. 25. Metodología.

**Zona de estudio.**

**a) Aspectos físicos**

a) *Localización geográfica.* El municipio de Villa Guerrero tiene las siguientes coordenadas geográficas: 18° 48' 00" latitud norte y 18° 25' 00" latitud sur, y 98° 33' 00" longitud este, 100° 28' 00" longitud oeste. Se localiza en la parte sur del Estado de México, en donde colinda con los municipios de Zinacantepec, Toluca y Tenango del Valle al norte; Ixtapan de la Sal al sur; Tenancingo y Zumpahuacán al este y Coatepec Harinas al oeste. La localidad en estudio se localiza en la parte centro del municipio. De acuerdo al Gobierno del Estado de México (GEM, 2004b), tiene una superficie de 20,773 hectáreas, lo que representa el 8.5 % del total del territorio estatal.



**Fig. 26. Zona de estudio, San Mateo Coapexco, Villa Guerrero, México.**

b) *Clima.* Villa Guerrero debido a su posición geográfica, se localiza en la zona intertropical y prevalecen diversos tipos de climas, todos ellos con lluvias en verano. El INEGI (2001), señala que por las condiciones meteorológicas han dado lugar al



predominio de tres tipos de climas, semifríos, templados y semitropicales. Sin embargo, en las localidades en estudio solo se identificaron dos de ellos, que son:

- El clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Es el más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, su precipitación invernal, es decir, la ocurrida en los meses de enero, febrero y marzo, corresponde a menos de 5% de la lluvia total anual. La precipitación es mayor de 700 mm y la temperatura media anual varía entre 12° a 18° C.
- Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad; localizado al sur de municipio. Es el más húmedo de los semicálidos subhúmedos con lluvias en verano y su porcentaje de lluvia invernal es menos a 5%. La precipitación total anual es superior a 1,000 mm y la temperatura anual varía entre 18 y 24°C.

Dichas condiciones climáticas les han permitido a los productores florícolas aprovechar el agua, el periodo de lluvias y la temperatura que oscila entre los 22 y 25° C para la producción de flor.

Por ejemplo, el cultivo se ve beneficiado durante más de 5 meses con las temporadas de lluvias para regar los cultivos (las precipitaciones pluviales inician regularmente en el mes de mayo y terminan en octubre); otra ventaja de dicho clima es que durante las temporadas invernales la temperatura no desciende de manera drástica y se puede controlar con los invernaderos, de ésta manera no se pone en riesgo la producción.

c) *Fisiografía*. El Estado de México incluye en su territorio áreas pertenecientes a dos provincias fisiográficas: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur. El municipio está localizado sobre dicho eje volcánico en la parte norte, principalmente. En la parte centro y sur (donde se localiza la localidad estudiada) corresponde a la Sierra madre del Sur representada por la subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses (INEGI, 2001).

La descripción de estas provincias fisiográficas por el mismo autor, se presenta a continuación:

- La Provincia Eje Neovolcánico. Se caracteriza como una enorme masa de rocas volcánicas de todos los tipos, acumulada en innumerables y sucesivos episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás), y que continúan hasta el presente.

La integran grandes sierras volcánicas, coladas lávicas, conos dispersos, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arenas y cenizas, etc. dispersos entre extensas llanuras.

- La Subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses. En esta subprovincia se alternan sierras y valles con orientación general hasta el sur. Su litología es semicompleja, pero con predominio de rocas calcáreas. Las incisiones que la red fluvial ha realizado son relativamente recientes y las corrientes que modelan la unidad son afluentes de la margen derecha del Balsas, entre ellas se encuentran los ríos de Amacuzac, Chontalcoatlán y San Jerónimo. Las características de tal estructura fisiográfica han propiciado, al norte del territorio una formación de suelos de origen ígneo extrusivo donde a su vez se han desarrollado vegetaciones de bosque en suelos andosoles principalmente. Al centro y sur del municipio, donde se localizan las localidades en estudio, los suelos son de tipo sedimentario y varían en categorías de unidades edáficas, no obstante el uso de suelo presentado es principalmente las actividades agrícolas. Cabe mencionar, que una de las pocas limitantes para estas actividades ha sido el relieve irregular, sobre todo para las prácticas de labranza.

d) *Geología*. El municipio al formar parte del Sistema Volcánico Transversal, tiene por consiguiente rocas de tipo volcánico. Así al norte del territorio se localizan rocas ígneas extrusivas ácidas hasta una altitud aproximada de 3000 m, y además se encuentra una pequeña área de brecha volcánica (Bv) (GEM, 2004). Igualmente, en la parte norte del municipio, se localizan rocas andesitas, que son rocas ígneas extrusivas, y de acuerdo al INEGI (2001), se representan a las diferentes unidades del Terciario Superior que se exponen en el área; las hay de lamprobolita, de piroxenos y cuarzo. La andesita es una

roca por lo general de textura merocristalina porfídica con fenocristales de plagioclasa y de ferromagnesianos. En la superficie fresca son de color gris con tonos claros, oscuros y rosas; intemperizan a tonos ocre. Las andesitas están dispuestas generalmente como coladas de bloques, algunas son vesiculares, sobre todo las más básicas, en ocasiones se presentan fracturadas en lajas.

En la parte central, desde el norte hasta el centro, predomina el basalto (B). Esta unidad está constituida por basaltos de olivino que contiene plagioclasa y labradorita, son de color gris oscuro: presentan por lo general, textura holocristalina, en ocasiones porfídica con matriz intergranular y estructura vesicular; están dispuestos en bloques o acordonados; en ocasiones presentan intemperismo incipiente, en algunos sitios se encuentran muy fracturados (INEGI, 2001).

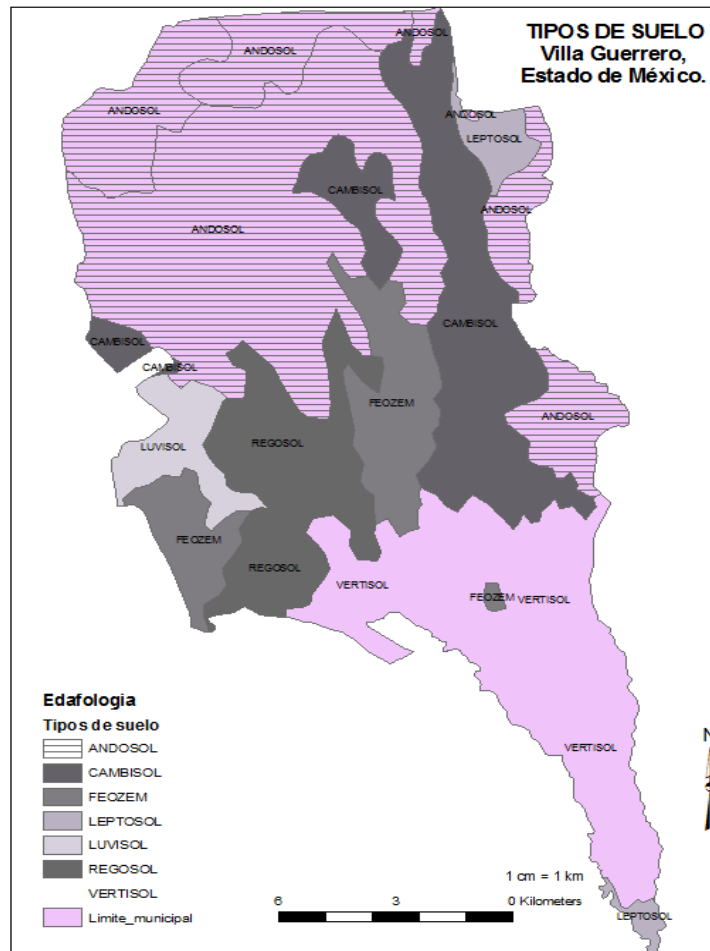
En la parte centro del municipio donde se encuentra la localidad de San Mateo Coapexco, se tienen suelos aluviales (al). Se trata de depósitos aluviales y proluviales, representa el evento acumulativo que se presenta hasta la actualidad. Y según el INEGI, 2001, está conformado por clastos de diversos tamaños, que por lo general son líticos de rocas ígneas extrusivas, con una redondez que varía de subangulosa a bien redondeada; su color va de crema a café oscuro. Sobreyace discordantemente a las demás unidades y subyace a derrames básicos recientes. Su morfología se presenta como planicies aluviales, rellenando valles fluviales y en abanicos, así como formando pequeños valles intermontanos.

En la parte sur de Villa Guerrero, se localizan rocas areniscas asociadas con conglomerado, rocas ígneas extrusivas, basalto y caliza. Las areniscas son rocas sedimentarias, y constituyen unidades clásticas continentales de grano fino a grueso con grado de redondez subanguloso a subredondeado, con granos de cuarzo, plagioclasa y partículas de roca con cemento calcáreo. El conglomerado, se presenta semiconsolidado, con clastos generalmente de caliza, arenisca y roca volcánica con matriz arcillo-arenosa; los clastos volcánicos predominan en los conglomerados que se

encuentran expuestos en la porción sur de Villa Guerrero, representan antiguos abanicos aluviales (INEGI, 2001).

A manera de síntesis se puede decir que la transformación que ha sufrido el territorio de manera natural y un poco por la acción humana, los terrenos de las localidades en estudio presentan condiciones muy favorables para el cultivo tanto de flor como de hortalizas, ya que como se ha mencionado en casi la totalidad de Villa Guerrero el suelo es de rocas de tipo clásticas y volcaniclásticas que se han sabido acondicionar para la explotación agrícola. Las pendientes en donde se está presentando principalmente el cultivo de flor están sobre 10.0 y 15.0% lo cual favorece de igual manera a los cultivos ya que no se presentan pérdidas de suelo por deslaves y el agua se puede filtrar de buena forma para regar la totalidad de la tierra de cultivo.

e) *Edafología*. El relieve montañoso, la presencia de varios tipos de clima y de tipos de rocas dan como resultado una variedad de condiciones ambientales que se manifiestan en las diversas unidades edáficas desarrolladas. En Villa Guerrero el INEGI, 2001, reporta las siguientes: Andosoles, Leptosoles, Cambisoles, Regosoles, Vertisoles y Feozem. No obstante, en el centro del mismo donde se encuentra la localidad en estudio sólo se desarrollan suelos de tipo Andosol, Cambisol, Feozem y Regosol. Para comprender la importancia de dichos suelos en el desarrollo de la floricultura se reportan sus características particulares (Figura 27):



**Fig. 27. Tipos de suelo.**

Andosoles. Estos suelos son los que predominan en el municipio, se les encuentra principalmente en la parte norte, pero llegan a extenderse en pequeños manchones hacia la parte centro, y la localidad de Coxcacaco está asentada sobre este tipo de suelo. Las subunidades dominantes son el Andosol húmico, Andosol ocrico y el Andosol molico, todas de textura media. Sin embargo, también los Andosoles están asociados con los suelos Cambisoles y los Leptosoles, principalmente.

Los Andosoles se derivan de la intemperización de cenizas volcánicas, son muy ligeros (densidad de masa o aparente menor de 0.85), con una alta capacidad de retención de humedad y fijación de fósforo; debido al alofano (mineral amorfo). Tienen una fuerte tendencia hacia la acidez, presentan una estratificación con un horizonte A y puede haber o no un horizonte B cámbico (INEGI, 2001).

En la localidad en estudio estos suelos sustentan una vegetación de bosque de pino-encino, pino, encino, oyamel-pino, encino-pino, y el uso de suelo es de agricultura de temporal, principalmente son cultivados para la siembra de maíz, papa y haba.

Cambisol. En el territorio municipal hay una franja de suelos que va del norte y llega hasta el centro (abarcando a la localidad de La Joya), se les encuentra asociados con los suelos Feozems y Andosoles. Las unidades de suelo Cambisol son suelos jóvenes y poco desarrollados. El INEGI (2000), dice que se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa que parece más suelo que roca, ya que en ella se forman terrones, además pueden contener acumulación de algunos materiales como arcilla, carbonato de calcio, fierro, manganeso, etc., pero sin que esta acumulación sea muy abundante.

Además el INEGI, 2001, reporta que la textura dominante de los cambisoles es media, con buen drenaje interno y de susceptibilidad a la erosión de moderada a alta. Su profundidad está limitada por un estrato rocoso a menos de 50 cm, pendientes abruptas y muy abruptas (mayores de 15%), y su uso y manejo dependen de las limitantes físicas del terreno en que se encuentren.

Feozems. La unidad de suelo Feozem se presentan en la parte media y se encuentran asociados con Vertisoles y Andosoles. La localidad de San Mateo Coapexco está asentada sobre la transición entre este tipo de suelo y el Regosol. El INEGI (2001), señala que se caracterizan por presentar un horizonte A milico, suave, rico en materia orgánica (más de 1.0%) y saturación de bases mayor de 50.0%, por lo tanto el contenido de nutrientes (calcio, magnesio y potasio) es elevado. La formación de estos suelos se debe en gran medida por el intemperismo de las rocas de origen ígneo extrusivo que son abundantes en el territorio municipal.

Estos suelos están desarrollados principalmente al oeste municipal en una porción que corresponde al 5.93% del territorio, su formación generalmente depende de la litología, pues se derivan de la roca que les subyace (generalmente ígnea). En general los regosoles son pobres en materia orgánica y tienen textura media, por lo que su drenaje

interno, es moderado. A diferencia, de las dos unidades antes mencionadas, estos suelos se desarrollan en climas más cálidos por lo que sustentan vegetaciones como selvas y pastizales. De igual forma algunas áreas están dedicadas a la agricultura de temporal con cultivos anuales, con limitantes de lechos rocosos a poca profundidad.

*f) Hidrología.* Villa Guerrero pertenece a la Región Hidrológica 18, Balsas (RH-18) que es drenada por un conjunto de corrientes intermitentes pequeñas y por corrientes perennes como el río Balsas; presenta un patrón de drenaje dendrítico subparalelo. La integran cuatro cuencas: río Atoyac; río Balsas-Zirándaro; río Grande de Amacuzac y río Cutzamala. Concretamente el municipio forma parte de la cuenca río Grande de Amacuzac, el aprovechamiento de este recurso en el Estado es mínimo, y una parte de éstas aguas son destinadas principalmente al uso agrícola y doméstico (INEGI, 2001).

Un problema que se presenta es la contaminación de algunos tributarios de este río, ello se debe a que la mayoría de las localidades no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, y drenan sus aguas residuales a los cauces. Esta problemática se acentúa más en época de estiaje, cuando los cauces de los ríos disminuyen.

Por otra parte, Villa Guerrero se abastece de agua del Río Tintojo que pasa por el poblado de Santiago Oxtotitlán y se conoce popularmente como Río Santiago, mismo que tiene su desembocadura en el Río Texcaltenco, segundo en importancia. El río Grande o Texcaltenco destaca por extensión aproximada de 47 km lineales al cual confluyen dos afluentes: el río Chiquito de Santa María, con aproximados 5 km de longitud y el río Tenancingo o de la Fábrica, con una extensión de casi 20 km. Este río forma en su trayecto profundos acantilados de roca basáltica andesítica que llegan a medir más de 20 m de profundidad (CNA, 2000).

La CNA (2000) menciona que existen en el municipio otros afluentes de menor importancia llamados: arroyos Las Lajas, Del Muerto y Del Puente de Ocote; todos éstos desembocan en la presa Tecualoyan, para ser utilizados en el riego de las tierras de La Finca y proseguir su cauce como arroyo y salto el Maquintero, el cual se une al río de

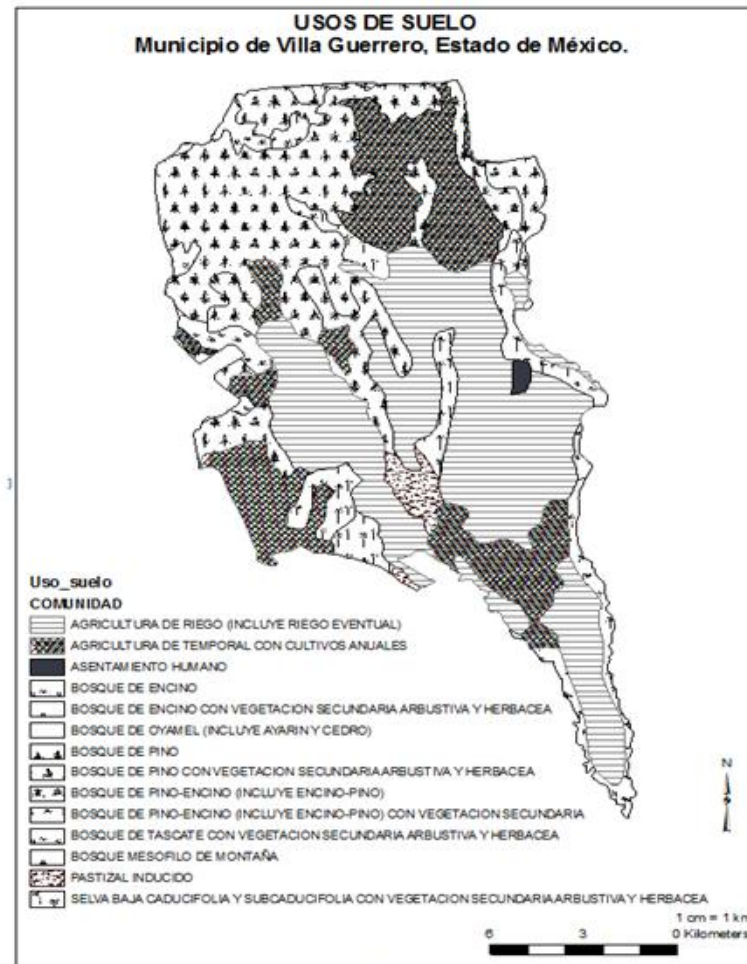
Calderón y forma parte del río San Jerónimo. Los arroyos y manantiales son parte importante para la vida de los pobladores y la producción agrícola del municipio, destacando por su importancia los Arroyos del Muerto, de San Martín, San Mateo, Zacango y San Gaspar, éstos tres últimos toman su nombre de las comunidades que atraviesan el manantial denominado Coponal, de la región de Zapotitlán, de donde se surte de agua potable la cabecera municipal y su ubicación física se localiza en la comunidad de San Diego.

Los principales manantiales que dotan de agua potable a las localidades en estudio son: el manantial de la Estrella, la Piedra Ahuecada, El Coponal, Los Chicamoles, el Agua de la Pila, etc. Existen otros más al poniente de la región en las localidades de San Bartolomé, San José y Zacango, pero que son aprovechados para el riego de cultivos agrícolas (CNA, 2000).

De esta manera se puede concluir que el municipio es rico en afluencia de agua, cuenta con gran cantidad de manantiales y ríos, lo que conlleva un importante impulso para el desarrollo de las actividades agrícolas, y para este caso de la floricultura, sin embargo, también se hace notable el estado de gravedad del recurso a causa de la contaminación.

*g) Usos del suelo y vegetación.* En el municipio el 55.5% está dedicado a la actividad agrícola; el 3.8% está ocupado por los asentamientos humanos; el 37.3% de la superficie es de bosques; 2.9% de selvas y el 0.6% de pastizales, como se puede apreciar en la Figura 28 (GEM, 2004a).





**Fig. 28. Usos de suelo.**

De forma más explícita los tipos de suelo y vegetación municipal se describen a continuación con base al INEGI, 2001:

- Bosque de pino-encino. Es una comunidad de bosque ampliamente distribuida y está compartida por diferentes especies de pinos y encinos. Se desarrollan sobre suelos de origen ígneo, metamórfico y sedimentario en su mayoría del tipo Andosol, Cambisol, Regosol y Luvisol; generalmente son de color negro, en ocasiones rojos o grises con una profundidad variable y poco contenido de materia orgánica, son susceptibles a la erosión. La condición secundaria que presentan estas asociaciones es consecuencia de la tala inmoderada y de los incendios provocados, por ello, existe una gran variación en su composición florística; la mayor parte de estos bosques han sido explotados con fines maderables, para la extracción de trozas para aserrío, leña, carbón y para la obtención de resina para la industria, la cual se

obtiene principalmente del *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote*, el manejo inadecuado provoca que tengan uso agrícola o bien para inducir pastizales los cuales soportan la actividad del ganado bovino y ovino.

- Pastizales. Se encuentran en la parte sureste del municipio, bajo el nombre de pastizal queda incluida toda aquella vegetación dominada por gramíneas, son plantas frecuentemente llamadas pastos o zacates, que en condiciones naturales están determinados por el clima y el suelo entre otros. Por otro lado, como se ha mencionado más de la mitad del suelo del territorio está destinado para actividades agrícolas (55.5%), los principales cultivos son la fresa, frijol y maíz.
- Agricultura. Este sector desempeña una función básica en la estructura económica y social de las localidades en estudio, sin embargo, esta actividad no ha despegado con la fuerza con que lo han hecho otros sectores productivos más privilegiados debido a que son variados los obstáculos que han impedido la expansión, la tecnificación y desarrollo de la agricultura.

No obstante, dicha zona se ha convertido en una las regiones más importantes para la producción de flores y plantas ornamentales del país y registra la mayor superficie plantada a campo abierto, además de ser de las principales productoras en invernadero y en vivero. A campo abierto se acostumbra combinar en el terreno cultivos frutales y permanentes con ornamentales, en invernadero es común que bajo una misma nave se establezcan dos o más cultivos, y en vivero es mucho más amplia la variedad de plantas.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural reúne en ocho Distritos de Desarrollo Agropecuario y Forestal del estado; las localidades en estudio está incluida en el Distrito de Desarrollo Rural IV: Coatepec Harinas. Este Distrito destaca por el gran número de unidades de producción de cultivos ornamentales que tienen, donde muchos de ellos se comercializan en el extranjero. El riego que presenta la región se apoya para el suministro de las derivaciones del río Amacuzac, ya que no

existen almacenamientos importantes y en algunas ocasiones se obtienen mediante el bombeo de algunos pozos. La tecnología con la que se cuenta en casi toda la región es avanzada, se cuenta con asesoría técnica, maquinaria agrícola, semilla mejorada, fertilización y control de plagas y enfermedades.

