



01177

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Facultad de Ingeniería

14  
2y

MODELACIÓN DE LA MIGRACIÓN DE PESTICIDAS EN EL  
SUBSUELO DEL DISTRITO DE RIEGO 085 "LA BEGOÑA", GTO.

**ILDIKÓ NÉMETH**

**TESIS**

PRESENTADA A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

de la

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

como requisito para obtener el grado de

**MAESTRA EN INGENIERÍA**

**(AMBIENTAL)**

TUTORA DE ESTUDIOS  
ASESOR  
DIRECTOR DE TESIS

Anne M.Hansen  
Polloptro Martínez Austria  
Héctor Emiliano Quiñones Pedroza

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Tudd meg: szabad csak az, akit  
Szó nem bukt, fény nem vakít,  
Se rang, se kincs nem veszteget meg,  
Az, aki nyíltan gyűlölhét, szerethet,  
A látszatot lenézi, meg nem óvja,  
Nincs letagadni, titkolni valója.  
Tudd meg: szabad csak az, kinek  
Ajkat hazugság nem fertőzi meg,  
Aki üres jelszókat nem visít,  
Nem áztat, nem ígér, nem hamisít.  
Nem alkuszik meg, hü becsületéhez.  
Bátran kimondja, mit gondol, mit érez.  
Nem nézi azt, kinek ki volt és volt-e öse,  
Nem bámul görnyedőn a kutyabőrre  
S embernek nézi azt is, aki póre.*

*Tudd meg: szabad csak az, aki  
Ha neve nincs is, mégis valaki,  
Vagy forró, vagy hideg, de sose langyos,  
Tüzet fölöslegesen nem harangoz,  
Van mindene, ha nincs is semmije,  
Mert nem szorul rá soha senkire.  
Nem áll szemére húzott vaskalappal,  
Mindig kevélyen szembenéz a Nappal,  
Vállalja azt, amit jó társa vállal,  
Helyét megállja mindig, mindenütt,  
Többször cirógat, mint ahányszor üt,  
De megmutatja olykor, hogy van ökle...  
Szabad akar maradni mindörökre.*

*Heltai Jenő*

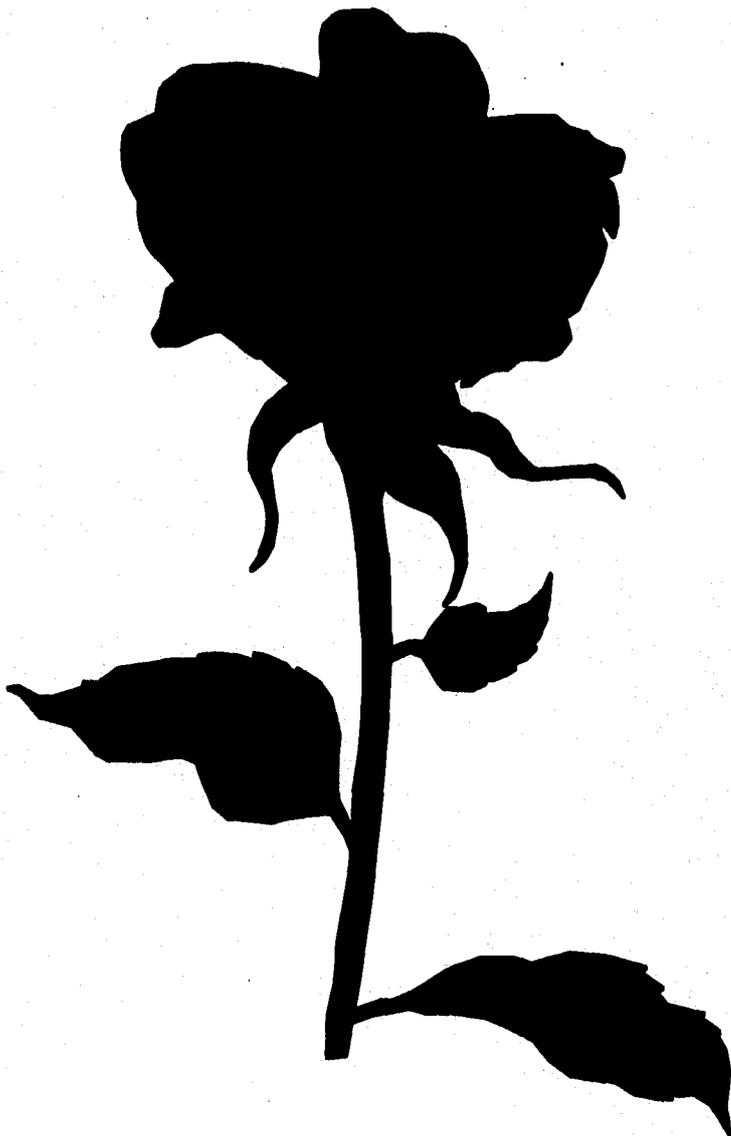
*\* Sabel*

*Es libre sólo aquel a quien  
la palabra no engaña,  
la luz no deslumbra, ni riqueza ni título soborna,  
quien es capaz de odiar o amar abiertamente,  
no observa ni guarda apariencias,  
secretos no delata ni los tiene,  
con la mentira sus labios no mancha,  
no grita consignas, no promete ni adultera,  
transige y es fiel a su nombre,  
para expresar lo que siente y piensa, coraje tiene,  
sin importar si agrada y sin mirar jerarquías,  
no se postra ante el poder,  
y por humano, igual al desnudo tiene.*

*Sabel*

*Es libre sólo aquel que,  
aunque sin nombre, alguien es,  
es ardiente o frío pero nunca tibio,  
no echa al vuelo las campanas sin gloria,  
tiene todo aun sin tener nada  
porque limosnas no necesita,  
mira el sol de frente y con orgullo,  
sus deberes los de sus amigos son,  
cumple todo y siempre,  
acaricia mucho más que pega  
pero también muestra que puño tiene...  
y su libertad conserva siempre.*

## ***Agradecimientos***



***Al Dr. Polioptro Martínez Austria,  
por su gentileza, Don de gentes y  
por su desinteresado y siempre  
espontáneo apoyo,***

***a Anne Hansen, quien tanto me  
apoyó, alentó y toleró,***

***a Benjamín de León, a quien para  
expresarle la profundidad de mis  
sentimientos, no tengo o no conozco  
suficientes palabras,***

***al Dr. Sergio Fuentes Maya y Lydia  
Márquez quienes amablemente  
accedieron a leer y calificar este  
trabajo***

***a mis compañeros, profesores y  
amigos del IMTA, de ingeniería  
financiera, ambiental e hidráulica,  
con quienes además aprendí  
suficiente castellano...***

***y a Héctor también***

***Gracias***

**MODELACIÓN DE LA MIGRACIÓN DE  
PESTICIDAS EN EL SUBSUELO DEL  
DISTRITO DE RIEGO 085  
"LA BEGOÑA", GTO.**

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>INVESTIGACIONES SOBRE EL IMPACTO DE PLAGUICIDAS EN EL AMBIENTE</b> .....	3
<b>PROBLEMÁTICA EXISTENTE EN EL DISTRITO DE RIEGO 085 "LA BEGOÑA"</b> .....	4
<i>La contaminación de los recursos hídricos en "La Begoña"</i> .....	4
<b>METODOLOGÍA</b> .....	5
<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	5
<b>BASES DE DATOS</b> .....	6
<i>Clima</i> .....	6
<b>Tiempo real</b> .....	6
<b>Histórico</b> .....	6
<b>Suelos</b> .....	7
<b>SIMULACIÓN</b> .....	7
<b>ANÁLISIS DE ESCENARIOS TÉCNICOS</b> .....	7
<i>Itinerarios técnicos</i> .....	8
<i>Plaguicidas</i> .....	8
<i>Riegos</i> .....	9
<i>Escenarios seleccionados</i> .....	9
<b>LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LA CONTAMINACIÓN</b> .....	10
<b>ACUÍFEROS</b> .....	10
<b>LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS</b> .....	11
<i>Origen de la contaminación del agua subterránea</i> .....	11
Contaminación de origen urbano .....	11
Contaminación por mal acabado sanitario de pozos.....	12
Contaminación de origen industrial .....	12
Contaminación de origen agrícola.....	12
<b>EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b> .....	12
<b>PLAGUICIDAS</b> .....	13
<b>DEFINICIÓN DE PLAGUICIDAS</b> .....	13
<b>CLASIFICACIÓN DE PLAGUICIDAS</b> .....	13
<b>USO DE PLAGUICIDAS</b> .....	14
<i>Historia del uso de plaguicidas</i> .....	14
<i>Uso actual</i> .....	14
<b>Uso de plaguicidas en México</b> .....	14
<b>USO DE PLAGUICIDAS EN LA AGRICULTURA</b> .....	14
<i>Efectos del uso de plaguicidas sobre el medio ambiente</i> .....	15
<b>EL DESTINO DE PLAGUICIDAS</b> .....	15
<i>Factores del riesgo de contaminación de los acuíferos por plaguicidas</i> .....	15
Características del plaguicida .....	16
Factores hidrogeológicos .....	17
Otros factores.....	19
<i>Procesos básicos que determinan el destino de plaguicidas en el ambiente</i> .....	20
Aplicación al cultivo .....	20
Plaguicidas en el suelo .....	21
Plaguicidas en el agua .....	23
Resumen .....	25

<b>LA MODELACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL SUBSUELO .....</b>	<b>25</b>
<b>MODELOS DE SIMULACIÓN.....</b>	<b>25</b>
<i>Modelos matemáticos.....</i>	<i>26</i>
<i>Los modelos en la agricultura.....</i>	<i>26</i>
Dinámica de los solutos.....	27
Requerimientos mínimos y características deseables de los modelos suelo-planta.....	27
<i>Modelación de la contaminación.....</i>	<i>27</i>
Desarrollo de los modelos de la contaminación no puntual.....	29
<b>EL MODELO EPIC .....</b>	<b>29</b>
<i>Características del modelo EPIC.....</i>	<i>30</i>
Componentes principales del modelo EPIC.....	30
<i>Submodelo hidrológico del EPIC.....</i>	<i>31</i>
Esguerrimiento superficial.....	31
Percolación.....	33
<i>La simulación de plaguicidas con EPIC.....</i>	<i>34</i>
La lógica del modelo.....	34
Estructura del modelo.....	35
Secuencia de cálculo en el submodelo de plaguicidas del modelo EPIC.....	37
Entradas del modelo y parámetros.....	39
<b>DISTRITO DE RIEGO 085 LA BEGOÑA, GTO. ....</b>	<b>41</b>
<b>UBICACIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>TOPOGRAFÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>SUELOS.....</b>	<b>42</b>
<i>Serie "Cumatillo".....</i>	<i>42</i>
<i>Serie "Ocotos".....</i>	<i>42</i>
<i>Serie "Zapote".....</i>	<i>42</i>
<b>CLIMA.....</b>	<b>43</b>
<b>HIDROLOGÍA.....</b>	<b>43</b>
<i>Hidrología superficial.....</i>	<i>43</i>
<i>Hidrología subterránea.....</i>	<i>44</i>
<b>AGRICULTURA.....</b>	<b>44</b>
Cultivos.....	45
Uso de plaguicidas en el Distrito.....	45
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>USO DEL AGUA.....</b>	<b>46</b>
<b>EFFECTO DE LOS DIFERENTES PLAGUICIDAS APLICADOS.....</b>	<b>47</b>
<i>Vida media.....</i>	<i>48</i>
<i>Solubilidad y coeficiente de partición.....</i>	<i>48</i>
Efecto del coeficiente de partición.....	49
<b>RÉGIMEN HÍDRICO.....</b>	<b>49</b>
<i>Pluviometría, irrigación y contenido de humedad del suelo.....</i>	<i>49</i>
<i>Régimen hídrico y movilidad de los plaguicidas.....</i>	<i>50</i>
Técnica de riego tradicional.....	50
Oportunidad de los riegos.....	51
<b>EFFECTOS INDIRECTOS.....</b>	<b>52</b>
<i>Eficiencia en el uso del agua y productividad.....</i>	<i>53</i>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
<i>A las instituciones públicas.....</i>	<i>55</i>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>	

## **RESUMEN**

El uso de agroquímicos crea problemas ambientales y de salud, ocasionados fundamentalmente por la escasa información acerca de los factores que afectan su distribución, transformación y destino final, como sus propiedades tóxicas, movilidad y persistencia en el ambiente, efecto fumigante, cantidad aplicada, formulación, método y tiempo de aplicación y, particularmente, la medida de su uso o abuso.

El estudio del destino, transformación y transporte de los agroquímicos utilizados para el control de plagas facilita la prevención de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y permite la evaluación de la misma con base en el conocimiento y métodos apropiados.

La contaminación del agua en el subsuelo es un tópico de gran importancia en el control de la contaminación del medio ambiente. Para estimar niveles de contaminación y migración de contaminantes en el agua que fluye a través del subsuelo, es necesario desarrollar programas computacionales y técnicas experimentales acordes a este tipo de estudio.

El presente trabajo presenta una metodología para el análisis y evaluación de residuos de agroquímicos, enfatizando en las aguas subterráneas y en el subsuelo, enfocándose en el análisis del caso del Distrito de Riego 085 "La Begoña", Gto. Las herramientas para el estudio y análisis son los modelos de simulación determinísticos y paquetes computacionales para el manejo de datos. La información necesaria se almacena en amplias bases de datos correspondientes a toda la zona agrícola: tipo de suelo, características fisiológicas de los cultivos, propiedades de los plaguicidas, normales climatológicas y variables climáticas a nivel diario, así como el historial de las prácticas de manejo para cada parcela durante un periodo de tiempo determinado.

Se realizaron análisis temporales para diferentes escenarios tecnológicos en una superficie supuesta homogénea en sus condiciones pedológicas, con diferentes cultivos y climas. En primer lugar se cuantificó la contaminación por plaguicidas en el ciclo agrícola primavera-verano del 1994 bajo condiciones reales y posteriormente se efectuaron evaluaciones hipotéticas para la misma zona bajo diferentes condiciones de manejo agrícola (aplicación de riego oportuno y tradicional) y para condiciones climáticas extremas.

El análisis de los resultados mostró una considerable disminución del transporte de residuos de plaguicidas fuera de la zona radicular de los cultivos al proponer la aplicación de los riegos en calendarios y láminas acordes con la variación de las condiciones climáticas y al contenido de humedad del suelo. De esta manera el sentido vertical del flujo en la zona radicular se invierte (de lixiviación a evapotranspiración), evitando la migración, presentándose ésta sólo en las ocasiones de presencia de precipitaciones, que por su naturaleza aleatoria, no son fácilmente controlables.

## **OBJETIVOS**

En consecuencia con la hipótesis general del estudio, donde mediante el conocimiento de los mecanismos que rigen el movimiento de los plaguicidas en el suelo y su síntesis en modelos de simulación combinados con un adecuado conocimiento del medio, es posible conocer y prever efectos, consecuencias e impactos de los residuos de los pesticidas en el medio ambiente y además establecer medidas de control y manejo racionales, se plantean los siguiente objetivos:

#### Generales:

- a) Analizar, mediante simulación, las tendencias de migración de plaguicidas en el subsuelo del Distrito de Riego 085 "La Begoña".
- b) Demostrar el riesgo de contaminación del agua y suelo por agroquímicos.
- c) Proponer soluciones viables para la disminución del riesgo ambiental de los plaguicidas.

#### Particulares:

1. Hacer un estudio sobre el estado del arte del uso de plaguicidas en la agricultura y su riesgo para los recursos hídricos.
2. Aplicar la tecnología y los conocimientos actuales para elaborar un diagnóstico del impacto del uso de plaguicidas en el DR 085.
3. Analizar diferentes escenarios técnicamente factibles, relacionados con la evolución de las tendencias agrícolas, para normar el tratamiento fitosanitario adecuado de tal manera que provoque el menor daño, con el fin de mantener, en lo posible, el equilibrio ambiental.

## INTRODUCCIÓN

Existe la creencia de que los plaguicidas son esenciales y que sin el uso generalizado de estas sustancias tóxicas al medio ambiente, no sería posible alimentar al mundo hambriento. Según Igbedioh (1991) son dos los factores importantes que inducen al uso intensivo de los agroquímicos: el incremento de la población mundial y el incremento en la demanda por materias primas, bienes de consumo, agua, energía y espacio para vivir.

En la actualidad el hombre no puede prescindir del uso de los plaguicidas químicos; podrán sustituirse unos productos por otros menos persistentes, menos tóxicos, o los que den menos residuos, pero el uso de los agroquímicos seguirá vigente durante mucho tiempo. Lo importante es tomar las medidas necesarias para que el empleo de los plaguicidas constituya un riesgo mínimo de contaminación del ambiente, ofreciendo la máxima seguridad. El factor preponderante en este aspecto es la educación del usuario, más que las medidas coercitivas.

Los plaguicidas se utilizan en muchas áreas de la actividad humana, pero las dos de mayor importancia son la salud pública y la agricultura. Es esencial considerar la repercusión de los plaguicidas o de sus residuos y metabolitos en el medio ambiente y, en definitiva, sobre el hombre. Es importante evaluar cuidadosamente todos los riesgos para evitar los daños permanentes a los organismos beneficiosos a los cuales no se destina el plaguicida: al suelo, al aire, al agua y a otros recursos importantes que podrían reducir la calidad de vida.

Los contaminantes que llegan a depositarse en la superficie del suelo migran a través del subsuelo al ser arrastrados por el agua, llegando al nivel freático del terreno y posteriormente son arrastrados hasta ríos subterráneos y superficiales. Estos ríos finalmente descargan en una cuenca o acuífero donde se aprovecha el agua con fines domésticos o en agricultura. Por lo anterior, es importante identificar y controlar las fuentes de contaminación del agua en el subsuelo, así como estimar los niveles actuales y posibles de contaminación.

El problema de la contaminación ocupa hoy la atención de todo el mundo. El progreso tecnológico registrado en los últimos 60 años ha agudizado el problema. Este progreso no puede anularse, pues de él hemos recibido beneficios. Aplicada esta lógica al uso de los plaguicidas, la posición más adecuada es la de aceptar sus beneficios estudiando las posibles soluciones a los problemas que plantean (Cooper, 1991). Pero la pregunta es: ¿Los beneficios de los plaguicidas exceden sus riesgos? La respuesta correcta es que

los beneficios del manejo de agroquímicos deben de ser balanceados respecto a la contaminación potencial de las aguas superficiales y subterráneas. Los problemas de los plaguicidas deben de ser tratados como parte de la estrategia integral que busca la solución más rápida, práctica y económica y que pueda ser sustentable en el futuro.

Las líneas políticas para combatir la contaminación no puntual del agua se enfrentan a muchas dificultades por la gran variedad de fuentes de contaminación. Originalmente la contaminación del agua fue un problema local creado principalmente por fuentes de contaminación puntuales fácilmente identificables y regulables. Sin embargo, la creciente confianza en el uso de agroquímicos en los sistemas agrícolas, su uso extensivo y la ampliación de las aplicaciones de plaguicidas han empeorado la situación. Esto ha intensificado la preocupación por la excesiva contaminación de los cuerpos de agua por fuentes agrícolas no puntuales.

La contaminación no puntual, como por ejemplo la contaminación por agroquímicos se caracteriza por su naturaleza episódica. Una intensa lluvia suele ser el factor determinante, a diferencia del flujo de descarga más regular de las fuentes puntuales. Estas características relativas a tipo de fuente y la periodicidad pueden hacer necesaria una variedad de tecnologías de control para lograr una eficaz disminución del problema.

La lucha contra la contaminación no puntual esta determinada también por la naturaleza de las actividades humanas que causan el problema. Por ejemplo, la contaminación producida por las tierras de un agricultor depende no solamente del régimen de lluvias y de las características del terreno (pendiente y textura del suelo), sino también de muchas decisiones anteriores sobre el aprovechamiento de la tierra y la producción, incluidas la elección de los cultivos, las prácticas de labranza y la utilización de plaguicidas y fertilizantes (FAO, 1994).

Existen relaciones evidentes entre la calidad del agua y las prácticas de manejo de fertilizantes y plaguicidas (EPA 1987 y 1988, Pratt 1985), por lo que la contaminación de las aguas subterráneas por fuentes no puntuales (por ejemplo agroquímicos) surge como el mayor problema ambiental de las próximas décadas.

## **ANTECEDENTES**

El gran volumen de plaguicidas introducidos anualmente al ambiente tiene un gran impacto. Existen muchos ejemplos documentados de daños causados por plaguicidas a la salud humana, a la vida silvestre y a la agricultura. Los plaguicidas orgánicos sintéticos están en uso desde hace más de 50 años, pero una vez introducidos, se convirtieron rápidamente en la herramienta dominante de control de plagas. Además, por el cambio de las necesidades en el control de plagas, en las condiciones de cultivos o en los "status" legal de algunas sustancias, a menudo hay un cambio repentino en el padrón del uso de plaguicidas, presentándose una gran cantidad de nuevos materiales introducidos en el ambiente en corto plazo. Nuestra comprensión de las consecuencias de las características de los agroquímicos involucrados se ha desarrollado mucho más lentamente que el uso de los mismos químicos, por lo que existe la necesidad de una mayor investigación en casi todas las áreas del impacto de los plaguicidas.

### ***Investigaciones sobre el Impacto de plaguicidas en el ambiente***

El interés público en la regulación para proteger el ambiente frente los impactos adversos de plaguicidas ha aumentado durante los últimos años. Desde el inicio, en los años 40's, las ventajas del control de plagas con estos compuestos potentes y relativamente baratos fueron desafiados a pesar de las evidencias de sus efectos secundarios que se mostraron rápidamente (CDFA, 1978).

En los años 60's las investigaciones se enfocaron en esclarecer los efectos locales de las operaciones agrícolas, como la degradación de la calidad del agua superficial. Desde la mitad de los 60's hasta los principios de los 80's el enfoque del problema de la calidad del agua era en el transporte de los agroquímicos en el sedimento y en el escurrimiento (Stewart *et al.*, 1976; Willis y McDowell, 1982). Se desarrollaron prácticas de conservación de suelo y de la calidad de agua para controlar la erosión de suelo, así como controlar el transporte de fertilizantes y plaguicidas en el sedimento (Stewart *et al.*, 1975).

En la actualidad el interés por el estudio de la contaminación del agua se ha incrementado considerablemente. Esto se debe a las crecientes demandas del agua y al incremento de grandes volúmenes de desechos líquidos que están causando o causarán la degradación del agua, si no se toman las medidas adecuadas. Sin embargo, los estudios de la contaminación por plaguicidas no son suficientes; por ejemplo, muy pocas investigaciones se han hecho sobre el movimiento de plaguicidas hacia las aguas subterráneas. De acuerdo con Walker (1974) es la ignorancia del problema y/o la pobreza de programas de monitoreo, no la ausencia de los plaguicidas, lo que ha llevado a mucha gente a concluir que los plaguicidas no son un riesgo serio para las aguas subterráneas.

En México, el interés sustancial en los estudios del papel de plaguicidas como contaminantes del agua es bastante reciente. En los países en vías de desarrollo no se cuenta con información que permita valorar el grado de contaminación ni su influencia sobre el ecosistema. Para la mayoría de los plaguicidas sólo se tiene un conocimiento superficial sobre sus efectos a largo plazo en el ecosistema. Por ello es necesario brindar mayor atención al ritmo de acumulación de los plaguicidas y productos de su degradación en suelos y aguas y a las interrelaciones entre varias combinaciones de plaguicidas con la microflora y fauna edáficas (Ortega, 1976).

La contaminación del agua en el subsuelo es un tópico de gran importancia en el control de la contaminación del medio ambiente. Para estimar niveles de contaminación y migración de contaminantes en el agua que fluye a través del subsuelo, es necesario desarrollar programas computacionales y técnicas experimentales acordes a este tipo de estudio. Sin embargo, la calidad de los datos disponibles es uno de los mayores problemas involucrados en la evaluación de los impactos de plaguicidas en cualquier ecosistema. La calidad de la información varía considerablemente de acuerdo con el fenómeno y organismos estudiados, y en general requiere mejorarse. Los datos más deficientes se encuentran en el estudio de parcelas, donde se ha intentado evaluar, con base en los estudios de campo, los efectos crónicos directos en las especies o el daño ecológico secundario que ocurre como resultado del uso de plaguicidas. Las numerosas variables de clima, suelo, vegetación y otros organismos interactivos en una comunidad, todos contribuyen en la dificultad de evaluar el impacto potencial sobre la vida silvestre y humana (CDFA, 1978).

### ***Problemática existente en el Distrito de Riego 085 "La Begoña"***

Una peculiaridad de este Distrito de Riego reside en la estratificación social de los usuarios. La posición social está determinada sobre todo por la posibilidad de acceso al agua, dado el alto índice de sobreexplotación del acuífero. Otra característica es que la mayor parte de la superficie sembrada es de cultivos perennes y de hortalizas, mismos que exigen gran cantidad de agua en una región donde su escasez es crucial.

### ***La contaminación de los recursos hídricos en "La Begoña"***

La calidad de las aguas superficiales en la corriente colectora principal de la entidad, el Río Lerma, presenta condiciones de contaminación considerables en sus 330 km de recorrido por el estado, destacando 70 km como la zona de más alta contaminación donde recibe las aguas residuales sin tratamiento previo de la ciudad de Salamanca e industrias predominantemente del giro petroquímico (Traconis, 1990). Las otras corrientes principales del estado como el Río Guanajuato y el Río Turbio, también presentan deterioro en la

calidad de sus aguas, con abatimiento en los niveles de oxígeno disuelto e incremento de los contaminantes específicos como materia orgánica, plaguicidas, metales, etc. (Aguilar, 1990).

Diversos estudios sobre la contaminación del agua en el estado de Guanajuato revelan que el 60% del agua superficial está altamente contaminada, el 25% medianamente contaminada y solamente el 15% tiene calidad aceptable para los usos que se le destinan (consumo, riego o uso industrial). En relación a las aguas subterráneas, los estudios indican una contaminación relevante en el valle de León, Irapuato, Celaya y Salamanca, donde el uso, manejo y disposición de las aguas residuales (que sin tratamiento generan los sectores urbanos e industriales), ha ocasionado la infiltración de contaminantes a niveles significativos (Traconis, 1990).

En resultados obtenidos por investigaciones previas (IMTA, 1994), los nitratos totales en aguas superficiales presentan valores superiores a los permitidos para el control de la eutroficación (2 mg/l) y en las aguas subterráneas los valores son más altos que los límites permisibles para uso urbano (0.2 mg/l), lo cual indica un riesgo para la salud. Los fosfatos totales en aguas superficiales son superiores a los límites establecidos para aguas residuales municipales antes de ser tratadas (10 mg/l), mientras en aguas subterráneas se tienen valores desde 0.1 hasta 49.0 mg/l, lo que significa problemas de contaminación de las mismas. En sulfatos totales, los valores son inferiores a los límites permisibles para uso urbano y agrícola.

Las fuentes de contaminación puntual de las aguas superficiales son las aguas descargadas de los poblados de Comonfort, Empalme Escobedo e Industria Soria; además hay contaminación por la basura arrojada al cauce del Río Laja y canales, así como el lavado de ropa y de productos agrícolas.

Una de las fuentes de contaminación que deterioran las aguas subterráneas es el proceso de lixiviación de contaminantes en el cauce del Río Laja, en los drenes y en los suelos agrícolas después de la aplicación de riegos pesados. En México, en general existe una cultura de uso ineficiente del agua de riego, por lo que se aplican en promedio dos riegos más por cultivo que las especificaciones técnicas del INIFAP (*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias*), con la esperanza de que la humedad permanezca más tiempo en el suelo. Con la finalidad de prevenir y controlar la contaminación es conveniente iniciar un programa de vigilancia para que se disminuya la cantidad de fertilizantes y plaguicidas aplicados y que las láminas de riego sean adecuadas, ya que en área de la Margen Izquierda del DR 085 están los suelos arenosos y existe el riesgo de contaminar las aguas subterráneas.