Cabe señalar la importancia que tiene la región sobre el uso de equipo de irrigación, equipo de bombeo y la producción en invernadero, que ayuda a controlar mejorar ciertos factores ambientales, y especies, nuevas variedades, híbridos, etc.

- Las zonas urbanas están creciendo sobre rocas sedimentarias del Neógeno y rocas ígneas extrusivas del Cenozoico; en lomeríos; sobre áreas donde originalmente había suelos denominados Andosol, Cambisol, Phaeozem y Regosol destinados antiguamente a la agricultura y algunos para bosques; en donde los climas son templados, lo que en conjunto brinda un ambiente muy cómodo para vivir.

## **b) Aspectos sociales**

En general, los aspectos socioeconómicos de una entidad muestran las condiciones en las que se desarrolla la vida de la población residente y por tanto la calidad de la misma, es decir, dichos aspectos representan de manera clara los recursos tanto económicos como de infraestructura con los que hacen frente a sus respectivas actividades productivas.

También se incluyen los rasgos culturales y de educación que describen los modelos o los patrones, explícitos o implícitos, a través de los cuales la misma sociedad regula el comportamiento de la población que la conforma; a continuación se presentan los datos y análisis de la información socioeconómica recabada de los Conteos y Censos de Población y Vivienda del INEGI 2005 y 2010, respectivamente.

### c) Aspectos demográficos

*Población total.* La participación poblacional que ha tenido Villa Guerrero ante el Estado de México ha sido relativa y en términos de crecimiento ha sido casi constante. Se tiene que durante el quinquenio del 2005 hacia el 2010 el municipio aumento en casi 8 mil habitantes. El 48.83% la misma correspondía a hombres y el 51.17% restante a mujeres (Cuadro X).

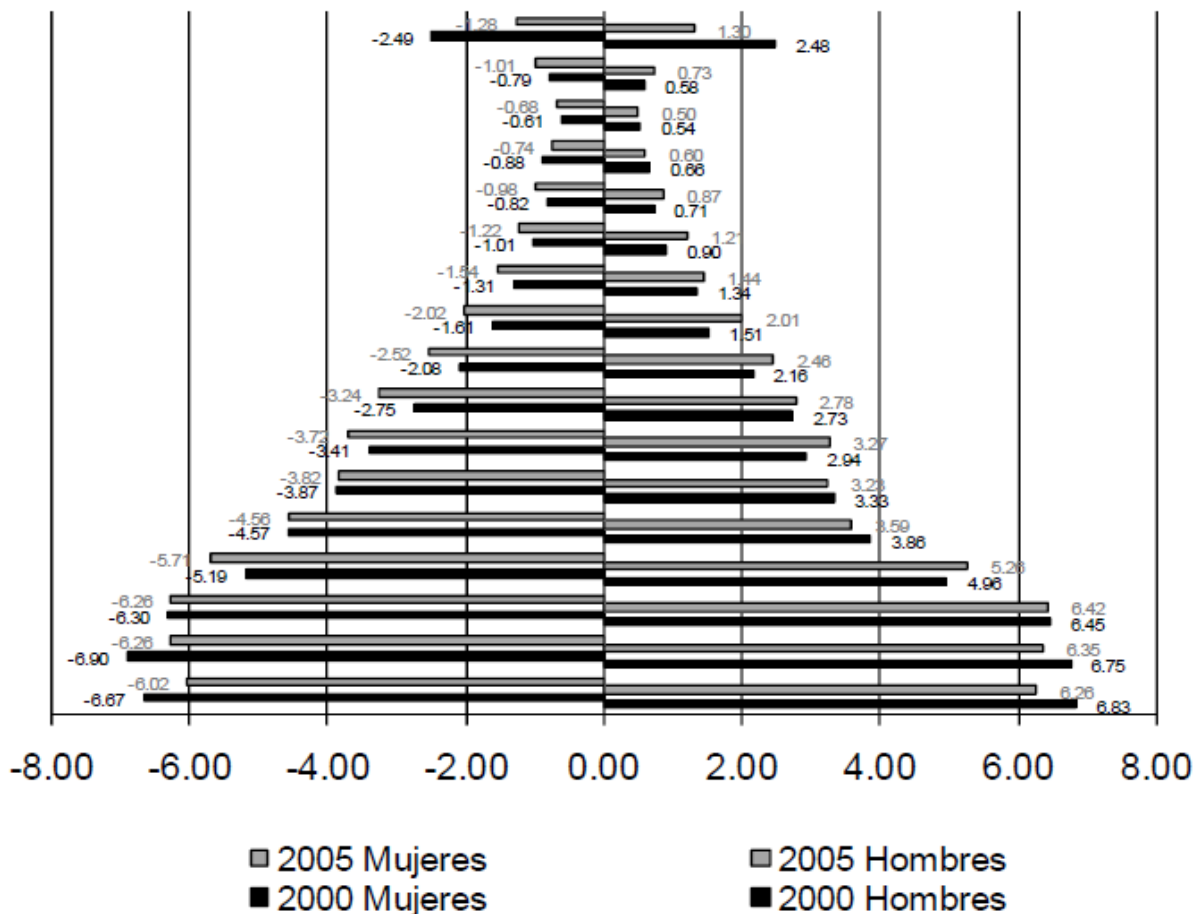
Por tanto se puede apreciar un menor índice de masculinidad lo que determina entre otros aspectos, en el tipo de actividades desarrolladas o en la jefatura femenina en el hogar, por ejemplo.

**Cuadro X. Distribución de la población por género, Villa Guerrero, 2005-2010 (Mociño y otros, 2011).**

Ámbito territorial	Población por sexo – habitantes					
	Total	2005		Total	2010	
		Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres
Estado de México	14,007,495	6,832,822	7,174,673	15,175,862	7,396,986	7,778,876
Municipio de Villa Guerrero	52,090	25,150	26,940	59,991	29,293	30,698
Cabecera municipal	8,437	3,935	4,502	9,509	4,494	5,015
Coxcacoaco	671	328	343	749	358	391
La Joya	1,153	536	617	1,533	670	726
San Mateo Coapexco	2,688	1,294	1,394	2,965	741	792

*Estructura de la población.* Por otra parte, la población municipal por segmento de edad ha tenido pocos cambios desde el año 2005, sin embargo, ello no implica la ausencia del proceso de transición demográfica, el 55.44% de la población estaba contenida en el rango de edad de 15 a 26 años, lo que entre otras cosas representa un importante acceso de desarrollo ya que ésta se convierte en la principal fuerza productiva municipal; el 37.73% lo ocupan los habitantes de 0 a 14 años y un 4.26% mayores a 64 años de edad.

Esto se ve traducido en que Villa Guerrero es una entidad esencialmente joven, la cual requiere de oportunidades de trabajo y demanda tanto vivienda, infraestructura y servicios públicos. La pirámide de población en la Figura 29 ejemplifica su tipo progresivo, es decir, de base ancha y cima pequeña, debido a que la concentración de la población se encuentra en los habitantes jóvenes e infantiles y por el lado contrario, existe un poco cantidad de habitantes en edad adulta o en senectud.



**Fig. 29. Estructura poblacional del municipio de Villa Guerrero, 2000-2005 (Mociño y otros, 2011).**

*Tasa de crecimiento.* La población se ha venido desarrollando con una tasa de crecimiento anual de alrededor 3.37%.

*Densidad de población.* Misma que se ha establecido en un territorio total de 20 mil 772.58 ha y distribuidas en una densidad de población de 187 km<sup>2</sup>.

*Población urbana y rural.* Bajo las cifras anteriores de población, el GEM (2004b) considera al municipio como una ciudad urbana, conformada por una Cabecera Municipal y 49 localidades.

Siendo 10 las principales con una población superior a mil 500 habitantes. Además éste ha incrementado su área urbana de manera proporcional, en 1970, ésta era de 366.09 ha y para el 2000 aumentó hasta de 959.34 ha.

Pese a que la mayor parte de las localidades que conforman el municipio tienen menos de 2 mil habitantes, las localidades con mayor número de habitantes son Santiago Oxtotitlán, Zacango, San Francisco, San Mateo Coapexco y la Cabecera municipal principalmente (15.82%), el resto de la población se esparce en 35 localidades con menor número de habitantes, como se ejemplifica en el Cuadro XI.

**Cuadro XI. Distribución de la población por localidad, Villa Guerrero 2010 (Mociño y otros, 2011)**

Localidad	Número de habitantes	Porcentaje
Buenvista	2,496	4.16
San Bartolomé (San Bartolo)	2,378	3.96
San Francisco	3,165	5.28
San José	2,013	3.36
San Mateo Coapexco	2,965	4.94
Santa María Aranzazú (Santa María)	2,633	4.39
Santiago Oxtotitlán	3,853	6.42
Villa Guerrero	9,509	15.85
Zacango	3,586	5.98
Localidades menores a 2000 habitantes (35 asentamientos)	27,393	45.66
<b>Total Municipal</b>	<b>59,991</b>	<b>100.00</b>

*Migración.* La migración se define como el desplazamiento de personas que cambian su residencia habitual desde una unidad político-administrativa hacia otra, o que se mudan de un país a otro, en un periodo determinado.

La situación que se presenta en este rubro a nivel municipal, ha sido determinada en cierta manera por la naturaleza de la estructura económica, la cual como ya se ha mencionado antes, está orientada a la agricultura y un poco al sector comercial y de servicios, si bien las actividades agropecuarias han tenido un impulso por la inversión en infraestructura y procesos productivos (siembra y cosecha) este no ha generado completamente el valor agregado suficiente como para que la población se vea beneficiada.

El Cuadro XII muestra la condición de residencia de la población municipal, de las 52 mil 619 personas mayores de 5 años este concentra al 95.85% en la entidad. Para en caso de Coxacoaco mantiene al total de su población original y San Mateo Coapexco es la localidad que ha perdido a un 4.52% de la misma.

Aunque se puede ver que la estructura demográfica es estable en cuanto al nivel de natalidad y mortalidad recuperando a los habitantes que salen del municipio y así haciendo del mismo una entidad joven con la suficiente fuerza productiva; no obstante, es necesario reforzar el apoyo para los agricultores y con ello disminuir al máximo los índices de migración.

**Cuadro XII. Población según condición de residencia, Villa Guerrero 2010 (Mociño y otros, 2011).**

Entidad territorial	Población total de 5 años y más	En la entidad	En otra entidad
Estado de México	13,562,702	12,843,671	583,607
Villa Guerrero	52,619	50,440	465
Cabecera municipal	8,475	8,193	143
Coxacoaco	657	646	30
La Joya	1,239	1,201	4
San Mateo Coapexco	2,567	2,451	24

*Equipamiento para la Salud y Asistencia.* La salud es un elemento de mucha importancia para el desarrollo de las actividades que mantiene el municipio de Villa Guerrero, que además de prestar servicios productivos también necesitan mantener oportunidades de servicios preventivos. Las enfermedades más comunes dentro del mismo municipio son de tipo respiratorias, de la piel e intestinales, causadas principalmente por las propias actividades laborales. En este sentido se presentan tres instituciones de salud: ISEM e IMSS y servicios médicos particulares. En el primer caso se tienen 8 unidades médicas de primer nivel, hay 13 médicos y 14 enfermeras, 2 unidades odontológicas, 13 de obstetricia, 3 cunas, 2 unidades de urgencias (GEM, 2004b).

*Equipamiento Educativo y de Cultura.* Con respecto al tipo de equipamiento educativo se tiene una cobertura de los niveles escolares básicos ya que el municipio cuenta con escuelas preescolares, primarias, secundarias, bachillerato, manteniendo una cobertura considerable. Sin embargo, se observa una carencia de equipamientos culturales, teniendo adicionalmente sólo una Casa de Cultura en la Cabecera Municipal y dos bibliotecas, una en La Casa de Cultura de la Cabecera Municipal y otra en Totolmajac, además de tener sólo un museo que pertenece a la escuela primaria Alfredo del Mazo ubicada en la cabecera Municipal (GEM, 2004b).

#### **d) Aspectos económicos**

*Población Económicamente Activa (PEA) e Inactiva (PEI).* Por otro lado, en lo que respecta a las principales actividades económicas que sustentan a la población, es notable que el municipio se está diversificado en sus sectores de especialización, es decir, la Cabecera Municipal se caracteriza principalmente por ocuparse en el sector terciario, pero las localidades aledañas se ubican en el sector primario.

Para el año 2010 Villa Guerrero contaba con casi 25 mil personas económicamente activas, de las cuales 69.97% estaban ocupadas; y el resto consideradas como población económicamente inactiva. De las localidades en estudio, Coxcacoco y La Joya cuentan con un poco más del 40% de sus habitantes económicamente activos, San Mateo



Coapexco por su parte aunque es la localidad que más población tiene es también la menor porcentaje representa (Cuadro XIII).

**Cuadro XIII. Población de 15 años y más por condición de actividad, Villa Guerrero, 2010 (Mociño y otros, 2011)**

Entidad	Población total	PEA			PEI Total
		Total	Ocupados	Desocupados	
Estado de México	15,175,862	6,124,813	5,814,548	310,265	5,287,459
Villa Guerrero	59,991	24,860	17,396	7,464	17,514
Cabecera municipal	9,509	4,318	2,647	1,671	2,738
Coxcacoaco	749	315	229	86	238
La Joya	1,533	614	391	223	395
San Mateo Coapexco	2,965	1,082	839	243	967

Es importante resaltar como casi la mitad de población en edad de trabajar está inactiva; es necesario impulsar las oportunidades de empleo y mejorar los salarios ya que al contar con una estructura poblacional municipal joven se deberían contemplar al mismo tiempo importantes posibilidades para el desarrollo económico de la misma.

La principal actividad que desempeño la PEA según INEGI (2005) fue en el sector primario con un 72.52%, seguido por el sector terciario con 18.75% el sector secundario, presenta una menor proporción con 6.21% El comportamiento de la PEA del municipio con respecto a la estatal, muestra una dinámica muy diferente, mientras que el estado tiende hacia una tercerización, el municipio basa sus actividades en el sector primario, básicamente en la producción de flores.

*Población Económicamente Activa por Sector de Actividad.* La ubicación geográfica de Villa Guerrero, así como su potencial de recursos naturales ha configurado una actividad agrícola creciente, orientada fundamentalmente durante la última década a la producción de flor altamente especializada, para el mercado regional, nacional y de exportación. En el censo ejidal y ganadero se tienen identificadas 4 mil 294 unidades de producción

agropecuaria, que destinan su superficie a la producción de flor, legumbres cereales, frutas y forrajes (GEM, 2004b).

El municipio de Villa Guerrero se ubica en la Región XI; dentro de ésta, la participación de las actividades económicas del municipio es la más relevante, con respecto a la región. Se puede determinar que en el sector primario, destaca la agricultura y en gran medida la floricultura que se ha desarrollado por vocación natural, porque tiene la superficie con las características para desarrollar esta actividad, así como por estar situado en una zona que a nivel regional y estatal ha tenido el impulso para desarrollar esta actividad económica. No obstante, las actividades económicas que se han desarrollado en Villa Guerrero en el sector industrial o sector secundario, se concentran en empresas pequeñas y de tipo familiar, como es el caso de productos como el pan, tortillas y nixtamal. Dejando entre ver que el sector terciario está conformado por los servicios y comercio que ofrece el municipio, proliferan los establecimientos comerciales que venden alimentos, bebidas al detalle y al por mayor, así como diversos productos como muebles, refaccionarias, papelerías, etc. Los servicios restantes se resumen en restaurantes, bares, talleres automotrices, servicios administrativos como cibercafés servicios profesionales como médicos y jurídicos. Es importante mencionar que entre los municipios de Tenancingo y Villa Guerrero han funcionado como un centro de intercambio comercial para los municipios de Malinalco, Joquicingo y Zumpahuacán.

*Niveles de Ingreso.* Las actividades económicas que sostienen a la población han permitido que el municipio tenga una relevancia a nivel estatal y nacional, sin embargo, la remuneración económica para la misma tal vez no sea la esperada; hasta el año 2000 se tenía que el 48.12% de la PEA ocupada recibía de 1 a 2 vsm, lo que claramente demuestra que no se tiene el nivel de ingreso necesario. En segundo lugar está dentro del rango de 2 a 5 vsm con 19.30%, el resto de la población en menos de un salario o sin ingresos. El Cuadro XIV clasifica los ingresos recibidos por la población municipal en comparación con el Estado de México.

**Cuadro XIV. Niveles de ingreso, Villa Guerrero, 2000 (Mociño y otros, 2011)**

Grupo de ingreso	Municipio de Villa Guerrero		Estado de México	
	PEA ocupada	Porcentaje	PEA ocupada	Porcentaje
Sin ingresos	1,834	11.41	205,347	4.60
Menos de 1 S.M.	1,833	11.40	407,790	9.14
De 1 a 2 V.S.M.	7,735	48.12	1,591,736	35.67
De 2 a 5 V.S.M.	3,103	19.30	1,483,080	33.24
De 5 a 10 V.S.M.	372	2.31	339,031	7.60
Más de 10 V.S.M.	155	0.96	155,161	3.48
No especificado	1,044	6.49	280,216	6.28
Total	16,076	100.00	4,462,361	100.00

*Tenencia de la tierra.* En el municipio se encuentra dividida la tenencia de la tierra, por 1 mil 058 ha ejidales, 6 mil 727 ha comunales y 12 mil 988 ha son de propiedad privada, predominando así terrenos correspondientes al régimen de propiedad privada pero que se encuentran fraccionados en pequeñas parcelas. De acuerdo a la monografía, el municipio es el primer lugar nacional en número de pequeñas propiedades; los ejidos existentes están en litigio por resolver con otros municipios.

#### **MATERIAL Y METODOLOGÍA (continuación).**

##### **1. VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS DEL MODELO PESTAN.**

- a. Se efectuó la capacitación teórica y práctica en el programa PESTAN con el fin de generar las habilidades requeridas para el uso del software.
- b. Se verificó la correcta instalación del software en el ordenador, la operación del mismo y el desempeño con base en manual de operación del programador. Debido a la versión de PESTAN empleada (obtenida directamente de la página oficial de EPA), fueron requeridos la instalación y el uso de un emulador de Windows compatible para asegurar la operación correcta del programa.
- c. Se realizó una revisión documental con el fin de determinar los parámetros analíticos que se encuentran reportados en literatura para ser empleados durante la

modelación. La información referente a características fisicoquímicas del suelo fueron obtenidas de ICAMEX y de investigación previa por parte de Sánchez, (2009); así como también los valores de los parámetros de los plaguicidas fueron desarrollados con información de la base de datos integrada por el Departamento de Farmacia de la Facultad de Química (ver Anexos 1-5).

## 2. ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS EMPLEADAS DE PLAGUICIDAS Y SUS TIPOS.

d. Se recopiló la información relacionada con las cantidades empleadas con base en revisión de investigaciones generadas en el Departamento de Farmacia de la UAEM. La información fue obtenida a partir de un cuestionario diseñado como instrumento para la recolección de información de las cargas aplicadas en los terrenos de cultivo por los floricultores e ingresada a la base de datos del proyecto. Se seleccionaron los plaguicidas (sustancias activas) de mayor relevancia, correspondiendo a cinco productos de importancia ambiental y toxicológica, debido a su común y frecuente empleo: Mancozeb, Metomilo, Carbendazim, Carbofurano y Dimetoato (Cuadro XV)

**Cuadro XV. Cantidades aplicadas estimadas de plaguicidas.**

Plaguicida	Grupo	Cantidad aplicada estimada (Kg/ha/año)		
		Área estudio (0.21 ha*)	San Mateo Coapexco (70.0 ha*)	Villa Guerrero (307.3 ha*)
Carbendazim	CA	0.24	80.01	351.19
Carbofurano	CA	0.51	170.01	746.27
Dimetoato	OF	1.94	646.72	2838.77
Mancozeb	CA	0.73	243.35	1068.19
Metomilo	CA	0.43	143.35	629.21
CA= Carbamato; OF= Organofosforado				
* Superficie estimada de cultivo para la producción de <i>Gerbera jamesonii</i> con base en PDMVG (2009).				

e. Se analizó la información de los productores registrados ante ICAMEX reportados en investigaciones previas con los productores identificados para el estudio y se contrastó contra la información documental obtenida.

- f. Se seleccionó el área de estudio con base en reportes de investigación previos (Sánchez, 2009), donde se delimitó el terreno de cultivo florícola correspondiente a *Gerbera jamesonii*, con una superficie de 0.21 ha; se obtuvieron datos correspondientes a 12 puntos de muestreo.
3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL TERRERO DE ESTUDIO.
- g. Se verificaron y contrastaron las características fisicoquímicas del terreno con los datos disponibles de ICAMEX y de Sánchez J., (2009) sobre textura del suelo y minerales.
4. INTEGRACIÓN DE LAS VARIABLES PARA LA MODELACIÓN.
- h. Se ingresó la información obtenida correspondiente a cada uno de los plaguicidas a la plataforma PESTAN para la generación de cada escenario (ver Anexos 1-5)
5. REALIZACIÓN DEL DISEÑO DE ESCENARIOS.
- i. Se diseñaron escenarios para la zona de estudio (con 0.21 ha de superficie y se realizó la modelación para cada uno de los plaguicidas con el fin de obtener los datos de las concentraciones estimadas de los mismos (en ppb) a 30.0 y 60.0 cm de profundidad (esta distancia abarca la zona saturada o de vadosa del suelo en estudio, siendo de importancia debido a que si el plaguicida es capaz de atravesar esta barrera natural se presenta alta posibilidad de lixiviación a estratos más profundos); el valor para la recarga del suelo: 0.014184 cm/h.
- j. Se generaron escenarios para 100.0 y 300.0 días de simulación de transporte de los plaguicidas a través del suelo asumiendo estos periodos como un solo ciclo anual de cultivo, después de la aplicación única (estableciendo el día 001 como el único de la aplicación del total de la carga de los plaguicidas).
- k. Se modelaron escenarios alternos (bajo las mismas características fisicoquímicas de los plaguicidas y del suelo, solo variando las cargas aplicadas y la superficie de cultivo de acuerdo con en el Cuadro XV) y con base en la información se realizó un

ejercicio de escalamiento teórico dando lugar a modelaciones para la superficie estimada de cultivo de *Gerbera jamesonii*, tanto para la población de San Mateo Coapexco (70.0 ha de cultivo) y a su vez para el municipio de Villa Guerrero (307.3 ha de cultivo).

l. Se ajustaron los modelos con base en los perfiles de plaguicida obtenidos para cada escenario.

m. Se integraron los resultados a cuadros de reporte.

n. Se obtuvieron gráficos de la plataforma de PESTAN (representación de concentraciones estimadas de cada plaguicida y variación de la masa de lixiviado total de cada plaguicida (Kg) contra tiempo (días) a 30.0 y 60.0 cm).