## METODOLOGÍA

### **Estado del arte**

Con el fin de conocer y entender mejor los factores más importantes que contribuyen en los procesos que provocan la contaminación por plaguicidas, se realizó una amplia investigación bibliográfica de las siguientes áreas:

- Contaminación de los recursos hídricos, principalmente de los acuíferos.
- Características de los plaguicidas y el riesgo de su uso.
- Estudio de los conceptos de los modelos de simulación, enfocándose en los modelos EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*) y CREAMS (*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*).

## Bases de datos

Para la adquisición, sistematización y análisis de la información cruda y procesada se siguieron los lineamientos que se describen a continuación.

- Trabajo de campo (adquisición de información): Se recurrió a los archivos detallados, creados y utilizados por los canaleros del Modulo de Riego Margen Derecha del DR 085 (anexo 3) para obtener la información relativa a: planos catastrales del módulo, superficies asignadas, fechas y láminas de riego, fechas y dosis de fertilización, fechas y dosis de plaguicidas aplicados, fechas de siembra y cosecha. Con la información obtenida se elaboraron:
  - Las bases de datos individuales para cada predio o parcela, donde se especifican con claridad los itinerarios técnicos o historial de la parcela.
  - Los archivos de suelos empleados en la simulación.
- Para la descripción de los cultivos se empleó la información fisiológica compilada por el USDA (*United States Department of Agriculture*) y el INIFAP, relativa a características de los mismos: eficiencia energética, índice de cosecha, tasa de variación del índice de superficie foliar, porte, profundidad de raíces, etc.
- Plaguicidas y fertilizantes: Se empleó la información de los archivos del USDA para describir los principales plaguicidas (anexo 3) y fertilizantes existentes en el mercado.

## Clima

### Tiempo real

Para el análisis real y efectivo del sistema se requiere conocer el estado del medio ambiente en el momento de las intervenciones técnicas o culturales (voluntarias), así como para determinar y explicar la dinámica del sistema en el tiempo. Se empleó la información obtenida por una estación climatológica automatizada que captura en intervalos de cinco minutos y elabora concentrados estadísticos por hora y día. Las variables consideradas son: radiación solar incidente, temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y precipitación.

### Histórico

A fin de analizar la probabilidad del estado del tiempo, se realizó un estudio estadístico para la probabilidad de ocurrencia de algunos eventos. Los resultados del análisis se muestran en el Cuadro 1. La información se obtuvo de los archivos del Servicio Meteorológico Nacional (CLICOM) para un periodo de 30 años de la estación climatológica de Celaya. Las normales climatológicas pueden emplearse para generar datos diarios. El modelo EPIC contiene una opción que llama a una subrutina de generación de datos diarios cuando se desea hacer análisis a futuro.

Cuadro 1: Normales climatológica para un periodo de 30 años de la región de Celaya, Gto.

Variable	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temperatura máxima	23.1	25.4	29.2	31.8	32.7	30.6	29.3	29.1	28.1	26.7	25.0	23.2
Temperatura mínima	6.1	7.3	9.8	12.3	14.4	14.9	14.0	13.9	13.3	10.8	8.2	6.5
Desviación est. de temperatura máx.	4.3	4.4	3.9	3.3	3.8	4.3	3.7	3.6	3.5	3.6	3.5	4.4
Desviación est. de temperatura mín.	3.1	3.5	3.2	3.0	2.7	2.3	2.4	2.2	2.6	3.5	3.3	3.3
Precipitación	12.6	7.3	10.0	15.7	39.9	124.6	136.5	130.6	116.8	35.4	13.3	10.7
Desviación est. de la precipitación	6.35	5.91	7.35	8.25	10.35	10.57	11.32	11.31	13.05	11.63	7.87	7.01
Sesgo de la precipitación	2.235	1.416	3.801	2.805	3.978	1.861	2.103	1.959	2.638	3.259	2.509	5.307
Probab. de lluvia dado un día seco	.051	.040	.042	.068	.123	.272	.326	.285	.205	.101	.053	.044
Probab. de lluvia dado un día húmedo	.364	.196	.387	.202	.406	.619	.572	.568	.612	.378	.282	.407
Días promedio con lluvia	2.3	1.3	2.0	2.3	5.3	12.5	13.4	12.3	10.4	4.3	2.1	2.1

## Suelos

Se elaboró un mapa de suelos para asignarle a cada parcela del distrito de riego el archivo de suelos correspondiente. La información se recopiló del estudio agrológico existente en el DR que sirvió para la construcción del mismo, y de las cartas edáficas del INEGI. Por la imposibilidad física y por el volumen de la información generada sólo se analizó la dinámica para un sólo tipo de suelo, cuyas características se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Información edafológica utilizada para la ejecución de las simulaciones

Profundidad (m)	.01	.16	.30	.30	.46	.63	.60	.78	.90	1.20	total
Porosidad (m/m)	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.495
Capacidad de campo (m/m)	.328E	.325									
Pmp (m/m)	.185E	.192									
Humedad aprovechable (m/m)	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.259
Conduc. hidr. a saturación (mm/h)	5.40E	-									
Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.60
Arena (%)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	45.0
Limo (%)	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	-
Arcilla (%)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	22.0
Grava (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
PH	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	7.9	7.9	7.8
Suma de bases (Cmol/Kg)	8.1E	8.1E	8.1E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	7.9	7.9	7.8
CEC (Cmol/Kg)	8.1E	8.1E	8.1E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	7.9	7.9	7.8
CaCO <sub>3</sub> (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
P Org (g/T)	188E	3009									
NO <sub>3</sub> (g/T)	1.0E	0E	0E	0E	0E	0	0	0	0	0	1.0
C Org (%)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	-
Residuos de cultivo (T/ha)	1.00E	.80E	.80E	.02E	.02E	.02E	.02E	.02E	0	0	2.68

E= estimado

## Simulación

Para la manipulación de las bases de datos (creación, modificación y simulación) se elaboró una interfase (anexo 1) que permite el manejo interactivo del sistema, con la cual, cualquier usuario no especializado puede efectuar el tipo de operación que desee: sistematizar la información, simplificar la entrada de variables de estado al mínimo indispensable, utilizar las bases de datos estáticas y comunes de manera interactiva, alimentar los modelos con la información de la base de datos respectiva, ejecutar las simulaciones, consultar los resultados. La información acerca del estado del sistema se concentra en las bases de datos espaciales: un paquete respectivo a cada predio o usuario. La información temporal se genera por modelación del comportamiento del sistema en cada punto (predio). La gran cantidad de factores que interactúan simultáneamente, así como el desconocimiento de muchos de ellos son frecuentes fuentes de error.

## Análisis de escenarios técnicos

La interfase para el manejo de los sistemas agua-suelo-clima-tecnología (incluidos los plaguicidas) se diseñó para la integración espacial y temporal de los factores y procesos que intervienen en la dinámica de los mismos y para un manejo sistemático (continuo y permanente). La operación efectiva de la interfase sólo será posible con la actualización continua de la información para todos y cada uno de los usuarios.

En la actualidad, por la complejidad del sistema (un número extremadamente grande de eventos posibles) sólo se seleccionaron algunos casos muy probables, aunque hipotéticos, que reflejan adecuadamente, por su frecuencia, la problemática de la zona.

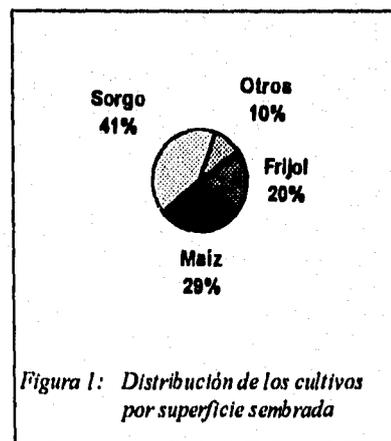


Figura 1: Distribución de los cultivos por superficie sembrada

Los cultivos analizados se seleccionaron por la importancia en extensión cultivada y en uso del agua. Con base en el análisis de la base de datos de riegos se construyó la Figura 1 mostrando la distribución de la superficie cultivada (y regada) entre los diferentes cultivos del ciclo primavera-verano. En la zona analizada para el ciclo agrícola mencionado, los cultivos más importantes (en orden de importancia) son: sorgo, maíz, frijol, jicama, ajo, cebolla y zanahoria, mientras que en los cultivos perennes se destaca la alfalfa.

### Itinerarios técnicos

De la información de campo (se muestra un fragmento en el anexo 3) se determinaron los itinerarios técnicos para todos y cada uno de los predios. La información contempla los tipos de operaciones incluyendo las fechas de siembra, cosecha, riegos y aplicación de agroquímicos y dosis (Cuadro 3).

Cuadro 3: Prácticas agrícolas en 1994 en cultivos de primavera-verano y perennes más comunes en el Distrito de Riego 085

Cultivo	Siembra	Plaguicidas	Dosis	Fitosa	Riegos	Cosecha
maíz	20 mzo-30 abr 1 mayo-30 jun	Gesaprim 50 Gesaprim Combi Gesaprim 50 + Gesagard Primagram 50 Gesaprim 50 + 2,4-D Malathion 1000 E Parathion Metílico	2-3 lt/ha 2-3 lt/ha 2+1 lt/ha 3 lt/ha 2+1 lt/ha 1lt/ha 0.75 lt/ha	preemergente preemergente preemergente preemergente 10-15 días de emergido 20-30 días post-siembra 20-30 días post-siembra	1) presiembra 2) 45-50 días post-siembra 3) 60 días después del último riego	15 sep-30 oct
sorgo	20 mzo-30 abr 1 mayo-30 jun	Gesaprim 50 Gesaprim Combi Gesaprim 50 + Gesagard Primagram 50 Gesaprim 50 + 2,4-D Malathion 1000 E Parathion Metílico	2-3 lt/ha 2-3 lt/ha 2+1 lt/ha 3 lt/ha 2+1 lt/ha 1lt/ha 0.75 lt/ha	preemergente preemergente preemergente preemergente 10-15 días de emergido 20-30 días post-siembra 20-30 días post-siembra	1) en la siembra 2) 45 días post-siembra 3) 60 días desp. del segundo riego 4) 60 días desp. del último riego	15 sep-30 oct
frijol	1 feb-10 mzo	Diazinon 25% E Dimetato 40E Sevin 80% PH	1 lt/ha 1 lt/ha 1kg/ha	20-30 días de emergido 20-30 días de emergido 30-45 días de emergido	1) siembra 2) 45 días después 3) 60 días después del último riego	20 sep-15 oct
alfalfa	15 nov-15 ene	Parathion Metílico 3%	20 kg/ha	abril - mayo	4 días antes del primer corte y uno por cada corte posterior	primer corte a los 90 días post-siembra y desp. c/30 días

Fuente: Información proporcionada por el Distrito de Riego 085, Gto.

### Plaguicidas

Las características de los agroquímicos aplicados principalmente en sorgo, maíz, frijol y alfalfa se enlistan en el Cuadro 4. De los plaguicidas reportados como de uso común en la región, se seleccionaron algunos para las simulaciones en los escenarios seleccionados (Cuadro 5). En el Cuadro 6 y Cuadro 7 se indican las fechas de siembra, aplicación de los plaguicidas y calendario de riegos tradicionales para los cultivos considerados en los escenarios descritos.

Cuadro 4: Características de plaguicidas aplicados en el DR 085 "La Begoña", Gto.

nombre comercial	nombre común	tipo químico	ingrediente activo	presentación	dosis/ha	presentación	tipo
Diazinon 25% E	Diazinon	OP	25%	CE	1 lt	poca	IA
Dimetato 40E	Dimetato	OP	38.50%	CE	1 lt	poca	I
Sevin 80% PH	Carbaryl	C	80%	PH	1 kg	14-21 días	I
Gesaprim 50	Atrazina	T	50%	PH	2 lt	mediana	II
Gesaprim Combi	Atrazina + Terbutrina	T	21% + 21.9%	SA	2.5 lt	mediana	II
Gesagard 50 PH	Prometrina	T	50%	SA	1 lt	3 meses	II
Primagram 50	Atrazina + Metolaclor	T	23.3% + 23.3%	SA	3 lt	mediana	II
Herbamina	2,4-D	OC	49.60%	SA	1 lt	poca	H
Malathion 1000 E	Malathion	OP	83.70%	CE	1 lt	poca	I
Parathion Metílico	Parathion Metílico	OP	50%	CE	0.75 lt	ligera	I
Parathion Metílico 3%	Parathion Metílico	OP	3%	P	20 kg	ligera	I
Afalon	Linuron	U	50%	PH	1 kg	3 meses	II

Fuente: Catálogo Oficial de Plaguicidas 1993.

Tipo químico: OC = organoclorado, OP = organofosforado, T = trisínico, C = carbamato, U = derivado de urea. Tipos según el organismo controlado: II = herbicida, I = insecticida, IA = insecticida acaricida. Tipo de presentación: SA = solución acuosa, CE = concentrado emulsionable, P = polvo, PH = polvo humectable.

Cuadro 5: Base de datos de plaguicidas introducida en el modelo EPIC para la simulación

nombre comercial	nombre común	nombre usado por EPIC	dosis de ingr. activo (kg/ha)	coeficiente de partición	fracción de lavado	vida media en follaje (días)	vida media en suelo (días)	solubilidad (ppm)
Hierbamina	2,4-D	2,4-D	0.5	74.0	0.45	9.0	10.0	900.0
Parathion Metílico	Parathion Metílico	Methyl Parathion	0.6	14,000.0	0.65	3.0	5.0	60.0
Gasaprim	Atrazina	Aatrex	1.0	100.0	0.50	2.0	60.0	33.0
Sevin	Carbarilo	Sevin	0.8	229.0	0.55	7.0	7.0	40.0
Dimetoato	Dimetoato	Cygon	0.4	9.0	0.95	3.0	7.0	25,000.0
Diazinon	Diazinon	Spectracide	0.25	227.0	0.90	2.0	30.0	0.4

Cuadro 6: Fechas de las actividades agrícolas consideradas en la simulación

cultivo	maíz			frijol			sorgo			alfalfa	
	plaguicida	2,4-D	Parathion	Gasaprim	Sevin	Dimetoato	Diazinon	2,4-D	Parathion	Gasaprim	Parathion
caso	1-3, 7-8	5	6	1-3	5	6	1-3	5	6	1-3	1-3
siembra	15/05	15/05	15/05	15/02	15/02	15/02	15/02	15/05	15/05	15/05	01/01
aplicación	30/05	10/06	30/05	15/03	15/03	15/03	15/03	30/05	10/06	30/05	20/05
1. riego	10/05	10/05	10/05	15/02	15/02	15/02	15/02	15/05	15/05	15/05	30/01
2. riego	30/06	30/06	30/06	30/03	30/03	30/03	30/03	30/06	30/06	30/06	30/02
3. riego	30/08	30/08	30/08	30/05	30/05	30/05	30/05	30/08	30/08	30/08	30/03
4. riego	-	-	-	-	-	-	-	30/10	30/10	30/10	15/05
cosecha	15/11	15/11	15/11	30/06	30/06	30/06	15/11	15/11	15/11	15/11	*

Nota: En el caso de alfalfa, se aplicaron 9 riegos en total y se cosechó 7 veces. Las fechas de riegos y cosechas se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Fechas y láminas de riego y fechas de cosecha en riego tradicional para la alfalfa

Nº. de riego	1	2	3	4	5	6	7	8	9
fecha	01/01	30/01	30/02	30/03	15/05	30/06	15/08	30/09	15/11
lámina	400	400	400	400	400	400	400	400	400
cosecha	-	-	15/03	30/04	15/06	30/07	15/09	30/10	30/12

## Riegos

En el distrito de riego, por la rigidez en la operación y la costumbre de los agricultores, los riegos se aplican de manera tradicional, es decir, para cada cultivo se establece un número de riegos fijo, independientemente del tipo de suelo, clima o condiciones del cultivo. Esta situación induce a un uso irracional del recurso. De la misma manera, por comodidad y economía, las láminas de riego se han establecido indistintamente a 400 mm. Los datos reportados en el Cuadro 7 se presentan en forma gráfica en la Figura 2 con el propósito de mostrar el exceso de aplicación de agua en los cultivos y la gran diferencia entre los cultivos anuales y los perennes (alfalfa). En la actualidad se tiende a aplicar láminas de riego cada día mayores porque es más alto el salario de un regador que la cuota del agua establecida.

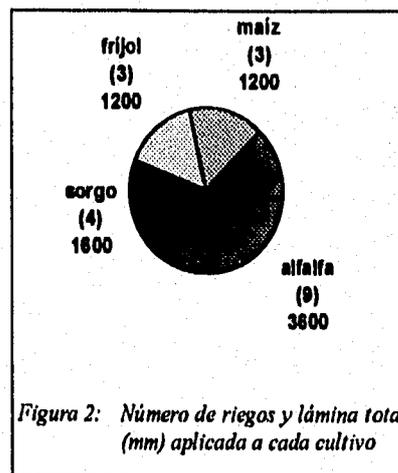


Figura 2: Número de riegos y lámina total (mm) aplicada a cada cultivo

## Escenarios seleccionados

Con el fin de evaluar el impacto del volumen de la precipitación, tipo de manejo (uso de riego oportuno respecto al riego tradicional), valor del coeficiente de partición y tipo de plaguicida sobre el riesgo de contaminación por agroquímicos se analizaron los escenarios descritos en el Cuadro 8.

En la selección de algunos itinerarios técnicos para su análisis, se consideraron aquellos que se presentaban con mayor frecuencia. Se simulan climas extremos hipotéticos y calendarios de riegos acordes a la dinámica del sistema (cuando el cultivo lo requiera) a fin de no aplicar excesos de agua. El Cuadro 8 resume los diferentes escenarios simulados. En los casos 6, 14, 20 y 24 se aplicó el riego oportunamente en cantidades y momentos. La diferencia entre el riego oportuno y tradicional reside en que el tradicional implica que los

riegos se aplican en fechas establecidas por el INIFAP, pero por las condiciones físicas del DR y culturales de los agricultores las cantidades se establecen arbitrariamente. Riego oportuno significa aplicar el riego en el momento en que la humedad aprovechable del suelo alcanza el 50% y se aplica la cantidad justa para restituir el suelo a su capacidad de almacenamiento. El modelo proporciona, mediante balances diarios, las fechas y cantidades de riego oportuno, considerando el tipo de cultivo, evapotranspiración y escurrimiento, entre otros factores.

Para los casos de clima lluvioso y seco (casos 2, 3, 10, 11, 14, 15, 20 y 21) las precipitaciones son simuladas con base en un simulador de clima, considerando para un año lluvioso la precipitación media mensual más la desviación media de la normal, y para un año seco la precipitación media mensual menos la desviación media de la normal.

Se construyeron miniprogramas (macros) para la automatización y mejor presentación de los resultados de la simulación. Con el apoyo de paquetes Lotus 123 y Excel se graficaron las salidas de la simulación, como sustento de los datos numéricos mucho menos representativos.

Acorde a los objetivos del programa, la atención se centró sobre la dinámica del agua en el suelo y su influencia en la movilidad de los plaguicidas. El modelo simula la concentración de plaguicidas en el suelo, follaje, escurrimiento superficial (fase líquida y sedimento) y hacia los drenes y acuíferos. Con base en las gráficas y tablas obtenidas de la simulación se compararon los diferentes escenarios.

Cuadro 8: Resumen de escenarios simulados

No.	Cultivo	Plaguicida	Clima	Riego
1	maíz	2,4-D	normal	tradicional
2	maíz	2,4-D	lluvioso	tradicional
3	maíz	2,4-D	seco	tradicional
4	maíz	2,4-D	normal	oportuno
5	maíz	Parathion Metílico	normal	tradicional
6	maíz	Gesaprim	normal	tradicional
7	maíz	2,4 D (K <sub>4</sub> 100x mayor)	normal	tradicional
8	maíz	2,4 D (K <sub>4</sub> 100x menor)	normal	tradicional
9	alfalfa	Parathion Metílico	normal	tradicional
10	alfalfa	Parathion Metílico	lluvioso	tradicional
11	alfalfa	Parathion Metílico	seco	tradicional
12	alfalfa	Parathion Metílico	normal	oportuno
13	frijol	Sevín	normal	tradicional
14	frijol	Sevín	lluvioso	tradicional
15	frijol	Sevín	seco	tradicional
16	frijol	Sevín	normal	oportuno
17	frijol	Dimetoato	normal	tradicional
18	frijol	Diazinon	normal	tradicional
19	sorgo	2,4-D	normal	tradicional
20	sorgo	2,4-D	lluvioso	tradicional
21	sorgo	2,4-D	seco	tradicional
22	sorgo	2,4-D	normal	oportuno
23	sorgo	Parathion Metílico	normal	tradicional
24	sorgo	Gesaprim	normal	tradicional

## LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LA CONTAMINACIÓN

El público, incluyendo las comunidades rurales agrícolas, está justificablemente interesado en la problemática relacionada con el agua. Dado que no hay suficiente dinero disponible para la limpieza de los recursos hídricos, la línea política que toma más fuerza en la actualidad es la prevención de la contaminación del agua porque es la única estrategia viable para la mitigación de los problemas de la calidad del agua. Aunque es difícil cuantificar la magnitud de la contaminación de las aguas superficiales y especialmente de las aguas subterráneas, es obvio que los recursos hídricos están amenazados por la contaminación creciente de manera drástica (Canter 1987). Con el fin de conservar los recursos hídricos, es necesario incorporar los aspectos de la calidad y la cantidad del agua en la planificación, considerando todos los factores que intervienen, incluyendo la influencia de la agricultura para encontrar el mejor camino para proteger, mejorar o mantener la calidad de los cuerpos de agua.

### Acuíferos

De acuerdo con Bower (1978), se llaman acuíferos las formaciones geológicas contenedoras de agua subterránea suficientemente permeables para transmitir y proporcionar agua en cantidades útiles. La palabra acuífero según Fletcher (1987) es sinónimo de reservorio de agua subterránea, y la característica principal de esta formación geológica son los poros o espacios abiertos saturados de agua.

El agua subterránea es una importante fuente de suministro de agua en todo el mundo; su uso en irrigación, industrias, zonas urbanas y comunidades rurales continua en aumento. El agua subterránea es un importante recurso en todas las zonas climáticas por su conveniente disponibilidad, su excelente calidad y relativamente bajo costo (Todd, 1980). Según Foster (1987a), la explotación del agua subterránea en la región latinoamericana y del Caribe se ha incrementado significativamente en los últimos 20 años como resultado del incremento general de la demanda del agua y del deterioro de la calidad de muchos ríos, a causa de una creciente carga de desagües y efluentes industriales y agrícolas.

### ***La contaminación de las aguas subterráneas***

La mayoría de las aguas subterráneas son de excelente calidad natural en lo que se refiere a claridad y color y raramente parecen estar contaminadas. Sin embargo, como resultado de la contaminación, su composición puede deteriorarse hasta niveles preocupantes para la salud (Foster y Salas, 1987).

Las actividades humanas producen gran cantidad de desechos y provocan perturbaciones en el ciclo hidrológico y en la circulación de las aguas. El problema de la contaminación del aire y de las aguas superficiales se puede resolver a través del proceso legislativo restringiendo o suspendiendo el libre uso de los contaminantes. Por ser la contaminación de las aguas superficiales muy visible, es posible poner en práctica acciones y remedios para evitarla, o al menos reducirla. No ocurre del mismo modo con las aguas subterráneas, que al no ser visibles y estar su explotación muy distribuida, su contaminación casi siempre se descubre por detección en algunos pozos o corrientes, por lo que la acción protectora llega con frecuencia tarde. Además cuando la contaminación se hace perceptible, usualmente ya ha alcanzado un importante deterioro en extensión (ITS, 1993).

Los acuíferos subterráneos por la lenta circulación de las aguas, capacidad de adsorción de los terrenos y pequeño tamaño de los canalículos, pueden tardar mucho en mostrar la contaminación y presentan un notable poder depurador frente a muchos agentes contaminantes que varía de acuerdo con el tipo de contaminante. El gran volumen de agua contenida en los acuíferos hace que las contaminaciones localizadas no aparezcan hasta después de un largo tiempo, cuando se hayan desplazado hasta captaciones en explotación.

De la misma manera en que un acuífero se contamina (muy lentamente), el proceso de regeneración es extraordinariamente lento, porque el agua subterránea tiene poca o ninguna capacidad asimilativa debido a su falta de actividad biológica. El período de la descontaminación está en el rango de 10, 100 y hasta miles de años, si es que puede lograrse por medios económicamente viables; sin embargo, frecuentemente el resultado es un acuífero dañado permanentemente (ITS, 1993).

Definir la magnitud de la contaminación del acuífero es extremadamente costoso, y técnicamente discutible. La restitución de las aguas subterráneas contaminadas a su calidad original es casi imposible, por lo que la mejor manera para proteger la calidad de las aguas subterráneas es prevenir la contaminación (Freeze y Chery, 1979).

### ***Origen de la contaminación del agua subterránea***

La contaminación de las aguas subterráneas generalmente está relacionada con las actividades del hombre en la superficie. Para Foster (1987b) las causas pueden dividirse en cuatro grupos distintos de contaminación: a) de origen urbano, b) por mal acabado sanitario de pozos, c) de origen industrial y d) de origen agrícola.

#### ***Contaminación de origen urbano***

Las aguas residuales domésticas y los desechos sólidos contienen altas concentraciones de organismos fecales, materia orgánica y compuestos nitrogenados. Si estas aguas se descargan o se infiltran al subsuelo, el

agua subterránea puede contaminarse por patógenos bacteriales y virales. La mayor amenaza sobre la calidad del agua subterránea se presenta cuando se urbaniza sin alcantarillado en acuíferos vulnerables con niveles freáticos someros, por infiltración de aguas residuales y por lixiviación de desechos domésticos en vertederos.

### ***Contaminación por mal acabado sanitario de pozos***

Una causa muy frecuente de contaminación microbiológica de las aguas subterráneas son las fugas desde el drenaje superficial que contaminan los pozos. También puede ocurrir contaminación en acuíferos confinados si los pozos pasan a través de un acuífero contaminado poco profundo que no está adecuadamente sellado en la parte superior.

### ***Contaminación de origen industrial***

Numerosas industrias producen desechos líquidos con concentraciones elevadas de compuestos orgánicos peligrosos y de metales pesados. En muchos casos los efluentes que contienen tales sustancias químicas se descargan en el ambiente sin previo tratamiento para reducir sus efectos nocivos. Estos efluentes penetran en el agua subterránea por infiltración de las lagunas, de fosas y de ríos, o por lixiviación de deposiciones en el suelo.

### ***Contaminación de origen agrícola***

Las actividades agrícolas siempre ejercen una gran influencia sobre la calidad del agua subterránea y pueden causar serios problemas bajo ciertas circunstancias. Su influencia es grande porque normalmente se realiza sobre áreas de recarga de acuíferos (Vrba y Romijn, 1986). De especial preocupación es el monocultivo consecutivo durante muchos años sobre áreas extensas con grandes aplicaciones de fertilizantes químicos y plaguicidas. A esto puede agregarse la influencia de la irrigación excesiva que resulta en la lixiviación de sales, fertilizantes y plaguicidas hacia las aguas freáticas y acuífero.

Aunque la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por fuentes no puntuales tiene numerosas orígenes, estudios recientes sugieren que las prácticas agrícolas crean una significativa contribución a la solución de los problemas de la calidad del agua (Isensee y Sadeghi, 1993). Los principales agroquímicos de interés en el escurrimiento son los fertilizantes (fósforo y nitrógeno) y los plaguicidas. El uso creciente de fertilizantes y plaguicidas y la implementación de ciertas prácticas de conservación del suelo, ha afectado el transporte superficial o subterránea de los contaminantes del agua (Daniel *et al.*, 1982).

La magnitud de la contaminación no puntual de los recursos hídricos varía en el espacio y en el tiempo. Las variaciones dependen de la distribución de la tierra, clima, topografía, geología del subsuelo, uso y estrategias del manejo de la tierra e intensidad de la aplicación de agroquímicos. En general, la intensidad del uso de la tierra es directamente proporcional al potencial de los problemas de la calidad del agua (Mostaghimi S. *et al.*, 1993, Pye y Patrick 1983).

### ***Evaluación y prevención de la contaminación del agua subterránea***

El primer paso hacia la protección de las aguas subterráneas es tomar conciencia de la escala y seriedad del problema. A largo plazo, el público, una vez informado y organizado, puede jugar un papel importante en dicha protección, reduciendo las posibles fuentes de contaminación con el simple cambio en sus prácticas agrícolas tradicionales.