## 6. DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

o. Se reunieron los datos cartográficos correspondientes a la zona de estudio (mapas en escala 1:50000)

p. Se caracterizaron los mapas identificándolos con la información de la zona y se capturó la información de los perfiles de los plaguicidas obtenidos en PESTAN en la base de ArcGIS.

q. Se unió y relacionó la información de la base de datos de los perfiles obtenidos con las proyecciones cartográficas para generar la representación espacial de la información.

## 7. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y RESULTADOS.

r. Se realizó la verificación de la información obtenida con el fin de establecer la correlación entre los perfiles de los plaguicidas estudiados, las características fisicoquímicas del terreno y la información cartográfica.

## 8. APLICACIÓN DE HERRAMIENTA.

s. Se generaron mapas conteniendo datos de concentraciones de plaguicidas estimadas por PESTAN.



## RESULTADOS.

A continuación se presenta **el artículo de investigación** generado a partir de la presente investigación en el cuál se interpretan los resultados analíticos obtenidos mediante la aplicación del modelo generado en PESTAN. Así mismo, se describe el método utilizado para llevar a cabo el desarrollo de la herramienta y la integración del SIG.

### Envío

Autores	ALDO VELÁZQUEZ ZEPEDA, JUAN CARLOS SÁNCHEZ MEZA, SALVADOR ADAME MARTÍNEZ, ARACELI AMAYA CHÁVEZ, EDUARDO CEJUDO ESPINOSA	
Título	INTEGRACIÓN DE UN SIG CON DATOS GENERADOS A PARTIR DEL USO DE UN MODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN DE LA PREDICCIÓN DEL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS PLAGUICIDAS.	
Fichero original	32854-73917-1-SM.DOC 2012-08-07	
Archivo ad.	Ninguno	<a href="#">AÑADIR ARCHIVO ADICIONAL</a>
Remitente	QFB. ALDO VELAZQUEZ ZEPEDA 	
Fecha de envío	August 7, 2012 - 11:03 PM	
Sección	ARTÍCULOS	
Editor/a	Claudio Amescua García 	
Comentarios autor/a	Revisores:  M. en C. Paula Alejandrina Gamboa Suárez. <b>Instituto de Salud del Estado de México.</b> pags_17@hotmail.com  M. en C. Jorge Paredes Tavares  Centro Interamericano de Recursos del Agua jorge.paredes.tavares@gmail.com	

### Estado

Estado	En revisión
Iniciado	2012-08-07
Última modificación	2012-08-07



---

## **INTEGRACIÓN DE UN SIG CON DATOS GENERADOS A PARTIR DEL USO DE UN MODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN DE LA PREDICCIÓN DEL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS PLAGUICIDAS.**

Aldo VELÁZQUEZ ZEPEDA, Juan Carlos SÁNCHEZ MEZA, Salvador ADAME MARTÍNEZ, Araceli AMAYA CHÁVEZ, Eduardo CEJUDO ESPINOSA.

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Programa de Maestría en Ciencias Ambientales. Prevención, control y efectos de la contaminación ambiental. Paseo Tollocan esquina con Paseo Colón, Código Postal 50180, Toluca, México. Correo electrónico: aldovz1@hotmail.com

Palabras clave: plaguicida, SIG, transporte sustancias, lixiviación, modelo.

### **RESUMEN**

Actualmente, uno de los problemas más preocupantes relativos a la contaminación del suelo y agua subterránea en terrenos florícolas es el uso no controlado de plaguicidas. El riesgo en su uso requiere de un análisis integral del impacto que estos compuestos producen sobre la salud humana y el ambiente. A partir de un estudio exploratorio desarrollado en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), basado en la estimación de los índices de riesgo sobre el ambiente de los grupos de plaguicidas más ampliamente usados en la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México, se generó información necesaria para la presente investigación, al tiempo de mostrar las deficiencias en el conocimiento actual sobre índices de riesgo y la potencial aplicación interdisciplinaria para resolver dicha problemática.

El presente trabajo se enfoca en la integración de un sistema de información geográfica (SIG) que permita y favorezca la adecuada toma de decisiones para la determinación de las zonas florícolas vulnerables a la migración de plaguicidas organofosforados y

carbámicos, mediante el uso de un modelo de simulación de estimación del transporte de sustancias orgánicas a través del suelo, desarrollado en la plataforma del software PESTAN (Pesticide Analytical) mediante la integración de la base de datos requerida para la simulación, con base en la información preliminar sobre la caracterización de suelos de la zona, un análisis de las variables que se incluyen en el modelo y la identificación de las propiedades ecotoxicológicas y fisicoquímicas relevantes de los plaguicidas empleados. Una vez que un perfil de concentración de sustancias dentro del suelo fue obtenido como producto de la simulación, se generó una representación espacial (ArcGis) de los áreas de cultivo vulnerables a la lixiviación de los plaguicidas incluidos para su análisis y datos de respaldo sobre información relacionada con cargas empleadas durante las jornadas de fumigación, productos más comúnmente empleados y su rotación.

## ABSTRACT

Key words: pesticide, GIS, substance transport, leaching, model.

Nowadays, one of the problems that concern the most about soil contamination in flower fields is the uncontrolled use of pesticides. The inherent risk in its use requires a comprehensive analysis of the impact these compounds have on human health and the environment. Based upon an exploratory study developed in the Faculty of Chemistry, UAEMex that estimated the risk to the environment of the more widely used pesticides in Villa Guerrero; (State of Mexico) it was noticed the lack of information about risk indexes and the multidisciplinary approach to solve such problematic.

The present work focuses on the generation of a geographic information system that allows and encourages the taking of decisions required for the determination of flower areas vulnerable to the migration of organophosphorus pesticides and carbamate compounds, using a simulation model estimation of the transport of organic substances through the soil, developed on the software platform PESTAN (Pesticide Analytical). Once a profile of concentration of substances into the soil has been obtained as result of the simulation, there will be the entry of this data to a GIS software developed ArgGIS to generate a spatial representation of the areas crop vulnerable to leaching of compounds including pesticides for analysis and supporting data on charges related information used during the days of spraying, most commonly used products and their rotation.

Database required for simulation PESTAN, with preliminary information on the characterization of soils in the area, an analysis of the variables included in the model and the identification of relevant physico-chemical and ecotoxicological properties of pesticides employed was built. A geographic information system it is been Currently integrated, based on data obtained from the simulation and data related to floriculture activities in the area, such as types of pesticides used, loads of agrochemicals, soil types and uses of the area, pests commonly reported and removed from the cultures.

---

## INTRODUCCIÓN

La investigación que aquí se presenta forma parte de un plan integral cuyo fin es el de desarrollar un SIG que permita la determinación de las áreas de cultivo florícola que favorecen a la migración de plaguicidas organofosforados y carbámicos, haciendo uso de una base de datos predictivos generados por el modelo de simulación de lixiviación PESTAN en la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México. Si bien estos grupos de plaguicidas se consideran menos persistentes que otros grupos como los organoclorados (Sánchez, 2010), no se cuenta hasta el momento en la zona, con información sobre las cargas aplicadas de estos productos, el destino y transporte de los mismos y su repercusión sobre organismos *no blanco*. Para determinar el riesgo que representan para el ambiente y la salud de las comunidades, con el propósito de orientar acciones para su manejo adecuado y evaluar a su vez el grado de vulnerabilidad de los terrenos a ser afectados, con la finalidad de prevenir incremento en los daños, este estudio identifica e integra una metodología de evaluación de la vulnerabilidad de los terrenos, derivado del uso de plaguicidas organofosforados y carbámicos mediante el uso de un programa de simulación de la lixiviación y el empleo de métodos geoestadísticos para determinar la distribución espacial de las concentraciones ambientales estimadas de estas sustancias.

La actividad florícola representa una alternativa económica compleja para la comunidad de San Mateo Coapexco, en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México, que requiere un análisis cuidadoso en relación con otros aspectos, de índole social y el ambiental, resaltando la necesidad de contar con métodos de análisis para identificar y cuantificar las concentraciones de los plaguicidas empleados en el cultivo de flor y conocer su distribución en la zona y la posibilidad de transporte o migración través del suelo o del agua y con ello prevenir posibles riesgos a la salud humana y al ambiente.

Se aborda la problemática del uso de los compuestos plaguicidas no solo del punto de vista químico, sino que se enfoca también en su impacto social y ambiental, incluyendo los beneficios económicos, de salud ocupacional al ser herramienta para una futura planeación territorial y sentar las base de futuras investigaciones relacionadas.

El suelo se define como “la capa más superficial de la superficie terrestre, de donde los animales y el hombre obtienen sus alimentos y las plantas, sus nutrimentos” (Solís L. 2003). El suelo es un recurso natural, localizado en la superficie de la tierra, integrado por una amplia gama de elementos físicos y biológicos que determinan sus características y su potencial empleo, habitacional, recreativo, forestal, agrícola, pecuario, etc. Consecuentemente, puede aceptarse que el suelo es un agente trascendental en la descomposición y filtración de productos de desecho, vegetales y animales, aun de aquellos que, por su naturaleza química, son potencialmente tóxicos. (Pieri, 1995; Solís *et al*, 2003).

Entre los insumos químicos empleados para la producción agropecuaria, que más afectan el funcionamiento de los ecosistemas se encuentran a los plaguicidas, así como nutrientes limitantes (como nitrógeno, fósforo) y agua (Solís *et al*, 2003). La exposición de un organismo a un contaminante no solo depende de la cantidad que se libera y las diferentes vías que sigue para entrar en contacto con el organismo, también depende de muchas otras variables físicas y químicas, las cuales pueden a su vez ser afectadas y con ello modificar el micro ambiente donde se encuentra el organismo, (Moriarty, 1999). Es por ello que resulta importante conocer la especie química que entra en contacto con el organismo, las formas de estas especies químicas presentes en el medio y las fracciones que pueden ser analizadas (Solís *et al*, 2003).

Su comportamiento en el ambiente está determinado fundamentalmente por sus propiedades fisicoquímicas que son características de cada sustancia y por las del medio en el cual se encuentra presente (Sánchez, 2009). Ello determina su movilidad y la posibilidad de entrar en contacto con diferentes organismos de un ecosistema y producir

en ellos algún efecto adverso. La movilidad de una sustancia en el medio depende de tres factores importantes: la distribución de la sustancia en la matriz (agua, aire o suelo) y en las interfases que entre ellos se puedan formar, por ejemplo agua-suelo (sedimento), o aire-suelo; el transporte de la sustancia a través de los diferentes medios y las diferentes transformaciones que pueden ocurrir, previo a que la sustancia entre en contacto con un organismo, ocasionadas por reacciones químicas como la hidrólisis, oxido-reducción, la fotólisis o bien por la transformación microbiana de estas sustancias.

Con base en lo anterior, es necesario conocer la distribución de las sustancias en la zona de San Mateo Coapexco debido a su caracterización previa en investigaciones y su importancia como centro de producción florícola, así como también por el uso de grandes volúmenes de plaguicidas relacionados con esta práctica, y la posibilidad del transporte o migración de los mismos a través del suelo o del agua y con ello prevenir posibles riesgos a la salud humana y al ambiente, tomando en consideración la dispersión de las sustancias en el suelo, se incluyen los siguientes aspectos (Solís *et al*, 2003):

- a. La adsorción, acumulación, descomposición y eliminación de sustancias por plantas, animales y particularmente microorganismos.
- b. El transporte y acumulación de contaminantes en productos agrícolas, como alimentos.
- c. La adsorción de sustancias (componentes líquidos y gaseosos) sobre partículas del suelo.
- d. Intercambio de sustancias entre el suelo y la atmósfera (evaporación de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas de la superficie del suelo hacia la atmósfera)
- e. El movimiento de sustancias por disolución y arrastre en la litósfera por acción del agua.

- f. El movimiento de sustancias en las capas del suelo (en forma líquida y gaseosa) horizontal y vertical por acción de la capilaridad.
- g. Conversión química y fotolítica de sustancias en la superficie y en el interior del suelo.

Las sustancias que se incorporan al ambiente y que pueden ocasionar efectos adversos sobre los ecosistemas, se clasifican de diferentes formas (Connel, 1999; Solís *et al*, 2003):

- h. Efecto toxico: carcinógenos, teratógenos.
- i. Estructura química: organofosforados, bifenilos policlorados, metales pesados, piretroides, organoclorados.
- j. Propiedades fisicoquímicas: lipofílicos, hidrofílicos, surfactantes.

Las interacción que se lleva a cabo entre las sustancias y el medio de depósito o destino se ve influenciado por las características fisicoquímicas de ambos elementos (reactivo y reactor), por lo que las características del ambiente de depósito son decisivas para el destino final de los compuestos. Esto es, objeto de estudio de la Ecotoxicología.

Los plaguicidas comprenden un grupo amplio de sustancias tóxicas que han sido diseñadas con el propósito de controlar o erradicar diferentes tipos de organismos que producen efectos nocivos sobre las plantas y animales de utilidad para el hombre, las cuales en términos genéricos les denominamos plagas (Albert, 2005).

De acuerdo al tipo de plaga al cual están dirigidas, estas sustancias reciben el nombre de insecticidas, acaricidas, fungicidas, herbicidas, alguicidas, avicidas, raticidas, nematocidas, fumigantes, etc. Existen alrededor de 928 formulaciones y 241 productos técnicos registrados en nuestro país, con una diversidad de usos entre los cuales destacan su aplicación en la agricultura, en el control de los vectores de enfermedades y para plagas que infestan los bosques (Sánchez, 2010).

Según los datos disponibles (INEGI-SEMARNAP, 1998), actualmente las regiones con mayor uso de plaguicidas son: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco-Nayarit-Colima, Sonora-Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México y Puebla-Oaxaca. Se calcula que en ellas se aplica el 80 % de total de plaguicidas usados en el país, lo que comprueba que el uso de plaguicidas tiene una fuerte concentración en algunas regiones y cultivos (INEGI, 1998).

El cultivo de flores se desarrolla de manera sobresaliente en la zona centro sur del Estado de México, principalmente en los municipios de Tenancingo, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Tonicato, Zumpahuacan, Malinalco y Villa Guerrero. El 56% de la producción florícola estatal es generado solamente por Villa Guerrero (**Figura 2**). (Sánchez, 2010). Durante el año 2006, se exportaron 19,822.3 toneladas de flores y capullos frescos, representando un monto de 44.8 millones de dólares, lo cual significó un incremento del 146% con respecto al valor de las exportaciones del año 2005 en el Estado de México (INEGI, 1998; Secretaría de Economía, 2007).

De acuerdo con información del Instituto de Salud del Estado de México, en el periodo de 1993 a 2002 se registraron 739 casos de intoxicación en el Estado de México, de ellos el 48.9% (362 casos clínicos) se ubicaron en la Jurisdicción de Tenancingo, la cual abarca a los principales municipios productores de flor. La tasa promedio más elevada de mortalidad atribuible a intoxicación por plaguicidas se registro en el año de 1995 con un valor de 4.4 casos por cada 100,000 habitantes y un total de 13 muertes para ese año (ISEM, 2006). Así mismo, existen varias investigaciones desarrolladas con el fin de determinar el daño relacionado con la exposición crónica a plaguicidas. Los organofosforados de uso común y los plaguicidas organoclorados inhiben la acetilcolinesterasa en las sinapsis en los sistemas somático, autónomo y nervioso central, por lo tanto pueden tener efectos duraderos en el sistema nervioso. La exposición puede aumentar el riesgo de demencia y enfermedad de Alzheimer en la vejez (Hayden, 2010). Los pesticidas organofosforados podrían actuar como disruptores endócrinos en los seres humanos (Blanco-Muñoz, 2010). La exposición crónica a



plaguicidas produce daño en el Ácido Desoxirribonucleico (ADN) de floricultores (Castillo, 2005). Así mismo, estas observaciones sugieren un incremento en la tasa de características atípicas de la placenta, que podría estar relacionado con cambios en la biología feto y algunos signos de hipoxia (Levario, 2001).

Con el SIG se pueden combinar y asociar elementos cartográficos que permiten realizar inferencias causales, relaciones, y tendencias. Los SIG proporcionan las herramientas necesarias para analizar modelos, localizar eventos, medir cuán distante están dichos eventos, encontrar la mejor manera de llegar a un destino y explorar como los problemas se relacionan con los demás. Permite que las personas que utilicen esta tecnología se concentren en lo más importante: balancear las posibles alternativas y favorecer a la toma de decisiones (SDSPA, 2001 y Crossier, 2002).

El desarrollo de modelos de adsorción y de transporte de contaminantes en el suelo en particular de los plaguicidas, debe permitir realizar predicciones precisas acerca del comportamiento de estos componentes y del riesgo de contaminación que de su vertido en el suelo puede derivarse. Para ello es necesario conocer inicialmente la carga de plaguicidas aplicados al suelo. El monitoreo de las concentraciones de plaguicidas en el medio resulta de gran importancia para identificar si se han alcanzado niveles que representen algún riesgo para la salud del hombre o de otros organismos. (Sánchez, 2010).

Es por ello que mecanismos tales como la infiltración resultan ser parámetros críticos a considerar dentro de este trabajo. La infiltración designa el proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través de la superficie del suelo, lo que constituye la primera etapa en el movimiento del agua en el suelo, favoreciendo así al proceso de lixiviación. Con el agua, penetran en el suelo las sustancias que lleve disueltas y en suspensión. Al iniciarse la lluvia, un riego o llegar una corriente de agua sobre un suelo seco, la entrada tendrá lugar en condiciones no saturadas, principalmente bajo la influencia de los gradientes de potencial matricial por diferencias en el contenido de agua y, en menor medida, de la gravedad. (Porta y otros, 1999).

El estudio de la infiltración tiene interés en:

- a) Proyectos de riego: transformaciones en el riego, selección de equipos de riego, manejo de agua de riego, determinación de la pluviometría del riego por aspersión.
- b) Estudios ambientales: Degradación de suelos por erosión hídrica: estudios sobre escorrentía, determinación del caudal de aguas residuales que es capaz de infiltrar un suelo, mejora de suelos afectados por salinidad y estudio del ciclo hidrológico.

PESTAN (Pesticide Analytical Model) estima el transporte de solutos orgánicos a través del suelo y el agua subterránea. El modelo se basa en una forma analítica cerrada de solución de la ecuación de transporte por convección-dispersión-reacción. El modelo fue desarrollado por Enfield en 1982 y desde entonces ha sido utilizado por la Oficina de la EPA (US Environmental Protection Agency) en el Programa de Plaguicidas (OPP) para las evaluaciones iniciales de selección del potencial de la contaminación de las aguas subterráneas (Varadhan, 2010).

Para evaluar la migración de un plaguicida a través del suelo, los modelos pueden abarcar representaciones conceptuales, físicas o matemáticas. Uno de los más conocidos y aplicados para identificar el potencial de lixiviación de plaguicidas requerido por algunos procedimientos para la autorización de su uso es el denominado Índice GUS (Groundwater Ubiquity Score) (Cohen *et al*, 1995; Sánchez, 2009), el cual considera para su determinación, propiedades tales como el coeficiente de partición orgánico ( $K_{oc}$ ) y la persistencia del plaguicida en el ambiente (o tiempo de vida media,  $t_{1/2}$ ), calculándose mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$GUS = \log (t_{1/2}) * [4 - \log (K_{oc})]$$

## MÉTODO

Villa Guerrero se ubica aproximadamente entre los 18° 34 y 19° 05 de latitud norte y los 99° 36 y 99° 46 de longitud occidental. Su extensión territorial abarca 267.8 kilómetros cuadrados. Su cabecera se sitúa a los 2,140 msnm. Su temperatura máxima es de 39°C y la mínima es de 2°C. Su temperatura media en el mes más frío es inferior a 13°C pero superior a -3°C, por lo que según el sistema de clasificación de Köppen se le puede considerar como del tipo CW. Su temperatura media anual, oscila alrededor de los 18.8°C. La precipitación promedio anual es de 1,242.53 mm. La vegetación se caracteriza por la presencia de bosque de pino, encino, mixto de pino-encino, oyamel, zacatón, pastizal alpino, vegetación arbustiva y herbácea. El municipio da origen en su territorio a numerosos arroyos y ríos que en su conjunto forman parte de la cuenca del Alto Balsas; destacan por su importancia el río Grande o Texcaltenco, el río Chiquito de Santa María, el río San Gaspar, el arroyo Los Tizantec, el Tequimilpa, el río Cruz Colorada o San Mateo y el río Calderón. El uso del suelo en el municipio se clasifica en: agrícola, ganadero, piscícola, forestal, aprovechamiento de recursos naturales, recreativo y turístico, CONAGUA (2002).

Las actividades desarrolladas en este trabajo se efectuaron en la comunidad de San Mateo Coapexco (**Fig. 2**), poblado perteneciente al municipio de Villa Guerrero. Se localiza a 10.5 km al noreste de la cabecera municipal, entre los ríos San Gaspar de 20 km de longitud y San Mateo de 9 km de largo; ambos ríos se unen para desembocar en el río Calderón con una extensión de 28 km, el cual finalmente se une al río Grande o Texcaltenco.

Se realizó la verificación de los parámetros operativos de ingreso que el modelo predictivo PESTAN requiere para la generación de los escenarios. La estimación de las cargas empleadas de sustancias y sus tipos fueron obtenidas a partir de estudios previos exploratorios por parte del Departamento de Farmacia de la Facultad de Química de la UAEMex (**Cuadro 1**), correspondiendo a cinco productos plaguicidas de importancia

ambiental y toxicológica, debido a su común y frecuente empleo: Mancozeb, Metomilo, Carbendazim, Carbofurano y Dimetoato.