El grado en que la actividad agrícola debe ser limitado o restringido para reducir sus efectos sobre la calidad del agua subterránea es un debate controversial; sin embargo, ejercer más control sobre la irrigación, sobre el tiempo de aplicación de fertilizantes y plaguicidas, y limitar las cantidades máximas aplicadas, será

en muchos casos benéfico para los intereses de la sociedad sin detrimento significativo de la producción agrícola.

La evaluación del riesgo de contaminación de los acuíferos es una tarea difícil, pero en términos generales dependerá de dos grupos de factores: 1) la vulnerabilidad natural del acuífero y 2) el tipo, cantidad y manera de aplicación del agroquímico. A continuación se analizarán estos factores.

## PLAGUICIDAS

Los plaguicidas son sustancias naturales o sintéticas usadas para eliminar plagas animales o vegetales. Son usados principalmente en la agricultura, en jardinería, en veterinaria, en productos de higiene para el hogar y en protección a la salud. Su nombre se deriva de las palabras latinas *pestis* plaga y *caedere* matar (USDA-SCS, 1992).

### **Definición de plaguicidas**

En la literatura existen varias definiciones de plaguicidas. Según el Catálogo Oficial de Plaguicidas (CICOPLAFEST, 1993) el plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas y animales, así como las especies no deseables que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal. Según Barbera (1978) se define como plaguicida agrícola todo producto químico destinado a evitar o combatir cualquier especie de planta o animal indeseables, e incluye asimismo toda sustancia destinada a utilizarse como regulador del crecimiento vegetal. El componente esencial de un agente para el control de plagas es el ingrediente activo.

Todos los plaguicidas son, por definición, tóxicos para ciertos organismos vivos, aunque la toxicidad se puede minimizar por el uso racional (Igbedioh, 1991).

### **Clasificación de plaguicidas**

El Catálogo Oficial de Plaguicidas clasifica los plaguicidas de la siguiente manera:

**Concentración:** ingrediente activo (compuesto químico que ejerce la acción plaguicida), plaguicida técnico (la máxima concentración del ingrediente activo obtenida como resultado final de su fabricación) y plaguicida formulado (mezcla de uno o más plaguicidas técnicos con uno o más ingredientes conocidos como inertes).

**Estado físico:** sólido, líquido o gaseoso.

**Según organismos que controlan:** insecticida, acaricida, fungicida, bactericida, antibiótico, herbicida, roenticida o molusquicida.

**Modo de acción:** de contacto (actúa principalmente al ser absorbido por los tejidos externos de la plaga), de ingestión (debe ser ingerido por la plaga), sistémico (al aplicarse en plantas o animales se absorbe y traslada por su sistema vascular a puntos remotos en los cuales actúa) repelente (impide que las plagas ataquen) y defoliante (causa la caída del follaje de las plantas).

**Composición química:** inorgánico (compuestos que carecen de carbono), orgánico (la mayoría son de origen sintético, fabricados a partir de compuestos químicos básicos) y biológico (virus, microorganismos o derivados de su metabolismo, formulados como insumos, que pueden controlar a una plaga en particular).

**Persistencia:** Conforme al tiempo que transcurre entre la aplicación y la degradación ambiental del compuesto: ligeramente persistente (menos de 4 semanas), poco persistente (de 4 a 26 semanas), medianamente persistente (de 26 a 52 semanas), altamente persistente (de 1 a 20 años) y permanente (más de 20 años).

**Uso:** agrícola, forestal, urbano, para jardinería, pecuario, doméstico e industrial.

## ***Uso de plaguicidas***

### **Historia del uso de plaguicidas**

Los agroquímicos tóxicos se utilizan para el control de plagas desde hace miles de años. Los sumerios utilizaron el azufre para el control de plagas desde el año 1000 A.C. Los chinos antiguos, y después los romanos usaban plaguicidas con base en arsénico y mercurio (Cremlyn, 1985). En el siglo XVII apareció el primer insecticida natural, la nicotina. Sin embargo, hasta el fin del siglo XIX, las prácticas culturales que incluyeron la rotación de cultivo, el ajuste de la fecha de siembra y de cosecha para evitar poblaciones "pico" de plagas, la desinfección y la remoción manual de plagas, fueron métodos de control más importantes que el uso de plaguicidas químicos.

Desde el principio de este siglo los plaguicidas sintéticos han tenido un gran impacto en la producción de alimentos y fibras para el consumo humano y animal, tanto en calidad como en cantidad, y han mejorado y salvado salud y vidas. Lo que puede llamarse "la revolución de los plaguicidas" data de 1942, cuando se introdujo el uso de DDT como insecticida, comenzando la era moderna de los plaguicidas orgánicos sintéticos. El control químico de plagas y enfermedades se ha hecho intenso desde la mitad de la década de los 50's con el descubrimiento y síntesis de nuevos compuestos orgánicos.

### **Uso actual**

En la actualidad, los plaguicidas forman parte de la vida cotidiana, ya que casi todo el mundo sufre, en cierto grado, a causa de plagas que son molestas, destructoras, o que son vectores de enfermedades. Por consiguiente, los plaguicidas sintéticos convencionales se han convertido en un arma poderosa y confiable para controlar las plagas. Por otro lado, la sociedad se ha vuelto cada vez más crítica respecto al uso extenso e indiscriminado de varios productos químicos. Se ha argumentado que la única forma confiable de eliminar los riesgos de los plaguicidas es prohibirlos totalmente, pero esta solución, desde luego, no es realista. Tenemos que aceptar que los plaguicidas químicos son en la actualidad una parte importante del control integrado de plagas (Plestina, 1986).

### ***Uso de plaguicidas en México***

Según el Catálogo Oficial de Plaguicidas en el país se permite actualmente el uso de 95 insecticidas, 72 herbicidas, 60 fungicidas, 11 rodenticidas, 7 fumigantes, 4 nematocidas y un molusquicida. Actualmente se fabrican más de 50 ingredientes activos, con un volumen de producción que en los últimos años representa aproximadamente el 60 % de la demanda total. Alrededor del 65% del consumo nacional de plaguicidas se aplica en los cultivos de maíz, sorgo, soya, caña de azúcar, arroz, hortalizas y pastos.

### ***Uso de plaguicidas en la agricultura***

Es indispensable que los países en desarrollo incrementen su producción agropecuaria para satisfacer las demandas de una población que se multiplica vertiginosamente. La producción agrícola implica el manejo

de ecosistemas con muchos aspectos artificiales, con factores climáticos y fisiológicos (todos interactivos) y manipulaciones humanas con el fin de producir un cultivo comercializable. Entre los factores que limitan la producción agrícola y la calidad de las cosechas, están las enfermedades y las plagas, las cuales pueden atacar los cultivos desde que las plantas inician su crecimiento, hasta la cosecha. Para que el incremento de la producción se cumpla con la velocidad requerida, deben concurrir en forma simultánea, armónica y oportuna, un gran número de factores. Entre otros se necesitan prácticas técnicas de sanidad vegetal y animal, donde figuran los plaguicidas como uno de los insumos agropecuarios indispensables (Ortega, 1978).

No hay duda que el uso de agroquímicos es un componente esencial de cualquier sistema de producción agrícola: los fertilizantes orgánicos e inorgánicos mejoran la fertilidad de la tierra y su calidad física, los plaguicidas controlan la maleza, los insectos y otras plagas. Por esta razón, en los últimos años la cantidad de plaguicidas utilizados en la agricultura se ha incrementado considerablemente. Dicho incremento ha ocurrido también debido a que la relación costos contra beneficios obtenida por el uso de plaguicidas es muy favorable (CDFA, 1978). No obstante la importancia económica de estos productos, es necesario destacar que su aplicación indiscriminada y sin control puede ocasionar daños al ambiente, por ejemplo el deterioro de la flora y la fauna silvestres, la contaminación de suelos, mantos freáticos y aguas continentales y costeras, también pueden ocasionar la generación de plagas resistentes (Rojas, 1994 y Flores *et al.*, 1994).

### **Efectos del uso de plaguicidas sobre el medio ambiente**

Los plaguicidas pueden tener efectos tóxicos sobre un amplio rango de organismos a quienes no se destinan, por lo que existe un posible efecto adverso en todos los organismos vivos donde haya plaguicidas presentes. El uso de plaguicidas en la producción agrícola y, en especial, en los tratamientos del suelo, tiene gran importancia por la interacción plaguicida-suelo-agua, y por la posibilidad del impacto adverso de estas sustancias en el ambiente. Especialmente en la aplicación aérea, un porcentaje considerable del producto llega al suelo o a los cuerpos de agua. Lo mismo puede ocurrir con el lavado ocasionado por las lluvias, o bien, a causa del arrastre provocado por el viento, sobre todo, en los tratamientos foliares. Los plaguicidas son transportados desde la superficie del suelo hasta lagos o corrientes, o llegan por percolación a los depósitos de aguas subterráneas.

El efecto de plaguicidas en la vida silvestre puede ser inmediato (agudo) o a largo plazo (crónico). Existen numerosos casos donde miles de peces u otros organismos acuáticos o cientos de pájaros han sido envenenados por plaguicidas en el agua o en los suelos tratados (CDFA, 1978). Así, las prácticas de manejo que afectan las plantas (cultivos y malezas), plagas y sus enemigos naturales, y a todos los seres vivos en un sistema agrícola, pueden impactar al sistema entero (Brauch, 1993, Morioka y Cho, 1992 y FAO, 1994).

### **El destino de plaguicidas**

Por la razón que todo tipo de vida depende del acceso al agua en calidad adecuada, el saber cómo los plaguicidas entran a las corrientes y cuerpos de agua, y entender los procesos que afectan su movimiento, degradación y persistencia en el ambiente, es importante en la evaluación del impacto de los mismos, con el fin de conservar la calidad natural de las aguas superficiales y subterráneas. A continuación se analizan los factores que influyen en el destino de plaguicidas en el ambiente, enfocándose en la contaminación de los acuíferos; se presenta el movimiento de este contaminante desde su aplicación hasta su llegada a los recursos hídricos.

### **Factores del riesgo de contaminación de los acuíferos por plaguicidas**

El riesgo de la contaminación de las aguas subterráneas está en función de muchos factores interrelacionados, como los factores hidrogeológicos, ambientales y culturales y las características del contaminante.

## **Características del plaguicida**

Dos propiedades de plaguicidas pueden ser utilizadas para determinar su potencial para migrar hacia las aguas superficiales o subterráneas: 1) la tendencia del plaguicida de ser adsorbido en las partículas del suelo y 2) su resistencia al decaimiento (persistencia) durante el tiempo de su estancia en el suelo. Plaguicidas con fuerte tendencia de adsorción permanecen en la superficie de suelo y no se transportan por el escurrimiento. Plaguicidas con corto tiempo de persistencia se degradan antes de ser transportados a cualquier distancia (Ulery y Brown, 1995).

La movilidad de un plaguicida es su capacidad para desplazarse en el medio y es importante considerarla como un factor determinante del transporte tanto del plaguicida como de sus productos de descomposición. Las características como la adsorción y desorción, la lixiviación y la volatilidad son significativas para predecir la movilidad. Los datos como las diversas posibilidades y mecanismos de traslación o movilidad del plaguicida y sus productos de degradación desde el lugar en que se aplica pueden ser útiles en la identificación y limitación del área ambiental que puede correr peligro: la flora, la fauna, el agua o los suelos que quedan expuestos posteriormente al producto químico.

### **Adsorción y desorción**

Las características de adsorción y desorción de un plaguicida en el suelo contribuyen a predecir la distribución de un producto químico en el ambiente. En la lixiviación a través del suelo y en la volatilización a través de superficies húmedas influye directamente la adsorción: se ha demostrado que existe una correlación entre la adsorción y la lixiviación y, por consiguiente, las constantes de adsorción pueden servir para calcular la movilidad de los plaguicidas. Además, en la velocidad de descomposición podría influir el equilibrio entre la adsorción y la desorción en el sistema agua-suelo. La adsorción de un plaguicida por el suelo varía mucho: si es fuerte, reduce la utilidad biológica, la lixiviación y el desplazamiento dentro del agua, pero podría aumentar la resistencia a la descomposición. En la adsorción influyen las propiedades químicas de la molécula del plaguicida, así como propiedades de los suelos tales como el tipo y cantidad de arcilla y materia orgánica, estructura y pH, temperatura, contenido de humedad y concentración de sales.

### **Lixiviación**

Cuando el agua se mueve hacia abajo a través del suelo, las partículas solubles en agua se transportan con más profundidad dentro del suelo. La lixiviación de plaguicidas varía ampliamente con la composición y formulación, tipo y densidad de suelo, lluvia y muchos otros factores.

### **Volatilidad**

La volatilidad afecta la distribución del plaguicida entre el suelo, el agua y el aire. El frío, condiciones de poca humedad y altos contenidos de materia orgánica reducen las pérdidas de plaguicidas desde el suelo, ya que favorecen la adsorción. La información sobre la presión de vapor, el tamaño de las partículas y las interacciones con los substratos ambientales son datos importantes para poder predecir los posibles riesgos. Los compuestos más volátiles suelen ser menos persistentes y, por consiguiente, son menos peligrosos para el medio ambiente.

### **Solubilidad**

La solubilidad del plaguicida en el agua se define como su concentración de saturación en el agua pura a una temperatura determinada y se expresa en [g/l], [mg/l] o [kg/m<sup>3</sup>]. Es un parámetro importante para determinar el transporte y distribución del plaguicida a través de los sistemas ecológicos: los que son muy solubles en agua tienen más tendencia a alcanzar los sistemas hídricos que los menos solubles, los cuales no son lixiviables con facilidad. Además, la solubilidad puede influir sobre la adsorción y desorción en los suelos y en la volatilidad de los sistemas acuáticos.

## **Persistencia**

La persistencia se define como la capacidad de un producto químico para conservar su integridad molecular y, por consiguiente, sus características físicas, químicas y funcionales en el medio ambiente a través del cual es transportado y distribuido después de haberse vertido al mismo. La persistencia es el factor más importante para determinar la concentración en estado estacionario que puede alcanzar un producto químico en un medio determinado, es decir su tiempo de conservación en el mismo. Por consiguiente, si la velocidad de descomposición en un medio ambiental es superior a la velocidad de entrada del contaminante, la probabilidad de que alcance niveles significativos de concentración ambiental en ese medio es menor.