Se realizó la evaluación de la información de las características fisicoquímicas del terrero de estudio (delimitado a una superficie de cultivo de *Gerbera jamesonii* correspondiente a 2056.0 m<sup>2</sup>, con doce puntos de muestreo) y se contrastó contra datos de campo obtenidos de la Facultad de Química. Se integraron las variables fisicoquímicas de las sustancias y del suelo para la modelación (**Cuadro 2**). Se obtuvieron los datos de las concentraciones estimadas de los plaguicidas (en ppb), bajo las siguientes condiciones: fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm) y profundo (30.0 – 60.0cm) de profundidad (esta distancia abarca la zona saturada o de vadosa del suelo en estudio); se generaron escenarios para 100.0 y 300.0 días de transporte (asignando el día 001 como el único de la aplicación del total de la carga de los plaguicidas, asumiendo este periodo como un solo ciclo de cultivo), recarga (velocidad de infiltración del agua en el suelo): 0.014cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso y se integraron los resultados a cuadros de reporte y se desarrolló la base de datos del sistema de información geográfica usando la plataforma del software ArcGIS 9.3.

## RESULTADOS

Una vez establecidos los escenarios a partir de los datos correspondientes a las características fisicoquímicas (**Cuadro 2**) de los plaguicidas y del suelo de cultivo, se obtuvieron las concentraciones estimadas de los plaguicidas expresadas en partes por billón (ppb) o microgramos sustancia activa/kilogramo de suelo aplicados en el área de cultivo de *Gerbera jamesonii*, usando el modelo de simulación PESTAN con los siguientes escenarios: a) Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso (**Cuadro 3**) y b) Fracción suelo superficial (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso (**Cuadro 4**), lo anterior con base en la premisa del modelo PESTAN de que si un compuesto es capaz de atravesar la barrera de la zona saturada (que

comprende de los 30.0 – 60.0 cm) el compuesto tendría alta probabilidad de migrar a mantos freáticos.

El **Cuadro 3** muestra los resultados correspondientes al escenario de concentraciones estimadas fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm) y el **Cuadro 4** a la fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), ambos con parámetros de recarga: 0.014 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

El programa PESTAN generó también una serie de gráficas para cada producto modelado, representando los cambios de concentración del plaguicida a diferentes profundidades y tiempo. A manera de ejemplo, la **figura 3** representa la masa de plaguicida Metomilo que ingresa, el total de salida y la masa remanente, expresado en (Kg).

Teniendo los datos de las concentraciones estimadas de plaguicida por medio de la predicción arrojada por el modelo PESTAN, se generaron escenarios geoestadísticos en la plataforma ArcGIS 9.3 para tener representación espacial de los datos, entre los que se incluyen: usos de suelo (**fig. 2**), tipos de suelo (**fig. 3**) y correlación entre los tipos de suelo y las concentraciones estimadas de los plaguicidas (**fig. 6**)

## DISCUSIÓN.

La simulación y los datos de concentraciones estimadas de los plaguicidas en estudio fueron obtenidos tomando en cuenta el desarrollo de la evaluación del riesgo ecotoxicológico basado en el uso de bioensayos de los compuestos plaguicidas realizado por el Departamento de Farmacia de la Facultad de Química de la UAEMex (Sánchez, 2010); así también los datos edafológicos nos indican una relación de la interacción entre los plaguicidas y el suelo, tomando como puntos de partida la recarga del suelo (con base en la precipitación anual promedio), la textura y la granulometría (con suelos predominantemente arcillosos) condicionando así la infiltración, el transporte y destino de los plaguicidas; se obtuvo una relación cercana a dichos comportamientos reportados en la literatura, (Porta *et al*, 1999).

Uno de los factores principales que controlan la magnitud del movimiento del agua en la infiltración es el porcentaje de arena, limo y arcilla en el suelo (Porta *et al*, 1999) de modo tal que las arenas gruesas ( $\leq 2$  mm) favorecen la infiltración ya que permiten la migración de agua con concentraciones elevadas de plaguicidas (en este caso para Metomilo), con lo que alcanzan profundidades mayores, incrementando el riesgo potencial de llegar a aguas subterráneas y posible contaminación del acuífero. El alto contenido arcilloso en los suelos estudiados indica una concentración mayor de plaguicidas en la superficie de las zonas muestreadas (incrementando su tiempo de permanencia en el exterior) debido a que el tamaño de partícula ( $\approx 100 \mu$ ) reduce la infiltración y así, el transporte de las sustancias (como con Mancozeb, que presenta el menor índice de lixiviación  $GUS=0.590$ ). Los suelos arcillosos de la zona de estudio tienen una mayor superficie activa, son de mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor área superficial, tienen un mayor espacio poroso total, poseen mayor capacidad de adsorción de nutrientes y usualmente son más fértiles que los suelos arenosos. La infiltración en suelos arcillosos se ve reducida y puede ser clasificada como muy lenta (suelos con capacidad de infiltración menor a 0.25 cm de lámina de agua por hora se clasifican como muy lentos). Los suelos arenosos son más porosos y permiten una más rápida infiltración del agua (Porta *et al*, 1999). De acuerdo con este índice, los plaguicidas pueden ser clasificados de la siguiente manera:

• Lixiviables	$GUS > 2.8$
• Intervalo de transición	$2.8 > GUS > 1.8$
• No lixiviables	$1.8 > GUS$

Con base en parámetros de evaluación del potencial de lixiviación, como el Índice GUS (Cohen *et al*, 1995; Sánchez, 2009) se tiene que Carbofurano, Metomilo y Dimetoato son los productos con alto índice de migración vertical (GUS 5.525, 3.511 y 2.455 respectivamente); Carbendazim es medianamente lixiviable (GUS 1.806) y Mancozeb presenta el menor índice de lixiviación (GUS 0.590).

Contrastando con los datos obtenidos por PESTAN en la presente investigación, se tiene que efectivamente las concentraciones mayores se encuentran a profundidades mayores para los productos con alto índice de lixiviación (como Metomilo) y correspondientemente bajas concentraciones de aquellos con índice de lixiviación menor (como Mancozeb), presentándose sus concentraciones mayores en la fracción superficial del suelo. El reporte de concentraciones estimadas con valores negativos o iguales a cero, indican que el plaguicida no alcanzó el nivel de profundidad de los rangos establecidos (0.0-30.0 y 30.0-60.0) por lo que la probabilidad de migración a estratos más profundos de suelo es baja. La interacción entre los plaguicidas y el suelo se ve afectada por la recarga, número e intensidad de eventos de lluvia y tipo de suelo a lo largo del tiempo. En los plazos establecidos de 100 y 300 días, las concentraciones de los plaguicidas alcanzan niveles significativos, como es el caso de Metomilo, Carbofurano y Dimetoato (Cuadros III y IV), tomando en consideración una sola aplicación anual de plaguicida como elemento condicionante de la modelación a las profundidades establecidas (30.0 y 60.0 cm), implicando así su posible migración a través de la zona saturada.

Los depósitos de agua de la zona en los dos principales valles cercanos a la zona de estudio (el de Coatepec de Harinas-Malinaltenango al occidente y el de Villa Guerrero-Progreso de Hidalgo al oriente) se encuentran cortados por valles fluviales con desniveles entre 70 y 100 metros de profundidad, en estos valles se descarga el agua captada pendiente arriba dando lugar a pequeños manantiales principalmente estacionales. Se alternan estratos o paquetes de rocas permeables de poco espesor con otros de baja a muy baja permeabilidad, se generan acuíferos de baja producción de tipo semiconfinado a confinado; el calificativo de acuíferos de baja capacidad queda de manifiesto por la presencia de numerosas norias y pocos pozos, en estos últimos los niveles del agua se encuentran entre 3 a 32 metros de profundidad, (CONAGUA, 2002); lo que implica que compuestos como el Carbofurano y el Dimetoato (que son altamente lixiviables) tengan alta probabilidad de alcanzar niveles significativos de profundidad y la posible contaminación del acuífero es alta, tomando en además en consideración que no son los únicos plaguicidas aplicados en la zona y que también, como propósito de esta

investigación, solo se asume un ciclo de cultivo anual, siendo que las actividades florícolas de la zona tienen efecto desde finales de la década de 1960.

### **CONCLUSIONES.**

- a. Las variables aplicables al modelo han sido verificadas con respecto a la literatura y se han incorporado a la base de datos del modelo de simulación PESTAN, lo que ha generado escenarios fidedignos y realistas relacionados con el transporte y posible destino de sustancias.
- b. Las cargas estimadas han sido confrontadas contra lo reportado en literatura y la variación entre dichos datos es poco significativa.
- c. Con base en parámetros de evaluación del potencial de lixiviación, como el Índice GUS, se tiene que: Carbofurano y Dimetoato son altamente lixiviables por lo que el riesgo de que alcancen niveles significativos de profundidad y la posible contaminación del acuífero es alta; Metomilo y Carbendazim pueden considerarse en estado de transición y finalmente Mancozeb como el menos lixiviable.
- d. La integración inicial del SIG ha demostrado ser una herramienta útil y robusta para el ingreso e interpretación de la información producida por el modelo PESTAN.
- e. Es requerida la determinación analítica de los plaguicidas tomando en cuenta las limitaciones propias del método analítico y su respectivo desarrollo, tales como son: limpieza, extracción y cuantificación de las muestras, así como también los costos relacionados con los análisis implicados.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al M. en C. Eduardo Cejudo por su amable colaboración en la elaboración del presente documento; al M. en C. Jorge Paredes y la M. en C. Paula Gamboa por su participación como revisores del presente; al Dr. Juan Carlos Sánchez Meza y al Departamento de Farmacia de la Facultad de Química de la UAEMex por las facilidades otorgadas.



## REFERENCIAS

- Albert, L. (2005). *Panorama de los plaguicidas en México*. Servicios de Salud de Nayarit y Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios. Mexico. Pp. 2-17
- Blanco-Muñoz J, Morales MM, Lacasaña M, Aguilar-Garduño C, Bassol S, Cebrián ME. (2010). *Exposure to organophosphate pesticides and male hormone profile in floriculturist of the state of Morelos, Mexico*. NCBI. Jul;25(7):1787-95.
- Breilh, J. (2007). *Nuevo modelo de acumulación y agroindustria: las implicaciones ecológicas y epidemiológicas de la floricultura en Ecuador*. Ciência e Saúde Coletiva. Vol. 12 num. 1. Rio de Janeiro. Brasil. pp. 91-104.
- Castillo, J., Tenorio, L., Quintana, A., García, M., Ramírez, E. y Madrigal, E. (2005). *Determination of DNA Damage in Floriculturists Exposed to Mixtures of Pesticidas*. JournalBiomed Biotechnol. 2006; 2006: 97896.
- CONAGUA (2002). *Estudio de Evaluación Geohidrológica en el Acuífero de Tenancingo, Estado de México*. México. Comisión Nacional del Agua.
- Connel, D.; Lam, P.; Richardson B.; Wu, R. (1999). *Introduction to Ecotoxicology*. Blackwell Science LTD. England. Pp. 25-85
- Crossier, S. (2002). *Getting started with ArcGIS*. USA. ESRI. Pp.7-50.
- Erik J. (2006) *Occupational pesticide intoxications among farmers in Bolivia: a cross-sectional study*. NCBI. Environ Health. 2006; 5: 10 Published online 2006 April 21. doi: 10.1186/1476-069X-5-10
- Giller, K.E. (1997) *Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function*. 6<sup>th</sup>. USA. App. Soil ecol. Pp. 3-16.
- Hayden, KM. (2010). *Occupational exposure to pesticides increases the risk of incident AD: the Cache County study*. NCBI. Neurology. 2010 May 11; 74(19):1524-30.
- Hernández, G. (2005) *La floricultura en México se marchita*. El Universal. Lunes 28 de marzo de 2005. <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/88271.html> (Consulta en internet 15 de mayo de 2010)
- Hofmann JN. (2010) *Development of a Computer-Based Survey Instrument for Organophosphate and N-Methyl-Carbamate Exposure Assessment among Agricultural*

*Pesticide Handlers*. NCBI. *Ann Occup Hyg*. 2010 August; 54(6): 640–650. Published online 2010 April 22. doi: 10.1093/annhyg/meq038

INEGI. (1998). *La horticultura ornamental en México*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. Pp: 1–81

INEGI-SEMARNAP. (1998). *Estadísticas del medio ambiente, información de la situación general en materia de equilibrio ecológico y la protección al ambiente*. México.

ISEM (2006). *Epidemiología. Boletín de vigilancia epidemiológica*. México. 23 (38), Semana 38. Dirección General de Epidemiología del Instituto de Salud del Estado de México.

Levario, M. (2001) *Parathion, a cholinesterase-inhibiting plaguicide induces changes in tertiary villi of placenta of women exposed: a scanning electron microscopy study*. NCBI. *Gynecol Obstet Invest*. 2001;52(4):269-75.

Lugo, D. (2007). *Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui. Venezuela. Ecosistemas 2007/1*. Pp. 1-11

Mociño, K.; Adame, S. (2011) *Caracterización de la actividad florícola en tres localidades del municipio de Villa Guerrero, Estado de México*. México. Facultad de Planeación Urbana y Territorial. Universidad Autónoma del Estado de México.

Moriarty, F. (1999) *Ecotoxicology: The study of pollutants in ecosystem*. 2<sup>nd</sup> edition. México. Academic press.

Ortiz, B; Ortiz, C. (1988). *Edafología*. 7<sup>a</sup>. Edición. Departamento de Suelos. México. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 8-20, 51-60, 66-72, 97-99.

Palacios, M. (1999). *Sintomatología persistente en trabajadores industrialmente expuestos a plaguicidas organofosforados*. *Salud Pública de México*, núm. enero-febrero, pp. 55-61.

Pieri, C. (1995) *Land quality indicator*. USA. World Bank, Washington.

Porta, J. López-Acevedo, M.; Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. España. 2<sup>a</sup>. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Pp. 17-19, 33, 83-87, 330-331.

Sánchez, J. (2010). *Evaluación del riesgo ecotoxicológico derivado del uso de plaguicidas organofosforados y carbámicos empleados en la zona florícola del Estado de México, basado en el uso de bioensayos y evaluaciones rápidas de los compuestos más relevantes*. México. Instituto Tecnológico de Toluca. 31-33, 35, 49-51, 57, 61.

Sánchez, J.; Pacheco, V.; Pavón, T.; Ávila, P.; Borja, M. (2009) Uso de modelos para evaluar el destino y transporte de plaguicidas en el ambiente: alcances y limitaciones. México. Revista IDEAS. Pp. 38:48.

Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. (2001). *Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Republica Argentina*. Pp. 2-4.

Secretaría de Economía (2007). *México incrementa sus exportaciones de flores frescas*. Boletín México Exporta. 6(4):2

Sepúlveda, T.; Velasco, J., De la Rosa, D. (2006). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Primera Edición. México. Secretaria de Medio Ambiente y recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Pp. 11-16.

Sinkevich, M.; Todd, M.; Lembo, A. (2005). A GIS-Based ground water contamination risk assessment tool for pesticides. USA. Ground water monitoring and remediation. National Ground water association. Pp. 82-91.

Solís, L. y López, A. (2003) *Principios básicos de contaminación ambiental*. Primera edición. México. Universidad Autónoma del Estado de México. Pp.87-91, 244, 280-288  
Stanley E. M. (2000) Environmental Chemistry. USA. Seventh edition. CRC Press LLC. Pp. 2208-216, 475-478, 745-750.

Varadhan, Ravi (2010). *PESTAN Pesticide Analytical Model*. Dynamac Corporation.pp. 1-35.

Vergara, V. (2009). *Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Morroa a contaminación por plaguicidas aplicando la metodología DRASTIC*. Ingeniería y desarrollo, num. Julio-Diciembre, pp. 51-64

Año de aplicación	Nombre técnico	Grupo	Cantidad principio activo aplicado por año (g)	Cantidad del principio activo (g/m <sup>2</sup> )
2005	Cymoxamil + Mancozeb	DCA	150.0	0.07
2005	Dimetoato	OF	400.0	0.19
2005	Metomilo	CA	90.0	0.04
2005	Carbendazim	CA	51.1	0.02
2004	Dimetoato	OF	1431.9	0.70
2004	Clorpirifos + Permetrina	OF+PI	350.0	0.17
2004	Mancozeb	DCA	640.0	0.31
2004	Paratión metílico	OF	50.0	0.02
2004	Zineb	DCA	640.0	0.31
2004	Metomilo	CA	13.5	0.01
2004	Tiofanato metílico	T	1642.2	0.80
2004	Acefate	OF	1374.7	0.67
2004	Carbofurano	CA	105.0	0.05
2004	Tolclofos metil	OF	600.0	0.29
2004	Quintoceno + Thiram	DCA+CA	180.0	0.09
2004	Oxamil	CA	138.0	0.07
2004	Carbendazim	CA	40.8	0.02
2004	Cymoxamil + Mancozeb	U+CA	270.0	0.13
2003	Zineb	DCA	2504.0	1.22
2003	Tiofanato metílico	TCA	3290.0	1.60
2003	Clorpirifos + Permetrina	OF+PI	1172.5	0.57
2003	Propamocarb	CA	663.7	0.32
2003	Dimetoato	OF	2283.3	1.11
2003	Acefate	OF	625.1	0.30
2003	Metiram	CA	350.0	0.17
2003	Clorpirifos + Permetrina	OF+PI	250.0	0.12
2003	Diclorvos	OF	1079.2	0.52
2003	Monocrotofos	OF	150.0	0.07
2003	Oxamil	CA	48.0	0.02
2003	Mancozeb	DCA	1264.0	0.61
2003	Carbendazim	CA	50.0	0.02
2003	Paration metílico	OF	125.0	0.06
2003	Carbendazim	CA	70.2	0.03

\*DCA= Ditiocarbamato, CA= Carbamato, TCA= Tiocarbamato, OF= Organofosforado  
PI= Piretroide, U=Urea

**Cuadro I.** Principales productos plaguicidas empleados en cultivos florícolas en Villa Guerrero 2004 (Sánchez, 2009)

Número  
Nombre del plaguicida  
Recarga(cm/h)  
Valor mínimo en x (cm)  
Valor máximo en x (cm)  
Valor mínimo tiempo (días)  
Valor máximo tiempo (días)  
Tiempo vida media suelo (días)  
Degradación fase sólida  
Tiempo vida media agua  
Degradación fase líquida  
Solubilidad en agua  
Coeficiente partición carbono orgánico suelo  
Tipo suelo (textura profundo)  
Tipo suelo (textura superficie)  
Densidad suelo (g/cm<sup>3</sup>) superficie  
Densidad suelo (g/cm<sup>3</sup>) profundo  
Contenido agua saturada superficial  
Contenido agua saturada profunda  
Coeficiente curva superficial  
Coeficiente curva profunda  
Conductividad hidráulica de saturación (ks)  
Conductividad hidráulica de saturación (ks)  
Contenido de carbono orgánico (%) superficie  
Fracción de carbono orgánico (foc) superficie  
Contenido de carbono orgánico (%) profundo  
Fracción de carbono orgánico (foc) profundo  
Constante de Sorción (kd) superficie  
Constante de Sorción (kd) profundo  
Cantidad de plaguicida aplicado (kg/Ha)  
Número de aplicaciones  
Coeficiente de dispersión (kd)

**Cuadro II.** Parámetros de ingreso PESTAN.

Concentración estimada del plaguicida (ppb) a 30 cm de profundidad	Tiempo (días)										
	Plaguicida	Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato	
	Tiempo (días)	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300
1	0.00E+00	3.29E-05	6.71E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.20E-04	2.75E-03	0.00E+00	3.82E-03	0.00E+00	
2	0.00E+00	0.00E+00	6.45E+01	4.22E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.29E+00	2.66E-09	3.02E+00	0.00E+00	
3	0.00E+00	4.30E-03	6.54E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.09E-01	1.66E-02	0.00E+00	3.96E-02	0.00E+00	
4	0.00E+00	0.00E+00	1.09E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.95E-01	0.00E+00	1.13E+00	0.00E+00	
5	0.00E+00	0.00E+00	1.49E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E-01	0.00E+00	2.73E-01	0.00E+00	
6	0.00E+00	0.00E+00	1.41E+02	1.39E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.62E-01	0.00E+00	5.08E-01	0.00E+00	
7	0.00E+00	0.00E+00	1.31E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.79E-01	0.00E+00	7.40E-01	0.00E+00	
8	0.00E+00	0.00E+00	1.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-01	0.00E+00	2.53E-01	0.00E+00	
9	0.00E+00	5.86E-05	1.12E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-03	6.05E-02	0.00E+00	1.38E-01	0.00E+00	
10	0.00E+00	3.93E-02	5.86E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.68E+00	2.62E-04	0.00E+00	4.58E-04	0.00E+00	
11	0.00E+00	0.00E+00	1.28E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.29E-01	0.00E+00	5.19E-01	0.00E+00	
12	0.00E+00	7.82E-04	9.05E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.13E-02	3.12E-02	0.00E+00	3.20E-02	0.00E+00	

**Cuadro III:** Concentraciones estimadas fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

Concentración estimada del plaguicida (ppb) a 60 cm de profundidad	Tiempo (días)										
	Plaguicida	Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato	
	Tiempo (días)	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300
1	5.58E-02	9.13E-10	0.00E+00	2.75E+02	0.00E+00	0.00E+00	5.07E+00	2.43E-10	2.14E-01	1.17E-07	
2	2.99E-03	1.62E-09	0.00E+00	2.52E+01	0.00E+00	0.00E+00	3.30E+00	1.57E-07	0.00E+00	1.32E-07	
3	1.72E-02	1.27E-12	0.00E+00	1.89E+02	0.00E+00	0.00E+00	9.13E-01	6.09E-13	5.73E-02	1.01E-12	
4	6.09E-03	1.07E-08	0.00E+00	5.28E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.69E+00	8.11E-09	3.75E-02	8.11E-09	
5	1.47E-02	5.58E-08	0.00E+00	9.75E+01	0.00E+00	0.00E+00	5.78E+00	2.69E-08	7.56E-02	4.31E-08	
6	9.64E-03	1.93E-07	0.00E+00	7.53E+01	0.00E+00	0.00E+00	6.34E+00	9.64E-08	3.20E-02	1.47E-07	
7	7.10E-03	3.96E-07	0.00E+00	5.75E+01	0.00E+00	0.00E+00	6.64E+00	2.18E-07	3.75E-02	3.14E-07	
8	1.12E-02	6.59E-07	0.00E+00	8.38E+01	0.00E+00	0.00E+00	9.33E+00	2.79E-07	8.27E-02	5.07E-07	
9	1.42E-02	3.75E-11	0.00E+00	1.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.42E+00	2.13E-11	4.72E-02	2.89E-11	
10	5.58E-02	2.74E-13	7.46E+00	2.40E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.27E+00	7.10E-14	1.75E-01	2.28E-13	
11	9.13E-03	1.32E-13	0.00E+00	8.82E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.18E+00	9.13E-10	3.65E-02	9.64E-10	
12	1.62E-02	6.59E-12	0.00E+00	1.72E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+00	3.50E-12	5.43E-02	5.07E-12	

**Cuadro IV:** Concentraciones estimadas fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

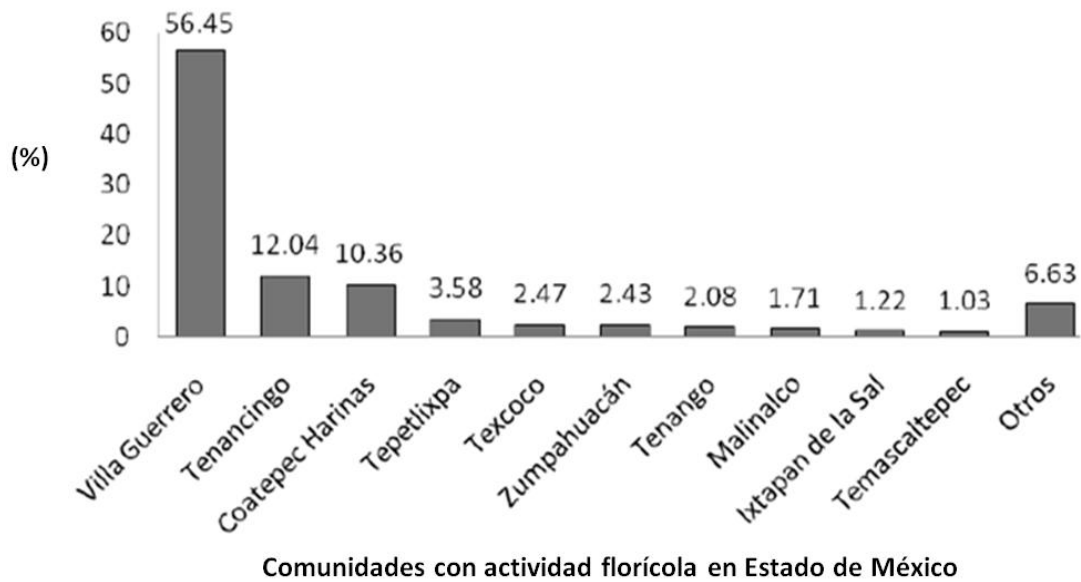


Fig. 1. Porcentaje de superficie florícola en el Estado de México (Mociño, 2011)

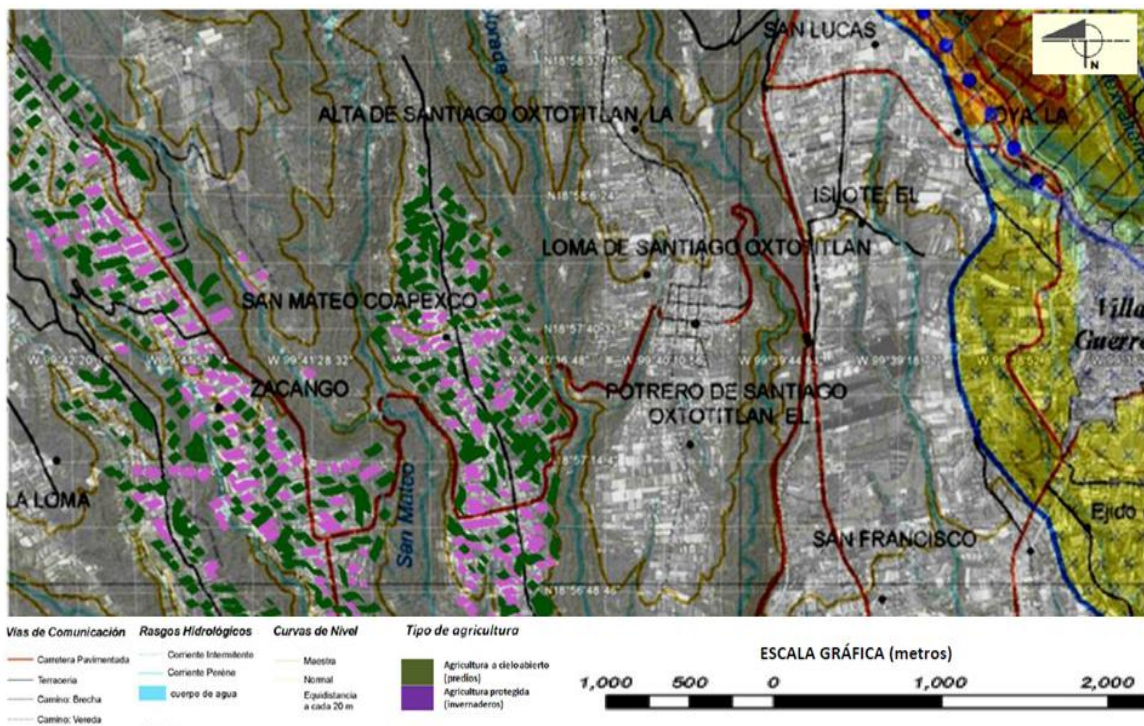


Fig. 2. Zona de estudio, San Mateo Coapexco, Villa Guerrero, México.

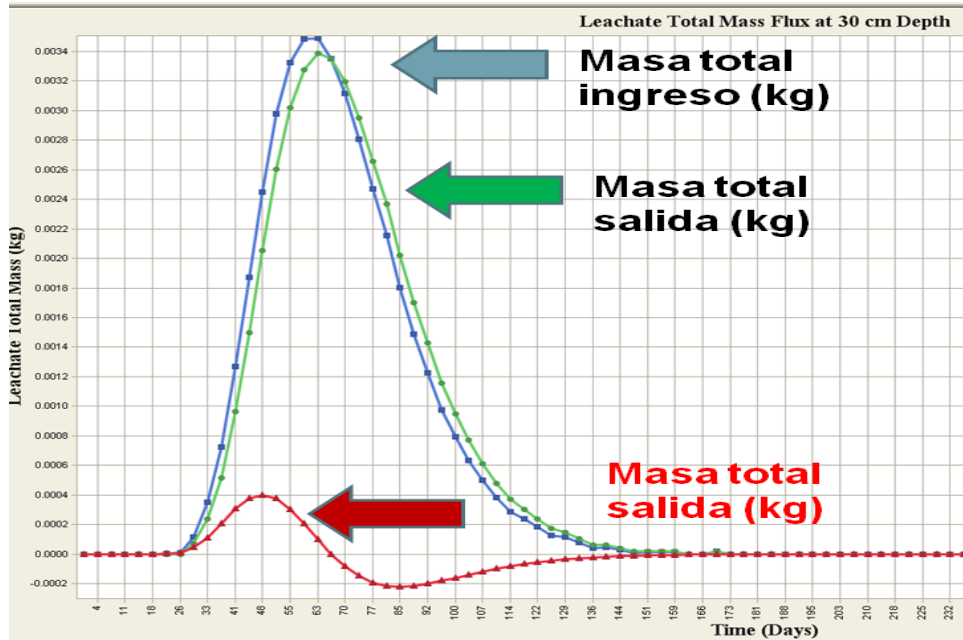


Fig. 3. Cambios en la concentración del plaguicida a diferentes profundidades y tiempos.

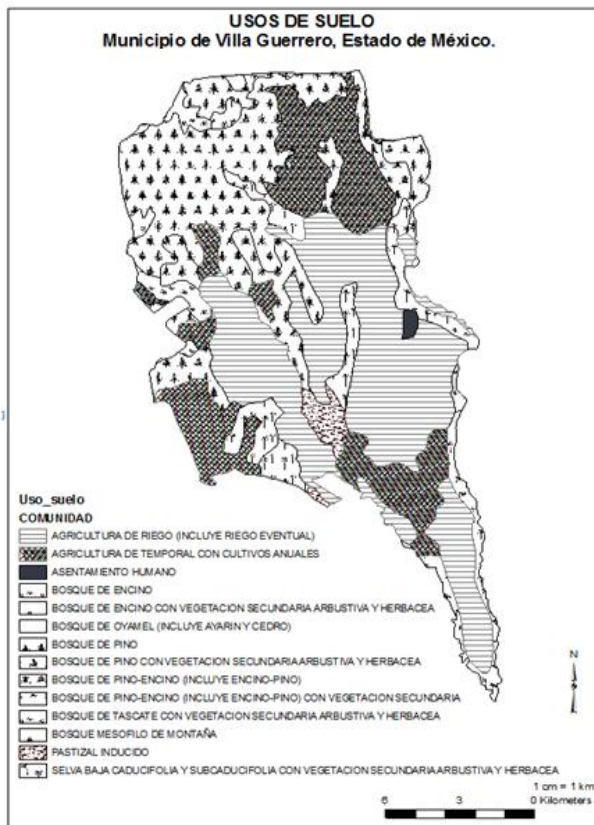


Fig. 4. Usos de suelo.

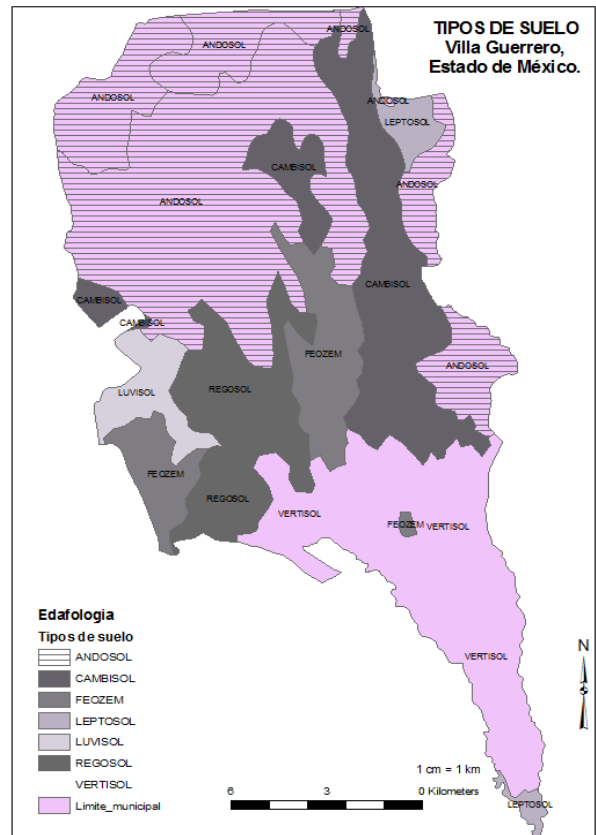
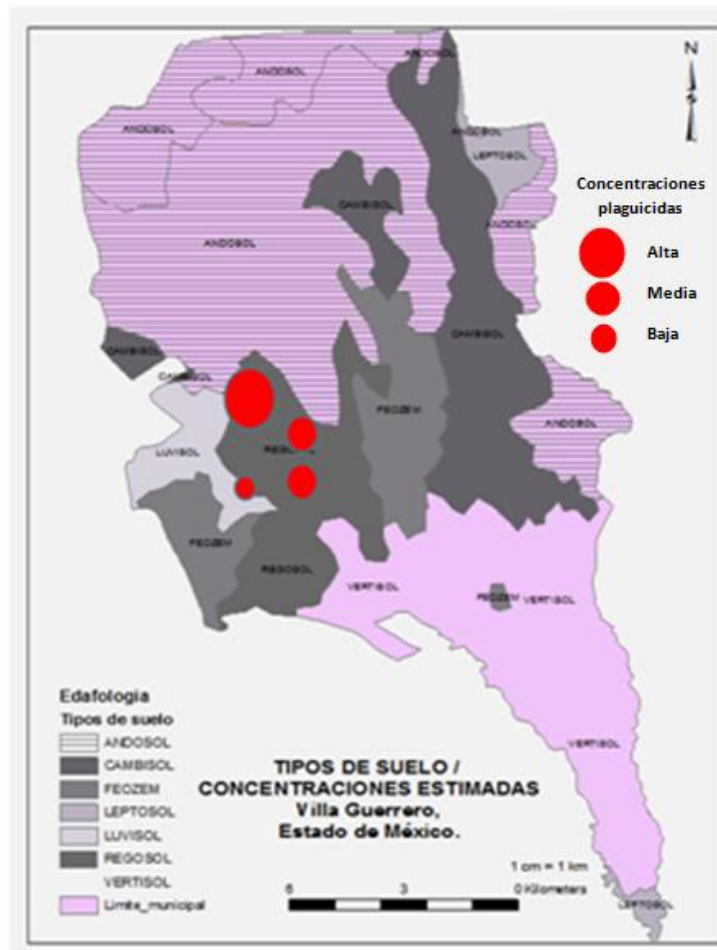


Fig. 5. Tipos de suelo.





**Fig. 6.** Tipos de suelo y concentraciones estimadas de plaguicidas.

**Cuadro I.** Principales productos plaguicidas empleados en cultivos florícolas en Villa Guerrero 2004 (Sánchez, 2009)

**Cuadro II.** Parámetros de ingreso PESTAN.

**Cuadro III:** Concentraciones estimadas fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

**Cuadro IV:** Concentraciones estimadas fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso

**Fig. 1.** Porcentaje de superficie florícola en el Estado de México (Mociño, 2011)

**Fig. 2.** Zona de estudio, San Mateo Coapexco, Villa Guerrero, México.

**Fig. 3.** Cambios en la concentración del plaguicida a diferentes profundidades y tiempos.

**Fig. 4.** Usos de suelo.

**Fig. 5.** Tipos de suelo.

**Fig. 6.** Tipos de suelo y concentraciones estimadas de plaguicidas.

---

**Fin de artículo.**

## DISCUSIÓN GENERAL.

La simulación y los datos de concentraciones estimadas de los plaguicidas en estudio fueron obtenidos tomando en cuenta el desarrollo de la evaluación del riesgo ecotoxicológico basado en el uso de bioensayos de los compuestos plaguicidas realizado por el Departamento de Farmacia de la Facultad de Química de la UAEMex (Sánchez, 2010); así también los datos edafológicos nos indican una relación de la interacción entre los plaguicidas y el suelo, tomando como puntos de partida la recarga del suelo (con base en la precipitación anual promedio), la textura y la granulometría (con suelos predominantemente arcillosos) condicionando así la infiltración, el transporte y destino de los plaguicidas; se obtuvo una relación cercana a dichos comportamientos reportados en la literatura, (Porta y otros, 1999).

Uno de los factores principales que controlan la magnitud del movimiento del agua en la infiltración es el porcentaje de arena, limo y arcilla en el suelo (Porta y otros, 1999) de modo tal que las arenas gruesas ( $\leq 2$  mm) favorecen la infiltración ya que permiten la migración de agua con concentraciones elevadas de plaguicidas (en este caso para Metomilo), con lo que alcanzan profundidades mayores, incrementando el riesgo potencial de llegar a aguas subterráneas y posible contaminación del acuífero. El alto contenido arcilloso en los suelos estudiados indica una concentración mayor de plaguicidas en la superficie de las zonas muestreadas (incrementando su tiempo de permanencia en el exterior) debido a que el tamaño de partícula ( $\approx 100 \mu$ ) reduce la infiltración y así, el transporte de las sustancias (como con Mancozeb, que presenta el menor índice de lixiviación  $GUS=0.590$ ). Los suelos arcillosos de la zona de estudio tienen una mayor superficie activa, son de mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor área superficial, tienen un mayor espacio poroso total, poseen mayor capacidad de adsorción de nutrientes y usualmente son más fértiles que los suelos arenosos. La infiltración en suelos arcillosos se ve reducida y puede ser clasificada como muy lenta (suelos con capacidad de infiltración menor a 0.25 cm de lámina de agua por hora se clasifican como muy lentos). Los suelos arenosos son más porosos y permiten una más rápida infiltración del agua (Porta y otros, 1999).

Con base en parámetros de evaluación del potencial de lixiviación, como el Índice GUS (Cohen *et al*, 1995; Sánchez, 2009) se tiene que Carbofurano, Metomilo y Dimetoato son los productos con alto índice de migración vertical (GUS 5.525, 3.511 y 2.455 respectivamente); Carbendazim es medianamente lixiviable (GUS 1.806) y Mancozeb presenta el menor índice de lixiviación (GUS 0.590).

De acuerdo con el índice GUS, los plaguicidas pueden ser clasificados de la siguiente manera:

Lixiviables	GUS > 2.8
Intervalo de transición	2.8 > GUS > 1.8
No lixiviables	1.8 > GUS

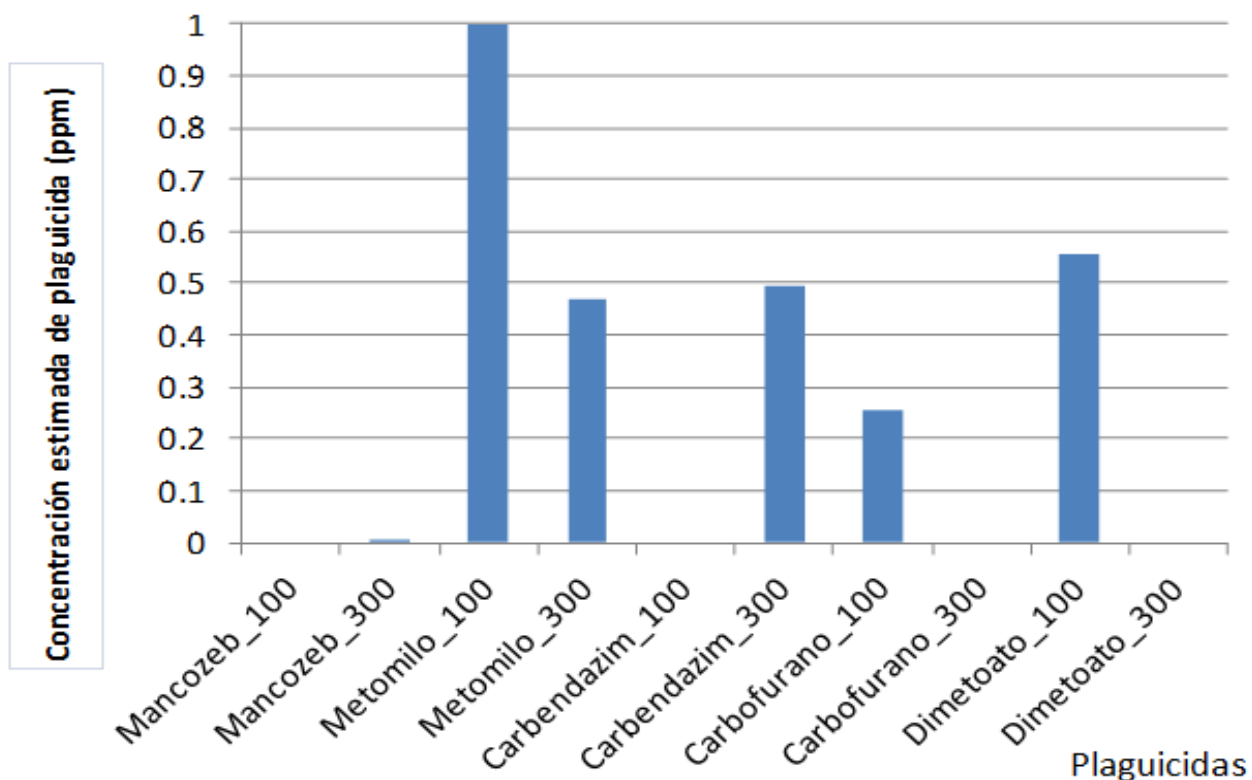
Contrastando con los datos obtenidos por PESTAN en la presente investigación, se tiene que efectivamente las concentraciones mayores se encuentran a profundidades mayores para los productos con alto índice de lixiviación (como Metomilo) y correspondientemente bajas concentraciones de aquellos con índice de lixiviación menor (como Mancozeb), presentándose sus concentraciones mayores en la fracción superficial del suelo (Cuadro XVI).