## **Degradación**

El concepto inverso de la persistencia de un producto químico es su posibilidad de descomponerse o de transformarse. Existen tres principales rutas de degradación en el suelo: fotoquímica, química y microbiológica. La desaparición de plaguicidas en el suelo ocurre por la degradación biológica y no biológica, mientras la no biológica consiste en la degradación química y física (Zhang *et al.*, 1992). La transformación química en el suelo no da como resultado necesariamente la detoxificación de plaguicidas, y la ausencia del plaguicida en particular desde el área de aplicación no es siempre el indicador de las condiciones no-tóxicas. Muchos plaguicidas (la mayoría de los herbicidas, los derivados fosfóricos y carbónicos, etc.) sufren degradaciones microbianas en el suelo y sus residuos desaparecen en tiempo relativamente corto.

La información sobre la descomposición es importante en la predicción de los riesgos para el medio ambiente. Algunos plaguicidas se descomponen rápidamente por los rayos solares y por organismos en el suelo y en el agua, otros persisten por mucho tiempo. La descomposición rápida del plaguicida y de sus metabolitos indicaría que no es probable que su persistencia plantee problemas. Algunos productos de descomposición (residuos) son persistentes, y algunos como el Paraoxon (residuo del Parathion) son hasta más tóxicos que el plaguicida original. Sin embargo, otros residuos pueden ser inofensivos (C DFA, 1978).

## **Factores hidrogeológicos**

Los contaminantes antes que alcancen a contaminar un acuífero, tienen que infiltrarse por la zona no saturada. Siempre y cuando el contaminante no sea desechado con grandes volúmenes de aguas residuales, este proceso es lento; y mientras más lento sea es mejor, ya que dispondrá de mayor tiempo para que ocurran reacciones físico-químicas que contribuyen en la retención de los contaminantes. Además, gracias a la presencia de aire y de bacterias, ocurren procesos de biodegradación que también contribuyen a la eliminación de los contaminantes. Esta zona también retrasa considerablemente la llegada de los contaminantes al acuífero, lo que por lo menos permite algún tiempo para evaluar y efectuar posibles acciones correctivas. Debido a variaciones geológicas, la zona no saturada no siempre es efectiva en la eliminación de contaminantes, especialmente si la carga contaminante es suficientemente grande para que sobrepase su capacidad de atenuación (ITS, 1993).

Se entiende por vulnerabilidad el conjunto de características del acuífero que determina su capacidad para ser afectado por la descarga de un contaminante. Los factores hidrogeológicos que juegan un papel predominante sobre el riesgo de contaminación en los acuíferos son (USDA-SCS, 1988): la pendiente del terreno, la profundidad del manto freático, el material de la zona vadosa y del acuífero y las características del suelo (textura, pH, contenido de materia orgánica y drenaje del suelo).

## **Pendiente del terreno**

La pendiente de la superficie del suelo influye en la relación de escurrimiento e infiltración. Con un pendiente más suave es mayor la infiltración del agua (y de todos los contaminantes disueltos en ella) en el suelo, por lo que mayor será la contaminación potencial del agua subterránea. Una pendiente más accentuada oca-

siona un mayor escurrimiento superficial, condición que puede ser desventajosa desde el punto de vista de la erosión y de la calidad de las aguas superficiales.

### **Profundidad del manto freático**

El manto freático se define como el umbral entre la zona no saturada y la zona de saturación. La profundidad hasta el manto freático determina la distancia vertical a través de la cual el contaminante tiene que moverse para alcanzar la cima de acuífero. La mayor profundidad significa mayor tiempo de contacto del contaminante con el material en su alrededor, y por consecuencia, mayor oportunidad para la disminución de la contaminación a través de los procesos como la oxidación, decaimiento, adsorción, dilución y degradación del contaminante.

### **Material de la zona vadosa**

La zona vadosa se puede definir como la zona con material no saturado (o discontinuamente saturado) que se encuentra entre la superficie del suelo y el manto freático. El tipo del material en la zona vadosa determina el trayecto y el volumen del flujo del agua (y de los contaminantes) que se percola hacia abajo a través de éste. El volumen del flujo está en función de la permeabilidad del material de la zona vadosa, el cual aumenta significativamente por la presencia de fracturas. De esta manera, el tiempo disponible para los procesos de disminución que ocurren (como la adsorción, oxidación, dispersión, filtración mecánica, etc.) están inversamente relacionados con la permeabilidad. Si la permeabilidad del material es más alta, es menor la capacidad de disminución, por lo que existe mayor posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas.

### **Material de acuífero**

Un acuífero se define como un material geológico saturado que aporta cantidades de agua considerables. El agua subterránea puede ser transmitida 1) a través de poros entre las partículas de las cuales se compone el material (llamado también porosidad primaria) y 2) a través de fracturas y perforaciones que se desarrollaron después de la formación del material (llamado también porosidad secundaria). El tipo de material del acuífero controla el trayecto del flujo y del contaminante; también influye en la permeabilidad (capacidad del acuífero de transmitir el agua). Generalmente, la permeabilidad es menor en materiales de grano fino (arcilla) y materiales que carecen de fracturas interconectadas (cono, rocas) y es mayor en materiales de grano grueso (arena, grava) y en el material geológico con fracturas secundarias.

### **Características del suelo**

Una gran variedad de procesos biológicos, físicos y químicos actúan sobre el contaminante en la zona superficial del suelo y tienden a reducir su fuerza o su volumen. Estos procesos, conjuntamente referidos como disminución, retardan el movimiento de los contaminantes hacia las zonas subsuperficiales más profundas. El grado de la disminución depende del tiempo de permanencia del contacto del contaminante con el material a través del cual pasa, y que a su vez es función de tamaño de partículas del material y de la distancia del flujo del contaminante. Así, un suelo con partículas más finas y depósitos menos profundos significa mayor disminución de contaminantes. El destino eventual de muchos contaminantes y la calidad resultante de las aguas subterráneas depende del grado de disminución.

La potencia de disminución del efecto contaminante por el suelo se puede estimar con base en las siguientes características físico-químicas:

#### **Textura**

Los suelos de textura fina son adecuados para disminuir el movimiento del agua subterránea contaminada y permiten el máximo tiempo de contacto con el contenido orgánico y mineral del suelo para la actuación de los procesos de disminución. Los suelos de textura gruesa y con grandes fragmentos de residuos orgánicos

permiten el flujo del contaminante sin disminuir su toxicidad, por lo que los tipos contraídos o agregados que tienden a formar macro-poros (fracturas en la masa de suelo) son menos convenientes por sus características, que aumentan la permeabilidad.

### **pH**

Muchos procesos de disminución en la zona del suelo ocurren más fácilmente cuando el pH del mismo (el grado de acidez o alcalinidad) es neutro.

### **Contenido de materia orgánica**

La materia orgánica es un componente importante en el suelo porque retiene los fertilizantes, el agua y los metales pesados, y además adsorbe muchos tipos de los plaguicidas orgánicos. Sirve como fuente de energía para los microorganismos que degradan la mayoría de los plaguicidas orgánicos. En general, si el contenido de materia orgánica en el suelo es alto, es mayor la potencia de disminución de la contaminación.

### **Clasificación de drenaje del suelo**

Esta clasificación es una indicación sobre la frecuencia y duración de periodos durante los cuales el suelo no está saturado. Un suelo bien drenado es más conveniente en la disminución, porque el agua de lluvia puede distribuirse en el contorno y moverse por evapotranspiración sin perturbar la aeración del suelo. Los suelos pobremente o excesivamente drenados son los menos adecuados: la potencia de disminución es menor en los suelos pobremente drenados (tienden a estar húmedos durante todo el año), y es también bajo para los suelos excesivamente drenados.

### **Otros factores**

#### **Recarga del acuífero**

La recarga es un factor climático importante y se define como el agua derivada principalmente de la precipitación o del riego. Se percola desde la superficie del suelo a través de la zona vadosa hasta al acuífero. El agua de recarga que se origina directamente sobre la fuente de contaminación es la causa del lavado y el movimiento del contaminante. El potencial de la contaminación en un sitio se aumenta con el incremento de la recarga.

#### **Tiempo de aplicación del plaguicida**

La temporalidad de la aplicación es un factor importante que influye en la ocurrencia y distribución de plaguicidas porque afecta directamente la cantidad de plaguicida disponible para ser lixiviado del suelo durante las lluvias. El contenido de la humedad residual del suelo, que varía temporalmente, así como el tiempo de aplicación de plaguicidas respecto a la lluvia, puede ampliamente controlar la cantidad de plaguicidas removidos desde los suelos agrícolas (Ulery y Brown, 1995).

#### **Cobertura vegetal y cultivos**

La cobertura vegetal afecta la evaporación, la humedad de suelo, la transpiración y el escurrimiento del agua. Estos efectos varían con el clima, tipo de suelo, manejo de cultivos y deben de ser evaluados localmente. El material orgánico puede aumentar la capacidad de retención en el suelo. La cobertura abundante durante el periodo crítico de erosión reduce la cantidad del sedimento causado por el viento y por el agua, además la reducción del escurrimiento y percolación reduce el movimiento de plaguicidas (disueltos o adsorbidos). El cambio en la secuencia del cultivo (rotación de cultivos) puede interrumpir el ciclo de vida de algunas plagas o malezas y así reducir la necesidad del uso de plaguicidas.

### Labranza de conservación

Esta práctica aumenta la infiltración, disminuye el escurrimiento, reduce la erosión de suelo y el transporte de sedimentos. Los residuos de los cultivos reducen la compactación del suelo ocasionada por las gotas de lluvia, incrementando la infiltración, lo que a su vez puede incrementar el lavado de agroquímicos hacia las aguas subterráneas. Cuando no se usa la labranza, los fertilizantes y plaguicidas aplicados a la superficie no se incorporan al suelo, lo que puede ocasionar alta concentración de contaminantes en el escurrimiento superficial. Por otro lado, si no se utiliza la labranza, se desarrollan fracturas de gran tamaño, permitiendo la percolación y el transporte de contaminantes solubles y no-solubles hasta los horizontes de suelo más profundos y al acuífero.

### Probabilidad de la lluvia

La probabilidad de la lluvia frecuente después de la aplicación debe considerarse en muchos climas. Una precipitación considerable inmediatamente después de la aplicación significa mayores pérdidas de plaguicida, mientras que si la precipitación es poca o nula, no hay pérdida significativa.

### Procesos básicos que determinan el destino de plaguicidas en el ambiente

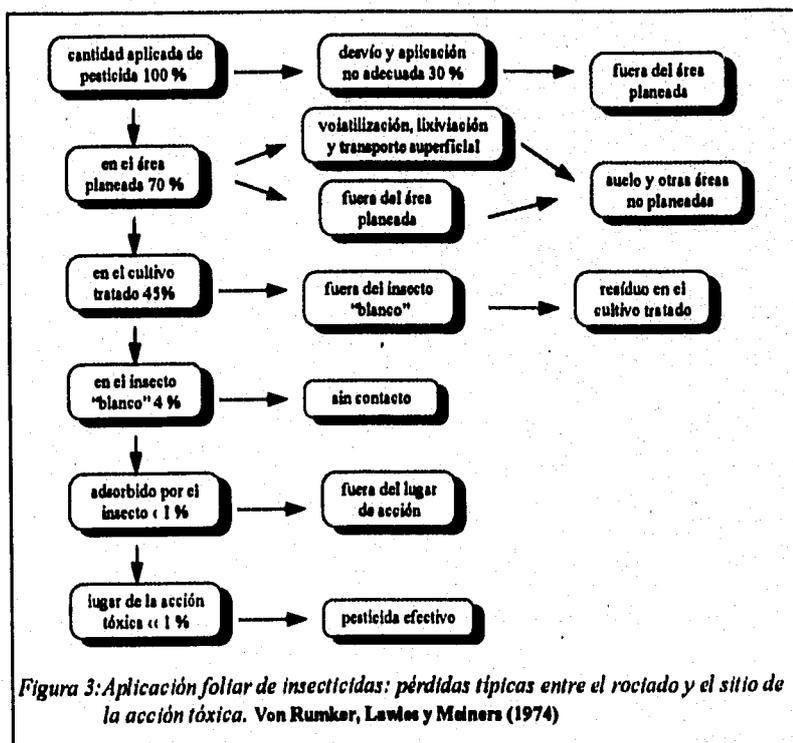
La contaminación por plaguicidas puede ocurrir en el aire, suelo, agua y biosfera, pero su característica particular es la movilidad que presenta: no se puede hablar de una contaminación particular, sino de "puertas abiertas" a la contaminación, ya que ésta cambia continuamente de medio. Es necesario la comprensión de los procesos básicos mediante los cuales los plaguicidas se introducen, se mueven y persisten en el ambiente para entender los impactos de estos agroquímicos.

### Aplicación al cultivo

Los plaguicidas entran al ambiente primariamente a través de la aplicación planeada de control de plaguicidas (fuentes intencionales); sin embargo, una contribución sustancial es por las descargas accidentales y por los derrames (fuentes no intencionales). Para ilustrar la cantidad efectiva y la cantidad que se pierde de una aplicación de plaguicida, se presenta la Figura 3.

Muchos de los plaguicidas son formulados para ser aplicados como rociado líquido, desde el aire o a nivel del suelo, mientras que otros generalmente se inyectan al suelo. El mayor problema con los métodos empleados

actualmente, especialmente la aplicación aérea, es la inhabilidad de mantener el plaguicida dentro del área objeto. Se estima que bajo condiciones normales de aplicación, de 20 % a 60 % del plaguicida aplicado



desde el aire se volatiliza y se desvía fuera del área objeto. La desviación está en función de la formulación del plaguicida, método de aplicación, tamaño de partículas y condiciones ambientales, particularmente del viento.

Los herbicidas desviados pueden causar daños obvios inmediatos a los cultivos vecinos (CDFA, 1978). Una vez aplicados, no hay manera de mantenerlos completamente dentro del área objeto. El desvío, la volatilización y el escurrimiento introducen estos materiales a las áreas ajenas al objeto. La acción del viento y del agua lleva los residuos de los plaguicidas más resistentes a todos los rincones de la Tierra.