**Cuadro XVI. Correspondencia del potencial de lixiviación de los plaguicidas (referencia) vs. Las concentraciones estimadas obtenidas a las profundidades de simulación establecidas.**

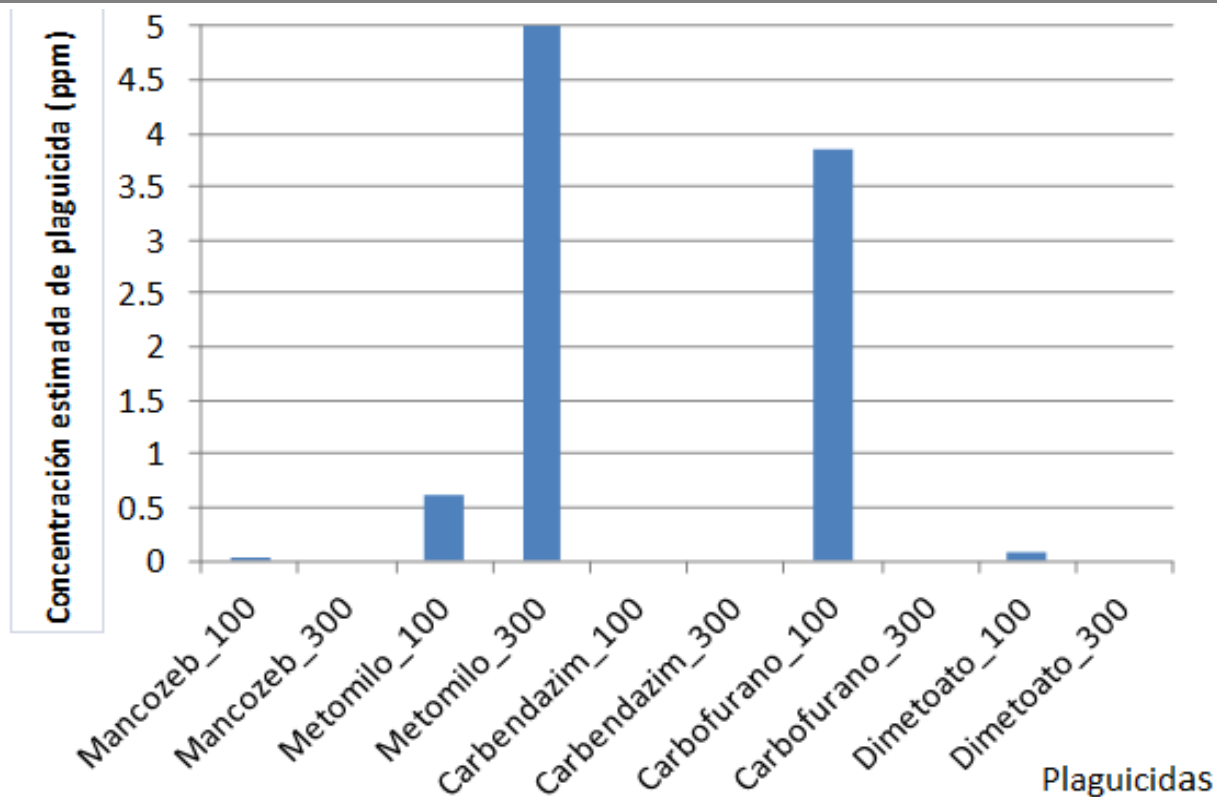
Valores de Referencia		Resultados Obtenidos	
Plaguicidas	Índice GUS	Profundidad (cm)	
		0.0-30.0	30.0-60.0
<b>Carbofurano</b>	5.525	Metomilo	Metomilo
<b>Metomilo</b>	3.511	Dimetoato	Carbofurano
<b>Dimetoato</b>	2.455	Carbendazim	Dimetoato
<b>Carbendazim</b>	1.806	Carbofurano	Carbendazim
<b>Mancozeb</b>	0.590	Mancozeb	Mancozeb

El reporte de concentraciones estimadas con valores negativos o iguales a cero, indican que el plaguicida no alcanzó el nivel de profundidad de los rangos establecidos (0.0-30.0 y 30.0-60.0) por lo que la probabilidad de migración a estratos más profundos de suelo es baja.

La interacción entre los plaguicidas y el suelo se ve afectada por la recarga, número e intensidad de eventos de lluvia y tipo de suelo a lo largo del tiempo. En los plazos establecidos de 100 y 300 días, las concentraciones de los plaguicidas alcanzan niveles significativos, como es el caso de Metomilo, Carbofurano y Dimetoato (Figuras 30 y 31), respectivamente), tomando en consideración una sola aplicación anual de plaguicida como elemento condicionante de la modelación a las profundidades establecidas (30.0 y 60.0 cm), implicando así su posible migración a través de la zona saturada (Anexos 6 y 7, respectivamente).



**Fig. 30. Representación gráfica de las concentraciones de los plaguicidas a 0.0-30.0 cm de profundidad, en escenarios de 100 y 300 días de simulación de transporte vertical.**



**Fig. 31. Representación gráfica de las concentraciones de los plaguicidas a 30.0-60.0 cm de profundidad, en escenarios de 100 y 300 días de simulación de transporte vertical.**

**a. Escalamiento de zona de cultivo**

Con base en los datos de las propiedades fisicoquímicas, tanto de los plaguicidas en estudio como del suelo, se realizaron modelos exploratorios (bajo mismas condiciones de simulación de escenarios: fracción suelo profundo (0.0-30.0 y 30.0-60.0 cm), recarga= 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso) con el fin de obtener concentraciones estimadas para el total de la superficie cultivada de *Gerbera jamesonii* en toda la zona de la comunidad de San Mateo Coapexco (70.0 ha) y de Villa Guerrero (307.3 ha), partiendo de la información de las cargas aplicadas de plaguicidas del predio en estudio (0.21 ha). Se obtuvieron datos de concentraciones estimadas de los cinco plaguicidas, observando relación directa del comportamiento del plaguicida y su transporte a través del suelo, alcanzando niveles de lixiviación similares para los modelos previamente desarrollados para la zona de estudio, a su vez presentan proporcionalidad entre la carga de los plaguicidas, la superficie de cultivo y las concentraciones obtenidas

(la proporción de la carga estimada es de aproximadamente 1:335 veces para el ejercicio de escalamiento de la zona de San Mateo Coapexco (Anexos 8 y 9) y Villa Guerrero (Anexos 10 y 11), respectivamente). Se ha señalado anteriormente el índice GUS como indicador de la lixiviación de los plaguicidas de estudio para la presente investigación, en adición, se incluyen las representaciones gráficas generadas por PESTAN (Anexos 12-16), incluyen: la masa total de cada plaguicida (en Kg) que ingresa en el suelo (como evento único de aplicación), la variación de la masa de lixiviado total de cada plaguicida (expresado en Kg) contra tiempo (días) a 30.0 y 60.0 cm; y también el máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta en tiempo “t” determinado (expresado en días) para cada producto.

Los depósitos de agua de la zona en los dos principales valles cercanos a la zona de estudio (el de Coatepec de Harinas-Malinaltenango al occidente y el de Villa Guerrero-Progreso de Hidalgo al oriente) se encuentran cortados por valles fluviales con desniveles entre 70.0 y 100.0 metros de profundidad, en estos valles se descarga el agua captada pendiente arriba dando lugar a pequeños manantiales principalmente estacionales. Se alternan estratos o paquetes de rocas permeables de poco espesor con otros de baja a muy baja permeabilidad, se generan acuíferos de baja producción de tipo semiconfinado a confinado; el calificativo de acuíferos de baja capacidad queda de manifiesto por la presencia de numerosas norias y pocos pozos, en estos últimos los niveles del agua se encuentran entre 3.0 a 32.0 metros de profundidad, (CONAGUA, 2002); lo que implica que compuestos como el Carbofurano y el Dimetoato (que son altamente lixiviables) tengan alta probabilidad de alcanzar niveles significativos de profundidad y la posible contaminación del acuífero es alta.

## CONCLUSIONES.

- a. Se generaron escenarios fidedignos y realistas relacionados con el transporte y posible destino de cinco plaguicidas seleccionados (Metomilo, Carbofurano, Dimetoato, Carbendazim y Mancozeb) debido a su importancia toxicológica y periodicidad de aplicación, en cultivos de *Gerbera jamesonii*.
- b. Las variables aplicables al modelo se verificaron con respecto a la literatura citada y se incorporaron a la base de datos del modelo de simulación PESTAN.
- c. Se obtuvo correspondencia entre del potencial de lixiviación de los plaguicidas y las concentraciones estimadas obtenidas a las profundidades de simulación establecidas.
- d. Con base en parámetros de evaluación del potencial de lixiviación (como el Índice GUS en la presente investigación), se tiene que: Metomilo, Carbofurano y Dimetoato son altamente lixiviables por lo que el riesgo de que alcancen niveles significativos de profundidad y la posible contaminación del acuífero es alta; Carbendazim puede considerarse en estado de transición y finalmente Mancozeb, como el menos lixiviable; los últimos dos pueden permanecer un mayor tiempo en la fracción superficial del suelo.
- e. El escalamiento de los datos como opción de fuente alterna de información, partiendo de un análisis de modelación de una zona delimitada y bien documentada, es un ejemplo de las posibles áreas de aplicación del modelo integrado. La información de la aplicación del modelo en esta investigación se presenta de manera enunciativa, más no limitativa, de acuerdo con las necesidades del usuario.
- f. Debido a la transformación que ha sufrido el territorio de manera natural y por la acción humana, la zona de estudio presenta condiciones muy favorables para el



cultivo tanto de flor como de hortalizas, ya que como se ha mencionado en casi la totalidad de Villa Guerrero el suelo es de rocas de tipo clásticas y volcánicas que se han sabido acondicionar para la explotación agrícola. En el municipio el 55.5% del suelo está dedicado a la actividad agrícola; el 3.8% está ocupado por los asentamientos humanos; el 37.3% de la superficie es de bosques; 2.9% de selvas y el 0.6% de pastizales. Las pendientes en donde se está presentando principalmente el cultivo de flor están sobre 10.0 y 15.0% lo cual favorece de igual manera a los cultivos ya que no se presentan pérdidas de suelo por deslaves y el agua se puede filtrar de buena forma para regar la totalidad de la tierra de cultivo.

- g. La integración inicial de un SIG ha demostrado ser una herramienta útil y robusta para el ingreso e interpretación de la información producida por el modelo PESTAN.
- h. Es requerida la determinación analítica de los plaguicidas tomando en cuenta las limitaciones propias del método analítico y su respectivo desarrollo, tales como son: limpieza, extracción y cuantificación de las muestras, así como también los costos relacionados con los análisis implicados.
- i. Debe tomarse en consideración los indicadores que acusan evidentes carencias sociales y económicas significativas dentro de la mayoría de los pequeños productores de flor, que corroboran que la actividad florícola no está beneficiado al conjunto de la población local y la retribución económica no es proporcional con las jornadas extenuantes de trabajo generadas.
- j. Considerando que la zona florícola de Villa Guerrero como objeto de estudio de la presente investigación no es el único precedente dentro de las líneas de investigación de los Programas de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, resulta necesaria la gestión para la creación de un programa de vinculación permanente interdisciplinario, con el fin de orientar, apoyar, capacitar y monitorear las prácticas relacionadas con la producción de flor, ya que los

productores hacen referencia que han sido “estudiados continuamente” sin obtener retroalimentación por parte de los investigadores y alumnos que realizan trabajos e investigación de campo en la zona y resulta, cada vez más difícil el acceso, el trato ya la obtención de datos por parte de los floricultores.

- k. Debe gestionarse la colaboración entre productores, distribuidores, instancias regulatorias e instituciones académicas con el fin de no solo generar, sino también de difundir y aplicar el conocimiento de las comunidades y de los actores sociales para comprender las dinámicas de relación entre la población y su entorno económico, social, cultural, político y ambiental y así, potenciar las posibilidades para apropiarse de su proceso de desarrollo.

## REFERENCIAS

- Aguilera, N. (1989) Tratado de Edafología de México. México. Tomo 1. Primera Edición. Laboratorio de Investigación de Edafología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 25-29, 49, 65-75.
- Ahlers, R.K. (2003). Global soils: Risk assessment of chemical in soil. Recent developments in the USA. *EUA. Soils and sediments*. 3(4):240-241.
- Albert, L. (2005). Panorama de los plaguicidas en México. Servicios de Salud de Nayarit y Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios. México. Pp. 2-17
- Badii, M., Varela, S. (2008). Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente. *Cuicyt. Toxicología de insecticidas*. Año 5. No. 28. Pp. 5-17.
- Blanco-Muñoz J. (2010). Exposure to organophosphate pesticides and male hormone profile in floriculturist of the state of Morelos, Mexico. *NCBI*. Jul; 25(7):1787-95.
- Boletín Oficial del Estado (BOE) (1991). En Real Decreto núm. 3349/83. Madrid, España.
- Braskerud, B., Haarstad, k. (2003). Screening the retention of thirteen pesticides in a small constructed wetland. *Water Sci Tech*. 48(5): 267-274.
- Breilh, J. (2007). Nuevo modelo de acumulación y agroindustria: las implicaciones ecológicas y epidemiológicas de la floricultura en Ecuador. *Ciência e Saúde Coletiva*. Vol. 12 num. 1. Rio de Janeiro. Brasil. pp. 91-104.
- Brock T.C.M.; Wijngaarden R.P.A., Van Geest, G.J. (2000). Ecological risk of pesticides in fresh water ecosystem. The Netherlands. Part 2: insecticides. *Alterra. Green World Research*.

- Calamari, D., Zhang, L. (2002) Environmental risk assessment of pesticides in Xiamen, China. *Toxicology letters* 128(1-3):45-53.
- Castillo, J. (2005). Determination of DNA Damage in Floriculturists Exposed to Mixtures of Pesticides. *Journal Biomed Biotechnol.* 2006; 2006: 97896.
- Chambers, P. A. (2002). Effects of agricultural activities on water quality. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada. Linking Water Science to Policy Workshop. Series report 1.
- Clements, W. y Rohr, J. (2009). Community responses to contaminants: using basic ecological principles to predict ecotoxicological effects. USA. *Environmental Toxicology and Chemistry.* Vol. 28, No. 9. Pp. 1789-1800.
- CNA. Comisión Nacional del Agua (2000). *Hidrografía del Estado de México.* Ed. CNA. México, D.F.
- CONAGUA (2002). *Estudio de Evaluación Geohidrológica en el Acuífero de Tenancingo, Estado de México.* México. Comisión Nacional del Agua.
- Connell, D.; Lam, P.; Richardson B.; Wu, R. (1999). *Introduction to Ecotoxicology.* Blackwell Science LTD. England. Pp. 25-85
- Crossier, S. (2002). *Getting started with ArcGIS.* USA. ESRI. Pp.7-50.
- Di Guardo, A.; Calamari, D.; Zanin, G. (1994). A fugacity model of pesticide runoff to surface water: development and validation. Great Britain. *Chemosphere.* Vol. 28. No.3. Elsevier Science Ltd. Pp. 511-531.

Doménech X. y Peral J. (2006). Química Ambiental de sistemas terrestres. Ed. Reverté. Barcelona, España.

Enfield, C., Carsel, R., Stuart, C., Walters, D. (1982) Approximating pollutant transport to ground water. Groundwater. Vol. 20, No. 6. Nov-dec. pp. 711-721.

Erik, J. (2006) Occupational pesticide intoxications among farmers in Bolivia: a cross-sectional study. NCBI. Environ Health. 2006; 5: 10 Published online 2006 April 21. doi: 10.1186/1476-069X-5-10

Finizio A., Villa, S. (2002). Environmental risk assessment for pesticides. A tool for decision making. Environmental Impact assessment review. 22:235-248.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2002. FAO Programmes: international code of conduct on the distribution and use of pesticides. November (available in <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPP/Pesticid/Code/Download/code.pdf>).

Gaytán J.; Jiménez L.; León A.; Figueroa O.L.; Morales M. y González V. (2008). Escuelas de campo, para capacitación y divulgación con tecnologías sustentables en comunidades indígenas. Agricultura Técnica en México enero-abril vol.34 número 001. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap).Texcoco, México.

GCM. Gobierno de la Comunidad de Madrid (1991). Reglamentación técnico-sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas.

GEM. Gobierno del Estado de México (2004a). Plan Municipal de Desarrollo Urbano Villa Guerrero. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Toluca, México.

GEM. Gobierno del Estado de México (2004b). Plan Municipal de Desarrollo Urbano Zumpahuacán. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Toluca, México.

GEM. Gobierno del Estado de México (2004c). Plan Municipal de Desarrollo Urbano Tenancingo. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Toluca, México.

Giller, K.E. (1997) Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. USA. 6th. App. Soil ecol. Pp. 3-16.

Goodchild M., Parks, B. (1993) Environmental modelling with GIS. Oxford University Press.

Hayden, KM. (2010). Occupational exposure to pesticides increases the risk of incident AD: the Cache County study. NCBI. Neurology. 2010 May 11; 74(19):1524-30.

Hernández, G. (2005) La floricultura en México se marchita. El Universal. Lunes 28 de marzo de 2005. <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/88271.html> (Consulta en internet 15 de mayo de 2010)

Hofmann JN. (2010) Development of a Computer-Based Survey Instrument for Organophosphate and N-Methyl-Carbamate Exposure Assessment among Agricultural Pesticide Handlers. NCBI. Ann Occup Hyg. 2010 August; 54(6): 640–650. Published online 2010 April 22. doi: 10.1093/annhyg/meq038

INEGI (1998). La horticultura ornamental en México. México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Pp: 1–81

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2001). Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. Toluca, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2000). XII Censo de Población y Vivienda. Aguascalientes, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2005). II Conteo de Población y Vivienda, México. Aguascalientes, México.

INEGI-SEMARNAP (1998). Estadísticas del medio ambiente, información de la situación general en materia de equilibrio ecológico y la protección al ambiente. México.

ISEM (2006). Epidemiología. Boletín de vigilancia epidemiológica. México. 23 (38), Semana 38. Dirección General de Epidemiología del Instituto de Salud del Estado de México.

Khuntong, S., Sirivithayapakorn, S., Pakkong, P. and Soralump C. (2010). Adsorption Kinetics of Carbamate Pesticide in Rice Field Soil. *EnvironmentAsia* 3(2) (2010) 20-28.

Levario, M. (2001) Parathion, a cholinesterase-inhibiting plaguicide induces changes in tertiary villi of placenta of women exposed: a scanning electron microscopy study. *NCBI. Gynecol Obstet Invest.* 2001; 52(4):269-75.

Lugo, D. (2007). Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui. Venezuela. *Ecosistemas* 2007/1. Pp. 1-11

Margni, M., Rossier, D., Crettaz P., Jolliet O. (2002). Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93 (2002) 379–392

Midey, A., Miller, T., Viggiano, A. (2012) Survey of ion energetics properties of chemical weapon agent (CWA) breakdown products using G3(MP2) theory. *International Journal of Mass Spectrometry.* Volume 315, 1 April 2012, Pages 1–7.

Miller G. (2002). Living in the Environment. 12th Ed. Belmont: Wadsworth/Thomson Learning.

Mociño, K.; Adame, S. (2011) Caracterización de la actividad florícola en tres localidades del municipio de Villa Guerrero, Estado de México. México. Facultad de Planeación Urbana y Territorial. Universidad Autónoma del Estado de México.

Moriarty, F. (1999) Ecotoxicology: The study of pollutants in ecosystem. 2nd edition. México. Academic press.

NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales. Muestreo- Método de cuarteo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. México 1985.

NMX-AA-016-1984. Protección al Ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales. Determinación de humedad. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. México 1984.

NMX-AA-021-1985. Protección al Ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales. Determinación de materia orgánica. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. México 1985.

NMX-AA-025-1984. Protección al Ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales. Determinación de pH – Método potenciométrico. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. México 1984.

NOM-003-STPS-1999. “Actividades agrícolas- Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes. Condiciones de seguridad e higiene”. México. Secretaria de Trabajo y Previsión Social.



- O.I.T. (1998). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. 4ª Edición. Madrid. Cap. 64.
- OECD. (2002). Persistent, bioaccumulative and toxic pesticides in OECD member countries Part A: report and annexes 1, 3 and 4. France. Organization for Economic Cooperation and Development, Environmental Directorate. OECD Series on pesticides. Number 15; ENV/JM/MONO (2002)22.
- Ortiz, B.; Ortiz, C. Edafología. (1987) México. 6ª. Edición. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 8-20, 51-60, 66-72, 97-99.
- Ortíz, B; Ortíz, C. (1988). Edafología. 7ª. Edición. Departamento de Suelos. México. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 8-20, 51-60, 66-72, 97-99.
- Palacios, M. (1999). Sintomatología persistente en trabajadores industrialmente expuestos a plaguicidas organofosforados. Salud Pública de México, núm. enero-febrero, pp. 55-61.
- Pavlidis, T. (1982). Algorithms for graphics and image processing. USA. Springer-Verlag.
- Pfleeger, T., Olszyk, D., Burdick, C., King, G., Kern, J y Fletchers, J. (2006) Using a geographic information system to identify areas with potential for off-target pesticide exposure. USA. Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 25, No. 8. Pp. 2250-2259.
- Pickles, J. (1991). Geography, GIS and the surveillant society. Papers and proceedings of the applied geography conference. 80-91.
- Piédrola G. (2002). Medicina preventiva y salud pública. Ed. Masson, Barcelona, España.
- Pieri, C. (1995) Land quality indicator. USA. World Bank, Washington.

PDMVG (2009). Plan de Desarrollo Municipal de Villa Guerrero 2009-2012. H. Ayuntamiento de Villa Guerrero, Estado de México.

PLM (2006). Diccionario de Especialidades Agroquímicas. Colombia. 16ª edición. Thompson PLM S.A.

Porta, J. López-Acevedo, M.; Roquero, C. (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. España. 2ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Pp. 17-19, 33, 83-87, 330-331.

Reportlinker (2008). Emerging trends and opportunities in the world pesticides market. Available in <http://www.reportlinker.com/p096695/Emerging-Trends-and-Opportunities-in-the-World-Pesticides-Market.html>.

Restrepo F. (2007). Evaluación económica de impactos ambientales. Una guía metodológica para la determinación de la tasa social de descuento. Universidad de Medellín Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Medellín, Colombia.

Roldán E. (2003). Sistemas de Información Geográfica aplicados al manejo de recursos naturales. México. Universidad Autónoma Metropolitana. Xochimilco. 8-30.

Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A. (2004) Propiedades físicas del suelo Uruguay. Departamento de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

Sánchez J. (2011). Plaguicidas, peligro latente. En revista valor universitario noviembre año 2 número 14. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

Sánchez, J. (2010). Evaluación del riesgo ecotoxicológico derivado del uso de plaguicidas organofosforados y carbámicos empleados en la zona florícola del Estado de México, basado en el uso de bioensayos y evaluaciones rápidas de los compuestos más

relevantes. Tesis de Doctorado. México. Instituto Tecnológico de Toluca. 31-33, 35, 49-51, 57, 61.

Sánchez, J.; Pacheco, V.; Pavón, T.; Ávila, P.; Borja, M. (2009) Uso de modelos para evaluar el destino y transporte de plaguicidas en el ambiente: alcances y limitaciones. México. Revista IDEAS. Pp. 38:48.

Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. (2001). Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. República Argentina. Pp. 2-4.

Secretaría de Economía (2007). México incrementa sus exportaciones de flores frescas. Boletín México Exporta. 6(4):2

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2004). Instituto Nacional de Ecología. Pp. 11-16

Sepúlveda, T.; Velasco, J., De la Rosa, D. (2006). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Primera Edición. México.

Shukia, S. Mostaghimi, V. Shanholtz, O. and Collins, M. (1998). A GIS-based modeling approach for evaluating groundwater vulnerability to pesticides. Journal of the American Water Resources Association. VOL. 34, NO.6. 1275-93.

Sinkevich, M.; Todd, M.; Lembo, A. (2005). A GIS-Based ground water contamination risk assessment tool for pesticides. USA. Ground water monitoring and remediation. National Ground Water Association. Pp. 82-91.

Solís, L. y López, A. (2003) Principios básicos de contaminación ambiental. Primera edición. México. Universidad Autónoma del Estado de México. Pp.87-91, 244, 280-288

Stanley E. M. (2000) Environmental Chemistry. USA. Seventh edition. CRC Press LLC. Pp. 2208-216, 475-478, 745-750.

Thapinta A., Hudak, P.F. (2003). Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. Thailand. Environmental International. 29:87-93.

Tomlinson, R., Calkins H. (1976) Computer handling of geographical data. France. UNESCO press.

Tomlinson, R. (2007) Pensando en el SIG. USA.3ra. edición. ESRI press.

Torres, D.; Capote, T. (2004) Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. España. Ecosistemas 13(3). Asociación Española de Ecología Terrestre. Pp. 2-4

Varadhan, R. (2010). PESTAN Pesticide Analytical Model. Dynamac Corporation. Pp. 1-35.

Vergara, V. (2009). Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Morroa a contaminación por plaguicidas aplicando la metodología DRASTIC. Ingeniería y desarrollo, núm. Julio-Diciembre, pp. 51-64

Verro, R., Calliera, M., Maffioli, G. Auteri, D. (2002). GIS-Based System for Surface Water Risk Assessment of Agricultural Chemicals. 1. Methodological Approach. Italy. DISAT, Department of the Environment and Landscape Sciences. Environ. Sci. Technol. 2002, 36, 1532-1538.

Villalva S. (2004). Plagas y enfermedades de jardines. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

# ANEXOS

**Anexo 1. Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de MANCOZEB.**

MANCOZEB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Punto de muestreo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Recarga(cm/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo en x (cm)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Valor máximo en x (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo tiempo (días)	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00
Valor máximo tiempo (días)	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Tiempo vida media suelo (días)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase sólida	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Tiempo vida media agua	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Degradación fase líquida	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Solubilidad en agua	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
Coefficiente partición carbono orgánico suelo	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura profundo)	Sandy-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura superfie)	1.38	1.30	1.30	1.30	1.35	1.34	1.39	1.42	1.32	1.38	1.33	1.34
Densidad suelo (g/cm3) superfie	1.59	1.32	1.33	1.34	1.36	1.39	1.37	1.47	1.35	1.41	1.33	1.35
Densidad suelo ( g/cm3) profundo	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada superficial	0.44	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.44	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada profunda	5.39	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	8.52	5.39	8.52	8.52
Coefficiente curva superfie	4.90	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	5.39	4.90	8.52	5.39	8.52	8.52
Coefficiente curva profunda	1.32	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	2.59	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	1.32	2.59	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	1.12	0.83	0.95	1.56	1.32	1.45	1.88	1.14	1.18	0.99	0.99	1.24
Contenido de carbono orgánico (%) superfie	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fración de carbono orgánico (foc) superfie	0.41	1.24	0.33	0.93	0.80	0.87	0.95	0.82	0.50	0.19	0.76	0.41
Contenido de carbono orgánico (%) profundo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Fración de carbono orgánico (foc) profundo	22.40	16.60	19.00	31.00	26.40	29.00	37.60	22.80	23.60	19.80	19.80	24.80
Constante de sorción (kd) superfie	8.11	24.88	6.55	18.64	15.91	17.47	19.03	16.30	10.06	3.82	15.13	8.11
Constante de sorción (kd) profundo	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Cantidad de plaguicida aplicado (kg/Ha)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Número de aplicaciones	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Coefficiente de dispersión (kd)												

**Anexo 2. Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de METOMILO.**

METOMILO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Punto de muestreo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Recarga(cm/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo en x (cm)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Valor máximo en x (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo tiempo (días)	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00
Valor máximo tiempo (días)	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Tiempo vida media suelo (días)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase sólida	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00
Tiempo vida media agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase líquida	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00
Solubilidad en agua	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00	72.00
Coefficiente partición carbono orgánico suelo	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura profunda)	Sandy-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Sandy-Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura superfie)	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Densidad suelo (g/cm3) superfie	1.38	1.30	1.30	1.30	1.35	1.34	1.39	1.42	1.32	1.38	1.33	1.34
Densidad suelo (g/cm3) profundo	1.59	1.32	1.33	1.34	1.36	1.39	1.37	1.47	1.35	1.41	1.33	1.35
Contenido agua saturada superficial	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada profunda	0.44	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.44	0.48	0.45	0.48	0.48
Coefficiente curva superfie	5.39	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	8.52	5.39	8.52	8.52
Coefficiente curva profunda	4.90	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	5.39	4.90	8.52	5.39	8.52	8.52
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	1.32	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	2.59	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	1.32	2.59	0.23	1.32	0.23	0.23
Contenido de carbono orgánico (%) superfie	1.12	0.83	0.95	1.56	1.32	1.45	1.88	1.14	1.18	0.99	0.99	1.24
Fracción de carbono orgánico (foc) superfie	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Contenido de carbono orgánico (%) profundo	0.41	1.24	0.33	0.93	0.80	0.87	0.95	0.82	0.50	0.19	0.76	0.41
Fracción de carbono orgánico (foc) profundo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Constante de sorción (kd) superfie	0.81	0.60	0.68	1.12	0.95	1.04	1.35	0.82	0.85	0.71	7128.00	0.89
Constante de sorción (kd) profundo	0.29	0.90	0.24	0.67	0.57	0.63	0.69	0.59	0.36	0.14	0.54	0.29
Cantidad de plaguicida aplicado (kg/ha)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Número de aplicaciones	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Coefficiente de dispersión (kd)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

**Anexo 3. Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de CARBENDAZIM.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>CARBENDAZIM</b>												
Punto de muestreo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Recarga (cm/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo en x (cm)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Valor máximo en x (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo tiempo (días)	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00
Valor máximo tiempo (días)	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00
Tiempo vida media suelo (días)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase sólida	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Tiempo vida media agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase líquida	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Solubilidad en agua	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
Coefficiente partición carbono orgánico suelo	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura profundo)	Sandy-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Loam	Sandy-Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura superficie)	1.38	1.30	1.30	1.30	1.35	1.34	1.39	1.42	1.32	1.38	1.33	1.34
Densidad suelo (g/cm3) superficie	1.59	1.32	1.33	1.34	1.36	1.39	1.37	1.47	1.35	1.41	1.33	1.35
Densidad suelo (g/cm3) profundo	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada superficial	0.44	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.44	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada profunda	5.39	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	8.52	5.39	8.52	8.52
Coefficiente curva superficial	4.90	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	5.39	4.90	8.52	5.39	8.52	8.52
Coefficiente curva profunda	1.32	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	2.59	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	1.32	2.59	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	1.12	0.83	0.95	1.56	1.32	1.45	1.88	1.14	1.18	0.99	0.99	1.24
Contenido de carbono orgánico (%) superficie	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fracción de carbono orgánico (foc) superficie	0.41	1.24	0.33	0.93	0.80	0.87	0.95	0.82	0.50	0.19	0.76	0.41
Contenido de carbono orgánico (%) profundo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Fracción de carbono orgánico (foc) profundo	21.28	15.77	18.05	29.45	25.08	27.55	35.72	21.66	22.42	18.81	18.81	23.56
Constante de sorción (kd) superficie	7.71	23.64	6.22	17.71	15.12	16.60	18.08	15.49	9.56	3.63	14.38	7.71
Constante de sorción (kd) profundo	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Cantidad de plaguicida aplicado (kg/Ha)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Número de aplicaciones	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Coefficiente de dispersión (kd)												



**Anexo 4. Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de CARBOFURANO.**

CARBOFURANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam
Punto de muestreo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Recarga(cm/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo en x (cm)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Valor máximo en x (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo tiempo (días)	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00
Valor máximo tiempo (días)	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
Tiempo vida media suelo (días)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase sólida	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20
Tiempo vida media agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase líquida	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00
Solubilidad en agua	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Coeeficiente partición carbono orgánico suelo	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam	Loam
Tipo suelo (textura profundo)	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam
Tipo suelo (textura superficie)	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam	Sandy-Loam	Loam
Densidad suelo (g/cm3) superficie	1.38	1.30	1.30	1.30	1.35	1.34	1.39	1.42	1.32	1.38	1.33	1.34
Densidad suelo ( g/cm3) profundo	1.59	1.32	1.33	1.34	1.36	1.39	1.37	1.47	1.35	1.41	1.33	1.35
Contenido agua saturada superficial	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada profunda	0.44	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.44	0.48	0.45	0.48	0.48
Coeeficiente curva superficial	5.39	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	8.52	5.39	8.52	8.52
Coeeficiente curva profunda	4.90	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	5.39	4.90	8.52	5.39	8.52	8.52
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	1.32	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	2.59	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	1.32	2.59	0.23	1.32	0.23	0.23
Contenido de carbono orgánico (%) superficie	1.12	0.83	0.95	1.56	1.32	1.45	1.88	1.14	1.18	0.99	0.99	1.24
Fracción de carbono orgánico (foc) superficie	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Contenido de carbono orgánico (%) profundo	0.41	1.24	0.33	0.93	0.80	0.87	0.95	0.82	0.50	0.19	0.76	0.41
Fracción de carbono orgánico (foc) profundo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Constante de sorción (kd) superficie	0.25	0.18	0.21	0.34	0.29	0.32	0.41	0.25	0.26	0.22	0.22	0.27
Constante de sorción (kd) profundo	0.09	0.27	0.07	0.21	0.18	0.19	0.21	0.18	0.11	0.04	0.17	0.09
Cantidad de plaguicida aplicado (kg/Ha)	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
Número de aplicaciones	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Coeeficiente de dispersión (kd)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

**Anexo 5. Parámetros fisicoquímicos de ingreso para PESTAN de DIMETOATO.**

DIMETOATO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Punto de muestreo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Recarga(cm/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo en x (cm)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Valor máximo en x (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor mínimo tiempo (días)	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00
Valor máximo tiempo (días)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Tiempo vida media suelo (días)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase sólida	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Tiempo vida media agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Degradación fase líquida	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00	25000.00
Solubilidad en agua	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Coefficiente partición carbono orgánico suelo	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura profundo)	Sandy-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Clay-Loam	Loam	Loam	Loam	Sandy-Loam	Clay-Loam	Loam	Clay-Loam	Clay-Loam
Tipo suelo (textura superficie)	1.38	1.30	1.30	1.30	1.35	1.34	1.39	1.42	1.32	1.38	1.33	1.34
Densidad suelo (g/cm3) superficie	1.59	1.32	1.33	1.34	1.36	1.39	1.37	1.47	1.35	1.41	1.33	1.35
Densidad suelo (g/cm3) profundo	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada superficial	0.44	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.44	0.48	0.45	0.48	0.48
Contenido agua saturada profunda	5.39	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	8.52	5.39	8.52	8.52
Coefficiente curva superficial	4.90	8.52	8.52	8.52	5.39	5.39	5.39	4.90	8.52	5.39	8.52	8.52
Coefficiente curva profunda	1.32	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks)	2.59	0.23	0.23	0.23	1.32	1.32	1.32	2.59	0.23	1.32	0.23	0.23
Conductividad hidráulica de saturación (ks) superficie	1.12	0.83	0.95	1.56	1.32	1.45	1.88	1.14	1.18	0.99	0.99	1.24
Fracción de carbono orgánico (foc) superficie	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fracción de carbono orgánico (foc) profundo	0.41	1.24	0.33	0.93	0.80	0.87	0.95	0.82	0.50	0.19	0.76	0.41
Fracción de carbono orgánico (foc) profundo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Constante de sorción (kd) superficie	0.24	0.17	19.00	0.31	0.26	0.29	0.38	0.23	0.24	0.20	0.20	0.25
Constante de sorción (kd) profundo	0.08	0.25	0.07	0.19	0.16	0.17	0.19	0.16	0.10	0.04	0.15	0.08
Cantidad de plaguicida aplicado (kg/Ha)	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
Número de aplicaciones	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Coefficiente de dispersión (kd)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

**Anexo 6.** Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera usando el modelo de simulación PESTAN. Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

Plaguicida Tiempo (días)	*Textura suelo	Tiempo (días)											
		Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato			
		100	300	100	300	100	300	100	300	100	300		
1	FAR	0.00E+00	3.29E-05	6.71E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.20E-04	2.75E-03	0.00E+00	3.82E-03	0.00E+00	0.00E+00	
2	FA	0.00E+00	0.00E+00	6.45E+01	4.22E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.29E+00	2.66E-09	3.02E+00	0.00E+00	0.00E+00	
3	FA	0.00E+00	4.30E-03	6.54E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.09E-01	1.66E-02	0.00E+00	3.96E-02	0.00E+00	0.00E+00	
4	FA	0.00E+00	0.00E+00	1.09E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.95E-01	0.00E+00	1.13E+00	0.00E+00	0.00E+00	
5	A	0.00E+00	0.00E+00	1.49E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E-01	0.00E+00	2.73E-01	0.00E+00	0.00E+00	
6	A	0.00E+00	0.00E+00	1.41E+02	1.39E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.62E-01	0.00E+00	5.08E-01	0.00E+00	0.00E+00	
7	A	0.00E+00	0.00E+00	1.31E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.79E-01	0.00E+00	7.40E-01	0.00E+00	0.00E+00	
8	FAR	0.00E+00	0.00E+00	1.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-01	0.00E+00	2.53E-01	0.00E+00	0.00E+00	
9	FA	0.00E+00	5.86E-05	1.12E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-03	6.05E-02	0.00E+00	1.38E-01	0.00E+00	0.00E+00	
10	A	0.00E+00	3.93E-02	5.86E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.68E+00	2.62E-04	0.00E+00	4.58E-04	0.00E+00	0.00E+00	
11	FA	0.00E+00	0.00E+00	1.28E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.29E-01	0.00E+00	5.19E-01	0.00E+00	0.00E+00	
12	FA	0.00E+00	7.82E-04	9.05E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.13E-02	3.12E-02	0.00E+00	3.20E-02	0.00E+00	0.00E+00	

\*FAR = franco-arenoso; FA= franco-arcilloso, A= arcilloso

**Anexo 7.** Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera usando el modelo de simulación PESTAN. Escenario: Fracción suelo superficial (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

Plaguicida Tiempo (días)		Tiempo (días)											
		Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato			
		100	300	100	300	100	300	100	300	100	300		
1	FA	5.58E-02	9.13E-10	0.00E+00	2.75E+02	0.00E+00	0.00E+00	5.07E+00	2.43E-10	2.14E-01	1.17E-07		
2	FA	2.99E-03	1.62E-09	0.00E+00	2.52E+01	0.00E+00	0.00E+00	3.30E+00	1.57E-07	0.00E+00	1.32E-07		
3	FA	1.72E-02	1.27E-12	0.00E+00	1.89E+02	0.00E+00	0.00E+00	9.13E-01	6.09E-13	5.73E-02	1.01E-12		
4	FA	6.09E-03	1.07E-08	0.00E+00	5.28E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.69E+00	8.11E-09	3.75E-02	8.11E-09		
5	A	1.47E-02	5.58E-08	0.00E+00	9.75E+01	0.00E+00	0.00E+00	5.78E+00	2.69E-08	7.56E-02	4.31E-08		
6	A	9.64E-03	1.93E-07	0.00E+00	7.53E+01	0.00E+00	0.00E+00	6.34E+00	9.64E-08	3.20E-02	1.47E-07		
7	A	7.10E-03	3.96E-07	0.00E+00	5.75E+01	0.00E+00	0.00E+00	6.64E+00	2.18E-07	3.75E-02	3.14E-07		
8	FAR	1.12E-02	6.59E-07	0.00E+00	8.38E+01	0.00E+00	0.00E+00	9.33E+00	2.79E-07	8.27E-02	5.07E-07		
9	FA	1.42E-02	3.75E-11	0.00E+00	1.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.42E+00	2.13E-11	4.72E-02	2.89E-11		
10	A	5.58E-02	2.74E-13	7.46E+00	2.40E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.27E+00	7.10E-14	1.75E-01	2.28E-13		
11	FA	9.13E-03	1.32E-13	0.00E+00	8.82E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.18E+00	9.13E-10	3.65E-02	9.64E-10		
12	FA	1.62E-02	6.59E-12	0.00E+00	1.72E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+00	3.50E-12	5.43E-02	5.07E-12		

\*FAR= franco-arenoso; FA= franco-arcilloso, A= arcilloso

Concentración estimada del plaguicida (ppb) a 60 cm de profundidad Zona de estudio

**Anexo 8.** Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera escalada a la comunidad de San Mateo Coapexco usando el modelo de simulación PESTAN. Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

Plaguicida Tiempo (días)	*Textura suelo	Tiempo (días)											
		Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato			
		100	300	100	300	100	300	100	300	100	300		
1	FAR	0.00E+00	1.10E-02	2.24E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.33E-02	9.16E-01	0.00E+00	1.27E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	FA	0.00E+00	0.00E+00	2.15E+04	1.41E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.30E+02	8.88E-07	1.01E+03	0.00E+00	0.00E+00
3	FA	0.00E+00	1.43E+00	2.18E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.97E+01	5.54E+00	0.00E+00	1.32E+01	0.00E+00	0.00E+00
4	FA	0.00E+00	0.00E+00	3.63E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.65E+02	0.00E+00	3.76E+02	0.00E+00	0.00E+00
5	A	0.00E+00	0.00E+00	4.95E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.76E+01	0.00E+00	9.10E+01	0.00E+00	0.00E+00
6	A	0.00E+00	0.00E+00	4.70E+04	4.63E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.73E+01	0.00E+00	1.69E+02	0.00E+00	0.00E+00
7	A	0.00E+00	0.00E+00	4.38E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.26E+02	0.00E+00	2.47E+02	0.00E+00	0.00E+00
8	FAR	0.00E+00	0.00E+00	5.19E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.84E+01	0.00E+00	8.43E+01	0.00E+00	0.00E+00
9	FA	0.00E+00	1.95E-02	3.75E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.57E-01	2.02E+01	0.00E+00	4.58E+01	0.00E+00	0.00E+00
10	A	0.00E+00	1.31E+01	1.95E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.89E+03	8.74E-02	0.00E+00	1.53E-01	0.00E+00	0.00E+00
11	FA	0.00E+00	0.00E+00	4.25E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.64E+01	0.00E+00	1.73E+02	0.00E+00	0.00E+00
12	FA	0.00E+00	2.61E-01	3.02E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.10E+00	1.04E+01	0.00E+00	1.07E+01	0.00E+00	0.00E+00

\*FAR= franco-arenoso; FA= franco-arcilloso, A= arcilloso

Concentración estimada del plaguicida (ppb) a 30 cm de profundidad escalamiento SAN MATEO COAPEXCO

**Anexo 9.** Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera escalada a la comunidad de San Mateo Coapexco usando el modelo de simulación PESTAN. Escenario: Fracción suelo superficial (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

Plaguicida Tiempo (días)	Tiempo (días)											
	*Textura suelo		Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato	
	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300
1	FAr	1.86E+01	3.04E-07	0.00E+00	9.17E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.69E+03	8.11E-08	7.13E+01	3.89E-05
2	FA	9.97E-01	5.41E-07	0.00E+00	8.40E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.10E+03	5.24E-05	0.00E+00	4.40E-05
3	FA	5.75E+00	4.23E-10	0.00E+00	6.30E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.04E+02	2.03E-10	1.91E+01	3.38E-10
4	FA	2.03E+00	3.55E-06	0.00E+00	1.76E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.96E+02	2.70E-06	1.25E+01	2.70E-06
5	A	4.90E+00	1.86E-05	0.00E+00	3.25E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.93E+03	8.96E-06	2.52E+01	1.44E-05
6	A	3.21E+00	6.42E-05	0.00E+00	2.51E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.11E+03	3.21E-05	1.07E+01	4.90E-05
7	A	2.37E+00	1.32E-04	0.00E+00	1.92E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.21E+03	7.27E-05	1.25E+01	1.05E-04
8	FAr	3.72E+00	2.20E-04	0.00E+00	2.79E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.11E+03	9.30E-05	2.76E+01	1.69E-04
9	FA	4.73E+00	1.25E-08	0.00E+00	5.19E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.73E+02	7.10E-09	1.57E+01	9.64E-09
10	A	1.86E+01	9.13E-11	2.49E+03	8.00E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.23E+02	2.37E-11	5.83E+01	7.61E-11
11	FA	3.04E+00	4.40E-11	0.00E+00	2.94E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.27E+02	3.04E-07	1.22E+01	3.21E-07
12	FA	5.41E+00	2.20E-09	0.00E+00	5.74E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E+02	1.17E-09	1.81E+01	1.69E-09

\*FAr= franco-arenoso; FA= franco-arcilloso; A= arcilloso

de profundidad escalamiento SAN MATEO COAPEXCO  
Concentración estimada del plaguicida (ppb) a 60 cm

**Anexo 10.** Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera escalada al municipio de Villa Guerrero usando el modelo de simulación PESTAN. Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

Plaguicida Tiempo (días)	Tiempo (días)											
	*Textura suelo		Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato	
	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300
1	FAR	0.00E+00	1.61E+01	3.27E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.07E+02	1.34E+03	0.00E+00	1.86E+03	0.00E+00	0.00E+00
2	FA	0.00E+00	0.00E+00	3.15E+07	2.06E+06	0.00E+00	0.00E+00	6.29E+05	1.30E-03	1.47E+06	0.00E+00	0.00E+00
3	FA	0.00E+00	2.10E+03	3.19E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.02E+05	8.10E+03	0.00E+00	1.93E+04	0.00E+00	0.00E+00
4	FA	0.00E+00	0.00E+00	5.31E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.42E+05	0.00E+00	5.50E+05	0.00E+00	0.00E+00
5	A	0.00E+00	0.00E+00	7.25E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.96E+04	0.00E+00	1.33E+05	0.00E+00	0.00E+00
6	A	0.00E+00	0.00E+00	6.88E+07	6.78E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.28E+05	0.00E+00	2.48E+05	0.00E+00	0.00E+00
7	A	0.00E+00	0.00E+00	6.41E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.85E+05	0.00E+00	3.61E+05	0.00E+00	0.00E+00
8	FAR	0.00E+00	0.00E+00	7.60E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.08E+04	0.00E+00	1.23E+05	0.00E+00	0.00E+00
9	FA	0.00E+00	2.86E+01	5.48E+07	0.00E+00	0.00E+00	5.22E+02	2.95E+04	0.00E+00	6.71E+04	0.00E+00	0.00E+00
10	A	0.00E+00	1.92E+04	2.86E+06	0.00E+00	0.00E+00	2.77E+06	1.28E+02	0.00E+00	2.23E+02	0.00E+00	0.00E+00
11	FA	0.00E+00	0.00E+00	6.22E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+05	0.00E+00	2.53E+05	0.00E+00	0.00E+00
12	FA	0.00E+00	3.82E+02	4.41E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.04E+04	1.52E+04	0.00E+00	1.56E+04	0.00E+00	0.00E+00

\*FAR= franco-arenoso; FA= franco-arcilloso, A= arcilloso

Concentración estimada del plaguicida (ppb) a 30 cm de profundidad escalamiento\_Villa Guerrero

**Anexo 11.** Concentraciones estimadas de los plaguicidas aplicados en el área de cultivo de Gerbera escalada al municipio de Villa Guerrero usando el modelo de simulación PESTAN. Escenario: Fracción suelo superficial (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.