La atmósfera es un medio particularmente móvil, sirve como el mejor medio de transporte para trasladar los plaguicidas hacia áreas acuáticas y terrestres lejos del lugar de aplicación. Los plaguicidas se transportan principalmente en la parte inferior de la atmósfera y en una medida desconocida contribuyen a la formación del ozono que, por ser fitotóxico, puede dañar los cultivos y también la salud humana.

Después de la aplicación, gran parte del plaguicida termina en el suelo, en donde puede permanecer por corto o largo tiempo dependiendo de su solubilidad en el agua. De cualquier manera, este material no permanece estático; puede ser arrastrado fácilmente por el agua o por las partículas de suelo.

### **Plaguicidas en el suelo**

La presencia de plaguicidas en el suelo es incuestionable; sin embargo, la variedad de los tipos del suelo, sus características químicas y la gran variedad biótica hace difícil la generalización del impacto de los plaguicidas en el mismo. Se considera que los plaguicidas en el suelo se degradan eventualmente o al menos se dispersan a través de sistemas aéreos, acuáticos, biológicos y del suelo. En terminología biológica esto se conoce como el destino de plaguicidas.

### **Aportes**

La contaminación en el suelo se debe tanto a tratamientos específicos (por ejemplo aplicación directa del plaguicida en la superficie del suelo, desinfectantes, a tratamientos de semillas, etc.) o a la contaminación proveniente de tratamientos al caer al suelo el excedente de los mismos o ser arrastrados por la lluvia las partículas depositadas en las plantas (Cuadro 9). Se sabe que una gran cantidad de suelos contienen plaguicidas en las zonas en las cuales su presencia no fue planeada, porque una vez en el suelo, una cantidad de plaguicida se transportará más lejos en el ambiente a través de volatilización (evaporación) al aire, por lixiviación a través del suelo o por adhesión a las partículas del suelo las cuales se mueven y se depositan por el viento o por el agua. (Spencer y Cliath, 1975 y Wienhold *et al.*, 1993)

Cuadro 9: Rutas directas e indirectas de la contaminación del suelo por plaguicidas

DIRECTA	INDIRECTA
aplicación al suelo cubrimiento de semillas plantadas depósitos de desechos ilegales derrame accidental depósitos en las industrias	desvío durante la aplicación foliar erosión y deposición por agua lavado por lluvia y goteo de niebla deposición por viento y lluvia agua de riego

### **Persistencia**

Existen tres tipos de degradación en el suelo: fotoquímica, química y microbiológica. La degradación microbiológica de plaguicidas en el suelo es el destino final de muchos plaguicidas. La alta temperatura, humedad adecuada y materia orgánica presente ayudan a la transformación microbiológica; sin embargo, debido a que estos mismos factores son los que promueven la transformación abiótica de plaguicidas, existe el problema de determinar la contribución actual de transformación abiótica y microbiológica (Edwards, 1973 y Helling *et al.*, 1971).

## Movimiento

Muchos factores determinan la tendencia del movimiento del plaguicida a través del suelo (Cuadro 10).

Cuadro 10: Factores físico-químicos y biológicos que influyen en el movimiento del plaguicida en el suelo

FACTOR	INFLUENCIA
<b>CARACTERÍSTICAS DEL PLAGUICIDA</b>	
volatilidad	Los plaguicidas volátiles evaporan desde el lugar de aplicación y a menudo son fácilmente fotodescompuestos. Los agroquímicos que no se degradan pueden ser transportados a largas distancias por el viento.
solubilidad	Plaguicidas solubles en el agua se lavan y transportan hacia el suelo o fuera del sitio de aplicación.
estabilidad	Plaguicidas estables permanecen en forma tóxica durante el transporte.
formulación	El plaguicida con formulación granular permanece en el lugar de la aplicación durante más tiempo que el polvo o rociado vaporizado. Los sólidos generalmente permanecen más tiempo que las formas líquidas o gaseosas.
cantidad aplicada	La tasa de desaparición (% de pérdidas) a menudo decrece con el aumento de la dosis aplicada.
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SUELO</b>	
textura	Suelos burdos son altamente permeables, lo que incrementa la lixiviación, tienen menor capacidad de almacenamiento de agua que suelos de textura fina que incrementan el efecto de lixiviación.
contenido orgánico	El alto contenido orgánico reduce las pérdidas de residuos de los plaguicidas solubles en grasas. Suelos orgánicos adsorben los plaguicidas y reducen su concentración en el lavado y en el escurrimiento.
contenido de arcilla	El alto contenido de partículas arcillosas reduce las pérdidas de plaguicidas. Suelos arcillosos adsorben los plaguicidas y reducen la concentración de residuos en las aguas superficiales; además por su baja permeabilidad incrementan el escurrimiento superficial.
densidad aparente	Los suelos densos reducen la porosidad y la relación de difusión a través del suelo.
permeabilidad	En el caso de los plaguicidas solubles en el agua la permeabilidad creciente aumenta la lixiviación, reduciendo las concentraciones.
pH	La acidez del agua del suelo afecta significativamente la persistencia de los plaguicidas, por lo que los plaguicidas (principalmente los organofosforados) se degradan más fácilmente en los suelos básicos. La carga eléctrica de la materia orgánica del suelo aumenta con la alcalinidad, y esto aumenta la capacidad de retención del suelo.
capacidad de intercambio	Aniones y cationes del suelo determinan el tipo y cantidad de moléculas que se mueven a través del suelo o reaccionan con él.
contenido mineral	El contenido mineral generalmente aumenta la adsorción (retención) de plaguicidas, sin embargo, también puede aumentar la tasa de degradación (remoción).
humedad	El alto contenido de humedad compete los plaguicidas poco solubles por los sitios de adsorción, por lo que la humedad creciente reduce el tiempo de retención de plaguicidas incrementando su movilidad.
temperatura	Una temperatura mayor aumenta la actividad microbiana y la tasa de volatilización. Sin embargo, los suelos más calientes son más secos que los suelos fríos, y las altas temperaturas pueden reducir las pérdidas por la reducción de la humedad.
origeno	Las condiciones anaerobias favorecen la actividad de degradación microbiana; este estado reducido de suelo determina el tipo de reacciones físico-químicas que pueden ocurrir.
<b>OTROS FACTORES FISIOLÓGICOS</b>	
pendiente del suelo	Un gradiente de pendiente más escalonado incrementa el escurrimiento superficial y la erosión del suelo.
quebrada	La superficie fracturada frena el movimiento (reduce el escurrimiento y puede incrementar la percolación (y lixiviación)).
erosión	La pérdida de plaguicidas adsorbidos por partículas aumenta cuando crece la erosión.
drenaje	Cualquier aumento de drenaje aumentará la razón de lixiviación y esto aumenta las pérdidas de plaguicidas solubles. El lavado sucesivo de depósitos muestra pérdidas reducidas, por lo que el plaguicida que permanece está más adsorbido.
sombra	La sombra reduce la temperatura, aumenta la humedad (ver los efectos anteriormente).
<b>FACTORES BIOLÓGICOS</b>	
microbios del suelo	Los microbios son muy importantes en la degradación de plaguicidas, quizás el factor más importante en la degradación, puede afectar el nivel de concentración de plaguicidas.
invertebrados del suelo	Los invertebrados pueden transportar los plaguicidas vertical y lateralmente a través del suelo.
plantas	Los plaguicidas adsorbidos en el suelo pueden moverse a través del sistema de transporte del cultivo hacia las hojas, tallos y raíces.
<b>OTROS FACTORES</b>	
lluvia	Lluvia intensa, prolongada y reciente después de la aplicación de plaguicidas incrementa el transporte de contaminantes, el gran tamaño de gotas y la velocidad incrementa la erosión del suelo y el escurrimiento.
escurrimiento	El escurrimiento puede ser un factor muy importante en la remoción de plaguicidas solubles o adsorbidos por partículas, todavía más importante después de la aplicación reciente.
vegetación	La vegetación reduce el escurrimiento y erosión (decrece el transporte de plaguicidas) y decrece la evaporación del agua del suelo (incrementa la persistencia del plaguicida).
prácticas de conservación	Las prácticas agrícolas pueden alterar todas las categorías anteriores excepto la lluvia y representan la influencia más importante en las características de las aguas del suelo y de los escurrimientos.

Aunque los suelos son esencialmente no-móviles, los plaguicidas se mueven a través de ellos por medio del agua subterránea o a través de los espacios de aire, o por el viento desde la superficie del suelo. Los suelos compuestos principalmente de arcilla pueden encogerse e hincharse considerablemente y facilitar el movimiento vertical de los contaminantes. Cuando las partículas de suelo son arrastradas por el viento o por la lluvia, llevan consigo todo el material que se encuentre adsorbido en ellas, en particular residuos de plaguicidas. En la medida en que el plaguicida permanezca más tiempo en un suelo, este medio de transporte se vuelve más importante (CDFA, 1978).

Cuando existe la probabilidad de que un producto químico se distribuya fácilmente en la capa superficial del suelo o cuando un plaguicida inalterado y sus metabolitos principales puedan tener efectos residuales, es preciso tener datos relativos a los fenómenos, como vías de degradación, velocidad de conversión del producto químico, adsorción y movilidad del plaguicida, etc. Los peligros para el medio ambiente pueden predecirse a menudo satisfactoriamente basándose en los datos fisicoquímicos, así como en los datos sobre la movilidad y sobre el transporte, transformación y eliminación final de plaguicida, obtenidos en los estudios de laboratorio.

Los procesos más importantes que contribuyen a la movilidad de plaguicidas desde la superficie del suelo son: la volatilización a la atmósfera, el escurrimiento superficial de los residuos adsorbidos por partículas y la lixiviación de los tipos solubles de plaguicidas. La volatilización y la erosión transportan los residuos fuera del lugar de la aplicación, mientras la lixiviación puede transportar los residuos fuera del sitio de la aplicación o solamente mover los residuos a mayor profundidad en el suelo a partir del lugar de la aplicación. La intensidad de la vaporización está controlada por la tasa de la difusión de componentes a través del suelo hacia el aire, mientras que el movimiento superficial y la lixiviación son controladas por la razón de flujo de masas (CDFA, 1978, Rao y Davidson, 1978).

Según Wietersen (1993), los suelos con mayor conductividad hidráulica, menor capacidad de retención del agua y menor contenido orgánico y de arcilla incrementan la movilidad de plaguicidas en el suelo. La afirmación general que se puede hacer acerca del movimiento de plaguicidas en el suelo es que algunos plaguicidas (especialmente ácidos alifáticos) muestran una facilidad sustancial de movimiento, mientras que otros plaguicidas (especialmente DDT) permanecen en el lugar hasta ser volatilizados, degradados o removidos por procesos bióticos. El movimiento de plaguicidas fuera de la superficie del suelo por escurrimiento superficial puede ser significativo. Eventos locales, como la lluvia después del tratamiento superficial pueden provocar movimiento significativo de plaguicidas en el suelo, especialmente si el suelo está erosionado.

### **Plaguicidas en el agua**

Las aguas superficiales y subterráneas son recursos naturales inestimables: suministran agua potable, agua para el riego y para la industria, son fuente de belleza natural, sustento de flora y fauna, fomentan y estimulan la recreación y son un medio de transporte. Conocer las fuentes de plaguicidas y entender los procesos que afectan su movimiento, degradación y persistencia en el ambiente, es importante en la evaluación de su impacto sobre los recursos hídricos.

#### **Aportes**

Los mecanismos que permiten la llegada de los plaguicidas a los sistemas de agua son similares a los mencionados para los suelos. Las rutas de entrada también se pueden dividir en intencionales y no intencionales (Cuadro 11).

*Cuadro 11: Rutas directas e indirectas de la contaminación de los recursos hídricos por plaguicidas*

DIRECTA	INDIRECTA
tratamiento de un cuerpo de agua específica efluentes de descarga derrames accidentales depósitos de desechos clandestinos	desvío desde tratamientos foliares y de suelo escurrimiento superficial riego con aguas negras deposición por viento y lluvias fuga desde contenedores de almacenamiento

Las primeras son los plaguicidas aplicados para el control de malezas acuáticas, insectos y depredadores de peces de utilidad comercial. Los aportes no intencionales que existen por la movilización de contaminación de aire y suelo incluyen aquellas que se deben a erosión de suelo, efluentes industriales, aguas de desecho y derrames ocasionales o fugas cercanas a los cuerpos de agua. (Li y Fleck, 1972, Edwards 1973 y Lehman, 1975).

Los contaminantes más comunes que afectan las aguas subterráneas son los fertilizantes y agroquímicos orgánicos sintéticos. Numerosos estudios muestran que muchos plaguicidas se encuentran en bajas concentraciones (menos de algunas ppb) en todas las aguas que reciben descargas agrícolas (CDFA, 1978, EPA, 1974).

La erosión superficial por el viento y por el agua de los suelos fumigados es una fuente de contaminación en tierras lejanas a la aplicación. Nicholson (1970) estableció que el movimiento de plaguicidas desde la superficie del suelo es la segunda fuente de contaminación de las aguas superficiales después de la aplicación directa.

### **Persistencia**

La persistencia físico-química del plaguicida en el agua depende de su resistencia a la degradación física y bioquímica. Después de entrar el plaguicida en el agua muchos factores influyen en qué tiempo, en qué forma y dónde se va encontrar. Los plaguicidas se degradan durante una serie de reacciones, y los productos intermediarios formados durante estas reacciones pueden ser equivalentes, más, o menos tóxicos que el compuesto original. Algunos productos intermediarios son muy estables y pueden persistir durante muchos años. La formación de productos intermedios implica que el efecto tóxico puede persistir (causado por las diferentes formas de degradación) a pesar de la degradación del compuesto original.

### **Movimiento**

Después del aire, las rutas acuáticas son el medio más importante del transporte de plaguicidas en el ambiente. Una vez que el plaguicida alcanza el agua, un gran número de procesos afecta su movimiento. Plaguicidas que tienen baja solubilidad en el agua o son adsorbidos fácilmente en el suelo, se adhieren de preferencia a las partículas del suelo. Esto reduce su potencial de lixiviación (razón de movimiento vertical a través del suelo) y también retarda el transporte por el escurrimiento superficial desde el suelo. Los plaguicidas también son adsorbidos por microorganismos, plantas y animales en las aguas del suelo y en cuerpos de aguas abiertas.