Plaguicida Tiempo (días)	*Textura suelo	Tiempo (días)											
		Mancozeb		Metomilo		Carbendazim		Carbofurano		Dimetoato			
		100	300	100	300	100	300	100	300	100	300		
1	FAr	2.72E+04	4.45E-04	0.00E+00	1.34E+08	0.00E+00	0.00E+00	2.47E+06	1.19E-04	1.04E+05	5.69E-02		
2	FA	1.46E+03	7.92E-04	0.00E+00	1.23E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.61E+06	7.67E-02	0.00E+00	6.43E-02		
3	FA	8.41E+03	6.18E-07	0.00E+00	9.22E+07	0.00E+00	0.00E+00	4.45E+05	2.97E-07	2.80E+04	4.95E-07		
4	FA	2.97E+03	5.19E-03	0.00E+00	2.58E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.31E+06	3.96E-03	1.83E+04	3.96E-03		
5	A	7.17E+03	2.72E-02	0.00E+00	4.75E+07	0.00E+00	0.00E+00	2.82E+06	1.31E-02	3.69E+04	2.10E-02		
6	A	4.70E+03	9.40E-02	0.00E+00	3.67E+07	0.00E+00	0.00E+00	3.09E+06	4.70E-02	1.56E+04	7.17E-02		
7	A	3.46E+03	1.93E-01	0.00E+00	2.80E+07	0.00E+00	0.00E+00	3.24E+06	1.06E-01	1.83E+04	1.53E-01		
8	FAr	5.44E+03	3.22E-01	0.00E+00	4.09E+07	0.00E+00	0.00E+00	4.55E+06	1.36E-01	4.03E+04	2.47E-01		
9	FA	6.93E+03	1.83E-05	0.00E+00	7.60E+07	0.00E+00	0.00E+00	6.93E+05	1.04E-05	2.30E+04	1.41E-05		
10	A	2.72E+04	1.34E-07	3.64E+06	1.17E+08	0.00E+00	0.00E+00	6.18E+05	3.46E-08	8.53E+04	1.11E-07		
11	FA	4.45E+03	6.43E-08	0.00E+00	4.30E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.06E+06	4.45E-04	1.78E+04	4.70E-04		
12	FA	7.92E+03	3.22E-06	0.00E+00	8.40E+07	0.00E+00	0.00E+00	5.44E+05	1.71E-06	2.65E+04	2.47E-06		

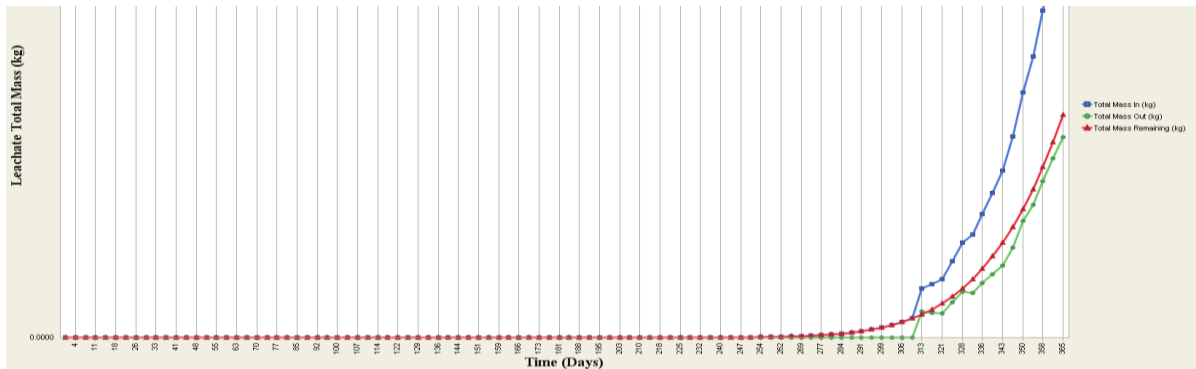
\*FAr= franco-arenoso; FA= franco-arcilloso, A= arcilloso



**Anexo 12. Descripción de perfil obtenido para MANCOZEB.**

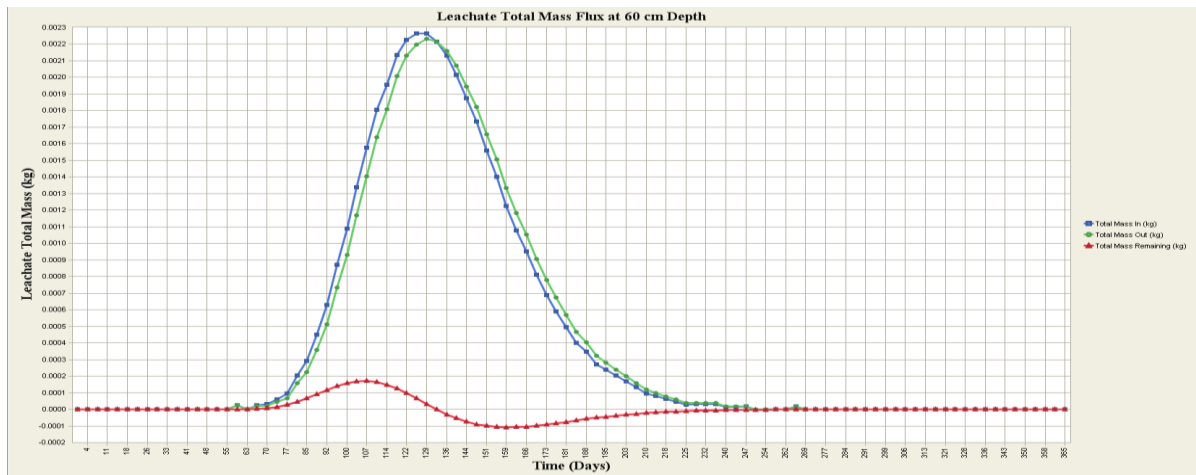
**Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Mancozeb (Kg) contra tiempo (días) a 30.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 365, considerándose una carga de aplicación anual de 0.73 Kg/ha.



**Escenario: Fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

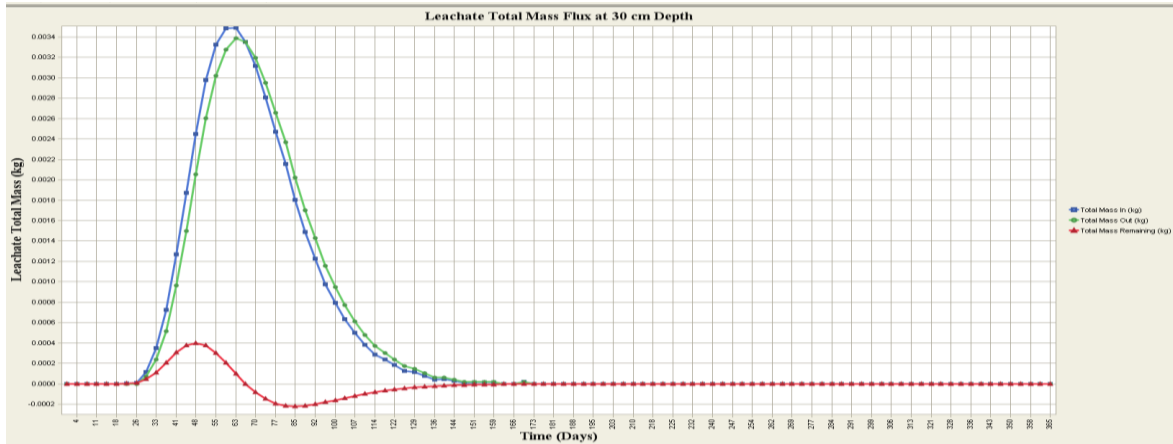
Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Mancozeb (Kg) contra tiempo (días) a 60.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 107, considerándose una carga de aplicación anual de 0.73 Kg/ha.



### Anexo 13. Descripción de perfil obtenido para METOMILO

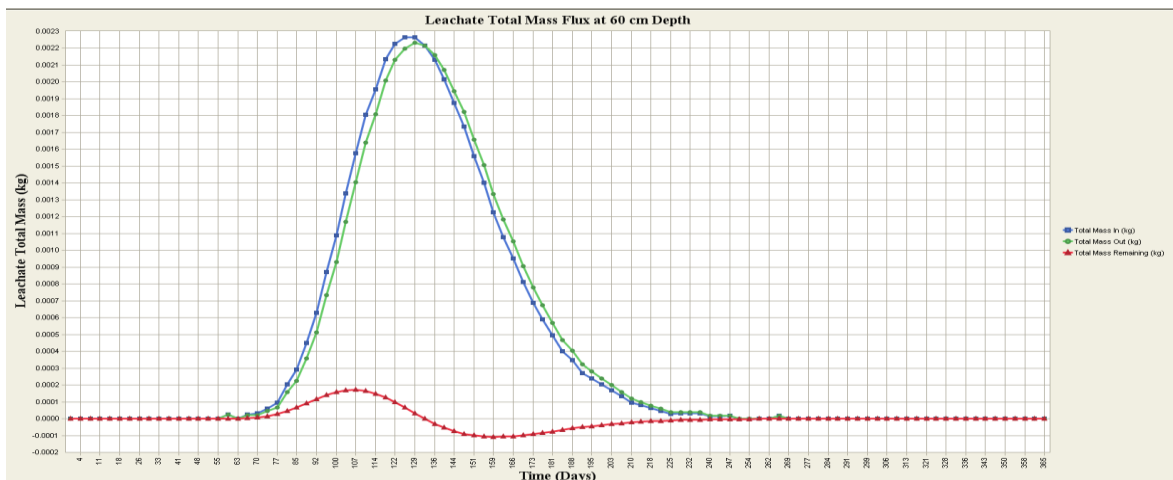
**Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Metomilo (Kg) contra tiempo (días) a 30.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 48, considerándose una carga de aplicación anual de 0.43 Kg/ha.



**Escenario: Fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

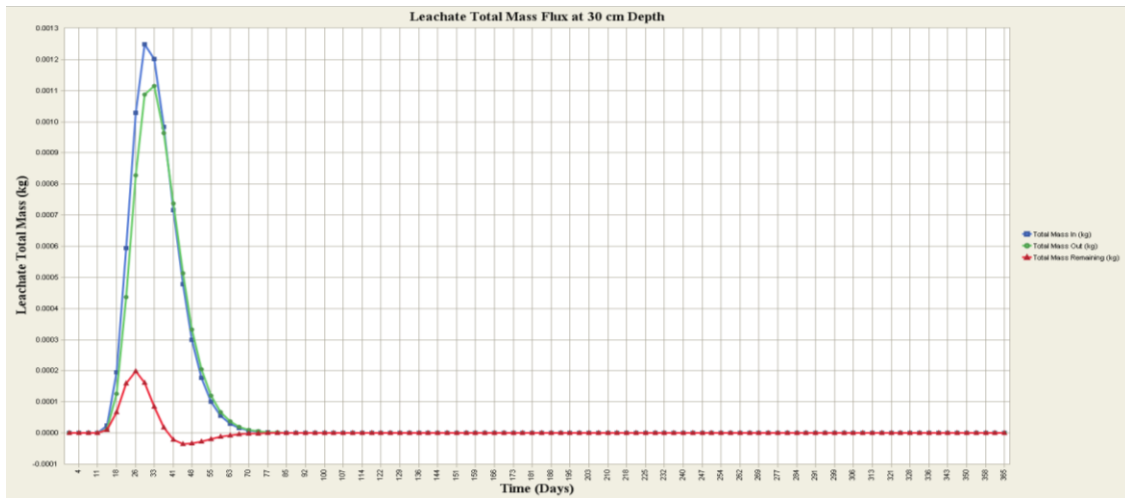
Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Metomilo (Kg) contra tiempo (días) a 60.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 107, considerándose una carga de aplicación anual de 0.43 Kg/ha.



**Anexo 14. Descripción de perfil obtenido para CARBENDAZIM.**

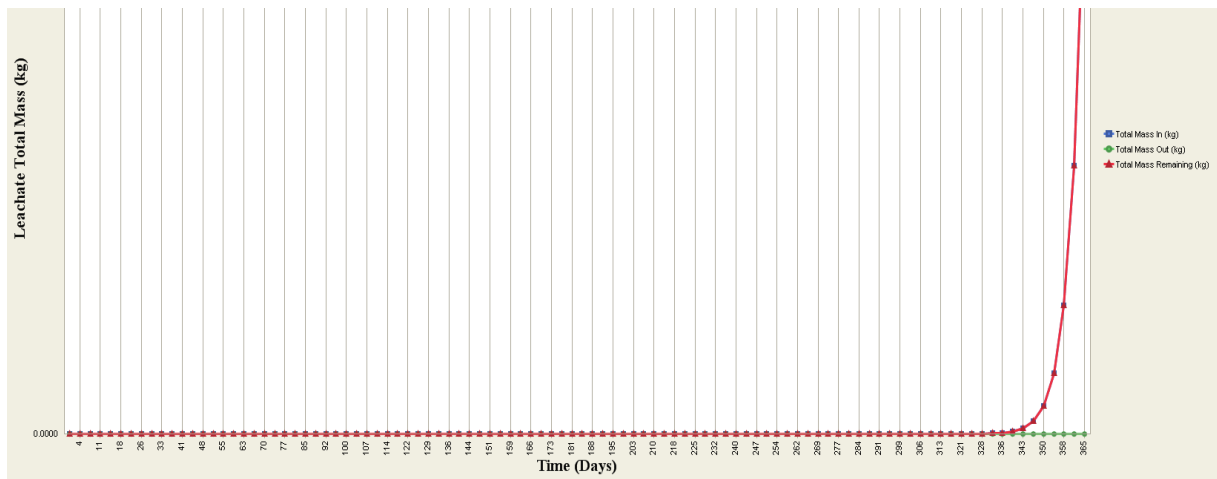
**Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Carbendazim (Kg) contra tiempo (días) a 30.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 26, considerándose una carga de aplicación anual de 0.24 Kg/ha.



**Escenario: Fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

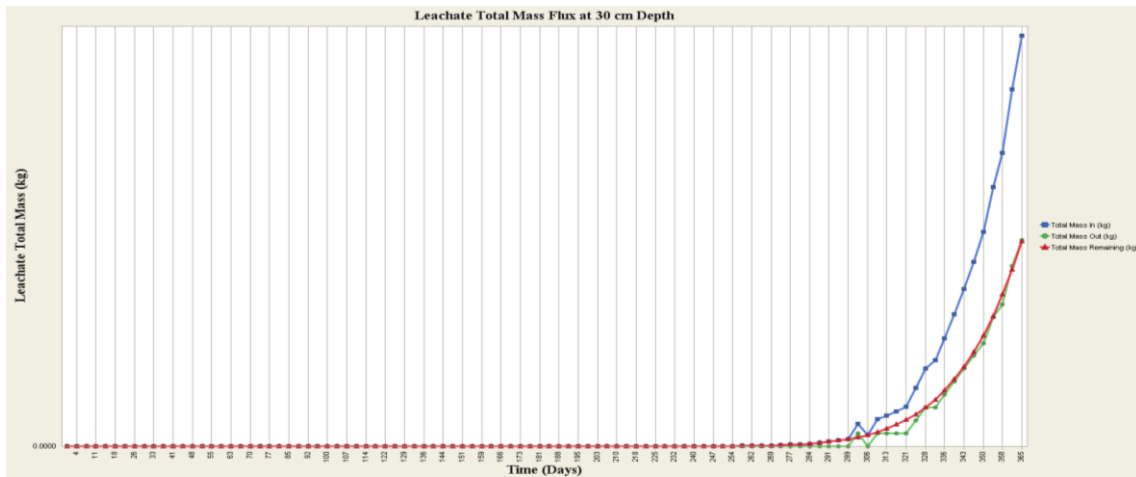
Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Carbendazim (Kg) contra tiempo (días) a 60.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 365, considerándose una carga de aplicación anual de 0.24 Kg/ha.



### Anexo 15. Descripción de perfil obtenido para CARBOFURANO.

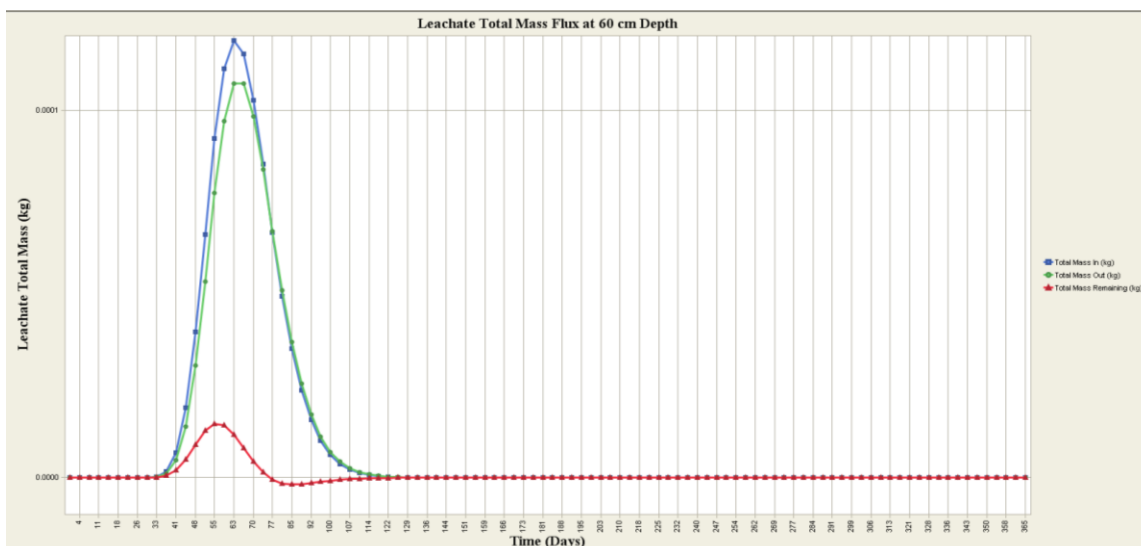
**Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Carbofurano (Kg) contra tiempo (días) a 30.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 365, considerándose una carga de aplicación anual de 0.51 Kg/ha.



**Escenario: Fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

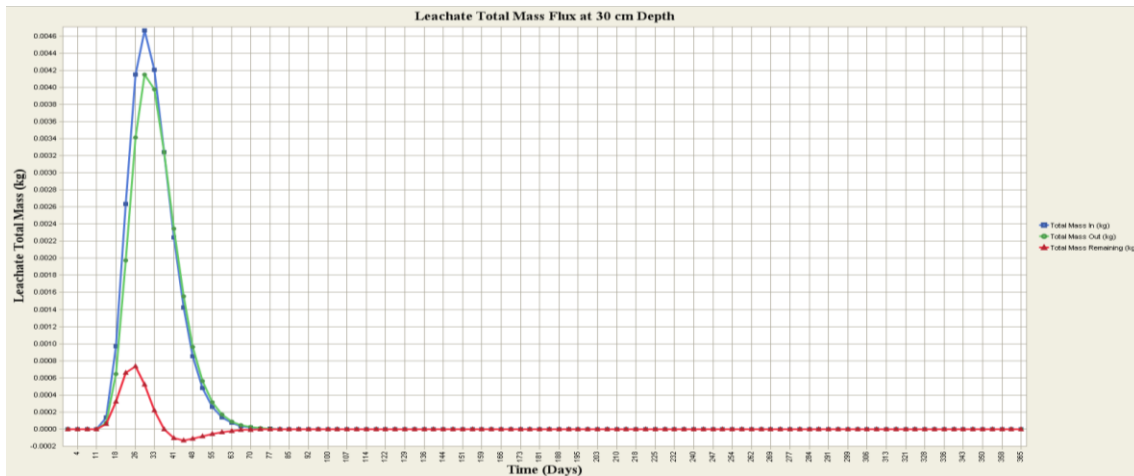
Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Carbofurano (Kg) contra tiempo (días) a 60.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 55, considerándose una carga de aplicación anual de 0.51 Kg/ha.



**Anexo 16. Descripción de perfil obtenido para DIMETOATO.**

**Escenario: Fracción suelo superficial (0.0-30.0 cm), recarga: 0.014184 cm/ h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Dimetoato (Kg) contra tiempo (días) a 30.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 26, considerándose una carga de aplicación anual de 1.94 Kg/ha.



**Escenario: Fracción suelo profundo (30.0-60.0 cm), recarga: 0.014184 cm/h, textura del suelo predominantemente franco-arcilloso.**

Representación gráfica generada por PESTAN de la variación de la masa de lixiviado total de Dimetoato (Kg) contra tiempo (días) a 60.0 cm. El máximo de la masa remanente del lixiviado se presenta alrededor del día 55, considerándose una carga de aplicación anual de 1.94 Kg/ha.