Los plaguicidas se mueven por el escurrimiento superficial y el drenaje subterráneo hacia los canales agrícolas, corrientes y lagos, los cuales eventualmente descargan en las bahías y en los océanos. La velocidad del movimiento de los contaminantes es variable en los diferentes tipos de cuerpos de agua: los plaguicidas se mueven lentamente a través del agua del suelo y el lodo del fondo (fracciones de cm por día, mes o año), sustancialmente más rápido a través de charcos y lagos (algunos metros hasta fracciones de km por día), y potencialmente muy rápido en corrientes, estuarios y océanos (km/día).

Los plaguicidas hidroclorados en el agua son tomados por los organismos acuáticos en un proceso conocido como biomagnificación el cual puede acumular sustancias tóxicas hasta un nivel dañino para los organismos que constituyen la cadena alimenticia. Este síndrome no se limita a los organismos acuáticos: plaguicidas aplicados en la superficie del suelo pueden ser encontrados en las partículas del suelo o transportados lejos por el agua o por el viento, contaminando así al ecosistema entero.

## **Resumen**

Los factores del medio interactúan en el destino de los plaguicidas. La variación espacial y temporal en la ocurrencia de plaguicidas en el agua y sedimentos ocurre como resultado de la solubilidad de plaguicida y la concentración de sólidos suspendidos. Esto, a su vez, está influenciado por las características fisiológicas del área del estudio y por la proximidad de las corrientes o del acuífero. Plaguicidas detectados en el ambiente acuático están influidos por factores como la toxicidad, persistencia y biodegradación. Diversos factores influyen sobre la persistencia y, a su vez, están influidos por las condiciones específicas del lugar en donde se aplica un plaguicida, como el clima, el tipo de suelo del que se trate, su contenido de materia orgánica y los microorganismos en él. El contenido de humedad residual en el suelo que varía temporalmente, así como el momento de aplicación, son también factores significativos que gobiernan la disponibilidad de plaguicida para ser lixiviado durante las lluvias.

La susceptibilidad, o resistencia a la descomposición de un producto químico puede determinar, en gran medida, su tiempo de conservación en un medio dado o en un ecosistema. Los plaguicidas organoclorados se caracterizan por su alta persistencia en el ambiente, baja solubilidad en el suelo, agua y sedimento (Gilliom *et al*, 1985). Los plaguicidas organofosforados son mucho menos persistentes en el ambiente y más solubles en el agua que los organoclorados. En general, estos plaguicidas no tienden a acumularse en el sedimento y en los tejidos, pero son altamente tóxicos a los organismos acuáticos. Los plaguicidas carbamatos se distinguen por su alta solubilidad en el agua, baja persistencia y potencial de lixiviación media.

Algunas condiciones que pueden ser ventajosas para la protección de las aguas subterráneas pueden ser perjudiciales para la calidad de las aguas superficiales, por ejemplo, en una parcela con pendiente muy declinada, en caso de una fuerte lluvia después de la aplicación reciente de agroquímicos, la pendiente fomenta la erosión y el rápido escurrimiento del agua contaminada. Las pendientes declinadas son favorables para la protección de las aguas subterráneas, pero al contrario, son perjudiciales, por la magnitud de la erosión, para la calidad de las aguas superficiales.

## **LA MODELACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL SUBSUELO**

### **Modelos de simulación**

Un modelo se define como una minúscula imitación de la realidad, o como un sistema de postulados, información e inferencias, presentados como una descripción matemática de un proceso o un estado del arte. Los modelos pueden ser aplicados como una técnica para organizar los aspectos conocidos sobre un tema en un sistema que muestra el efecto de la interrelación de varios factores sobre los resultados esperados (Hanks y Ritchie, 1991). Cuando se requiere algún dato no disponible, se utiliza un método o aproximación empírica para su mejor estimación. La gran mayoría de los modelos utilizan aproximaciones o ecuaciones empíricas por razones de simplicidad.

La construcción de modelos permite al investigador apreciar y ensamblar sus propios avances dentro de un sistema más amplio que lo conduzca a áreas de investigaciones futuras. Los modelos proporcionan apoyo o asistencia en el trabajo interdisciplinario cuando se requiere conocer la influencia o efecto de un área del conocimiento o disciplina en un contexto más amplio.

Por ser los sistemas biológicos tan complejos, raramente se puede llegar a una completa descripción matemática de sus características; sin embargo, es necesario hacer suposiciones simplificadas sobre el comportamiento del sistema, tomando en cuenta los componentes relevantes para la inclusión de cualquier estudio.

Probablemente, esta selección de variables es la tarea más difícil en el desarrollo de cualquier modelo matemático, junto con la evaluación y control. (Jones, 1983).

Los modelos deben ser utilizados con precaución, considerando sus hipótesis y limitaciones. Los usuarios de los modelos deben poseer la suficiente experiencia para discernir cuando los resultados de un modelo son aberrantes o sin sentido y cuando son razonables. Los modelos no sustituyen la experiencia, sin embargo, son herramientas muy útiles para ser utilizados conjuntamente con la investigación y la experiencia y en la toma de decisiones (Hanks y Ritchie, 1991).

### **Modelos matemáticos**

Los modelos matemáticos pueden ser empíricos, donde no se intenta describir el mecanismo involucrado y se usa información mínima "a priori" en su desarrollo; por otro lado, para crear un modelo mecanístico, se hace un intento de descripción usando el conocimiento de los trabajos previos y se intenta explicar el fenómeno en un nivel más detallado. La elección del modelo depende del objetivo particular de la investigación: ambos tipos de modelos se utilizan para predicciones, sin embargo, el acercamiento mecanístico probablemente tiene mayor alcance para la aplicación generalizada, y puede conducir a un avance importante en el entendimiento. Un ejemplo del procedimiento empírico es el uso de la técnica de regresión estadística para describir y predecir variaciones en la cosecha en términos del clima (Jones, 1983).

Aparte de ser empíricos o mecanísticos, los modelos pueden ser determinísticos o estocásticos, y dinámicos o estáticos. En el modelo determinístico las salidas se definen en función de las entradas, mientras que el modelo estocástico incorpora un elemento aleatorio como parte del modelo. Muchos modelos en la ecología fisiológica son determinísticos, principalmente por su mayor simplicidad y conveniencia, pero también se usan los modelos estocásticos (Jones, 1981).

En los modelos dinámicos los procesos dependen del tiempo, por lo que son particularmente apropiados para la simulación de procesos como el crecimiento de plantas y cosecha que integran cambios ambientales y en el desarrollo. Por otro lado, los modelos estáticos se usan para sistemas estables o para la simple descripción de los resultados.

La modelación matemática ofrece una herramienta particularmente poderosa para la formulación de hipótesis y descripción cuantitativa. Un modelo matemático puede constituir una formulación concisa de una hipótesis, la cual puede ser utilizada fácilmente para generar predicciones controlables y, finalmente, el resultado de los controles se puede usar para refinar, confirmar o rechazar la hipótesis inicial.

Los modelos matemáticos son muy utilizados en otras ciencias, sin embargo, hasta hace poco estaban subutilizados en los estudios ecológicos.

### **Los modelos en la agricultura**

Los modelos matemáticos se utilizan con mucha frecuencia en diversas ramas de la actividad humana. En la planificación de áreas agrícolas han permitido un gran avance sobre todo en la agilidad de cálculos, en el procesamiento de información, en la simulación de diferentes procesos y en la obtención de resultados confiables.

Los sistemas de producción agrícola han evolucionado en sus herramientas y prácticas de trabajo, en la manipulación de grandes volúmenes de información y de respuesta a corto plazo. Uno de los mayores logros fue la implementación de los modelos de simulación para la producción de los cultivos en la década de los 70's. Posteriormente con el desarrollo de la computación, la aplicación de estos modelos se incrementó y se integró a otras áreas, por lo que podemos considerarlos como una herramienta indispensable en la planificación y desarrollo agrícola.

Los sistemas físicos (suelo) y biológicos (plantas) son muy complicados: numerosos factores afectan cualquier pronóstico. Tales sistemas son, esencialmente, una colección de información, de la cual la mayoría es bien conocida desde hace muchos años, pero organizada de una manera coherente. Los avances recientes en la tecnología informática han permitido la posibilidad de tomar en consideración la influencia de múltiples variables combinadas en diferentes interacciones.

### ***Dinámica de los solutos***

El enfoque tradicional de la infiltración, distribución y transporte de solutos es la derivación de las leyes macroscópicas para suelos a pequeña escala y su aplicación a gran escala. La aplicación de tales modelos a las condiciones reales se fundamentan en el supuesto que en el campo se presentan condiciones de homogeneidad o situaciones similares o equivalentes, por lo que las propiedades se determinan mediante muestras en un reducido número de sitios y posteriormente se generalizan mediante un procedimiento estadístico. Este enfoque no considera la gran variabilidad espacial asociada a las condiciones reales en el campo.

El procedimiento más común para determinar la concentración de solutos como una función del tiempo y del espacio, es modelar el balance de masas mediante una ecuación diferencial parcial y subsecuentemente resolver la ecuación para varias condiciones iniciales y límites. La modelación tradicional numérica-determinística toma el medio como una unidad homogénea y aplica soluciones numéricas de la ecuación para suelos saturados (o no saturados) válida en columnas de suelos en laboratorio. En la práctica, no es importante ni posible medir la concentración de solutos a cada punto, sino la representación del modelo en su conjunto. Dado que las propiedades hidráulicas son consideradas como aleatorias, el contenido de humedad, la velocidad del flujo, y por consecuencia, la concentración de solutos son también aleatorios; razón por la cual el enfoque estadístico de modelación del transporte de solutos en suelos es un enfoque racional.

### ***Requerimientos mínimos y características deseables de los modelos suelo-planta***

- Información disponible necesaria sobre:
  - \* Clima: temperatura diaria, precipitación, viento, humedad, radiación solar.
  - \* Suelo: textura, profundidad, contenido de humedad.
  - \* Cultivo: tipo, variedades, fecha de siembra, duración del ciclo, etc.
  - \* Manejo: aplicación de fertilizantes, plaguicidas, riegos, etc.
- La información sobre manejo debe ser preponderante y fácilmente modificable.
- El modelo debe mantener un balance en todas y cada una de sus partes tales como agua, sales, plaguicidas, nitrógeno, etc.
- Los requerimientos del equipo deben ser razonables y se debe poseer los códigos fuentes (programas) para los ajustes necesarios en el transcurso de la operación.
- Debe utilizar variables generales, minimizar la necesidad de especificaciones particulares y tener capacidad de proporcionar respuestas diferentes a escenarios diferentes.
- Las principales hipótesis, suposiciones y limitaciones de su arquitectura tienen que ser especificadas claramente.

### **Modelación de la contaminación**

Para desarrollar estudios de contaminación de agua en el subsuelo, es necesario realizar dos actividades importantes. La primera de ellas es obtener muestras del subsuelo para su estudio, identificar los contaminantes fluidos y analizar las muestras de los medios porosos para determinar sus propiedades geofísicas y su facilidad al flujo. La segunda actividad es simular la contaminación del agua en el subsuelo usando modelos matemáticos para las cuencas. Con los datos obtenidos de la primera tarea, los modelos son evaluados y calibrados. Estos modelos se utilizan para diferentes propósitos: para estimar niveles de contaminación, para evaluar acciones de protección y remediación, etc. (Mejía, 1994).

Cuadro 12: Revisión histórica no exhaustiva de los modelos de simulación de la contaminación

Modelo	Año	Autor	Título completo inglés	Título completo español	Descripción
SCSCN	1950	USDA-SCS	Soil Conservation Service Curve Number	Número de curva del Servicio de Conservación de Suelos	Estima el escurrimiento con base en la lluvia como función del suelo, vegetación y densidad antecedente.
Stanford	1962	Crawford y Linsley	Stanford Watershed Model	Modelo de Cuencas de Stanford	Estima el flujo de las corrientes con base en datos sobre la lluvia.
USDAHL	1969	Glymph y Holtan	U.S. Department of Agriculture Hydrograph Laboratory	Laboratorio Hidrográfico del Departamento de Agricultura de E.U.	Basado en la infiltración para estimar el flujo de las corrientes usando el concepto de zonas de suelo en la cuenca.
PTR	1973	Hydrocomp y EPA	Pesticide Transport and Runoff	Transporte de plaguicidas y escurrimiento	Incluye simulación de plaguicidas: adsorción, desorción, volatilización, degradación.
SMPHP	1974	Walker	Simulation Model for Prediction of Herbicide Persistence	Modelo de simulación para predecir la persistencia de los herbicidas	Describe la persistencia de plaguicidas en el suelo considerando la adsorción, desorción, volatilización y degradación.
ACTMO	1975	Frere et al.	Agricultural Chemical Transport Model	Modelo de transporte de agroquímicos	Refleja la erosión por lluvia y escurrimiento y los procesos de transporte. Trata la adsorción, desorción, remoción, volatilización, degradación y movimiento.
WASCH	1975	Bruce et al.	Water-Sediment-Chemical	Agua-sedimento-químicos	Componente de plaguicidas; relaciona la pérdida de plaguicida con la extracción y factor de enriquecimiento.
ARM	1976	Danigian y Crawford	Agricultural Runoff Management	Manejo de escurrimiento agrícola	Desarrollo del modelo PTR, con componente de nutrientes (adsorción, degradación).
ANSWERS	1977	Baasley et al.	Model for Watershead Planning	Modelo para planeación de cuencas	Predice la erosión y transporte de sedimentos para diferentes sistemas agrícolas. Describe el escurrimiento, flujo subsuperficial y en los canales.
RFF	1978	Gianessi et al.	Resource for the Future	Recursos para el futuro	Modelo de red de la contaminación de aguas, en función de la recarga.
CREAMS	1979	Knisel et al.	Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems	Químicos, escurrimiento y erosión en sistemas de manejo agrícola	Modelo de simulación diaria de escurrimiento, erosión y transporte de sedimentos, nutrientes y plaguicidas en áreas tamaño parcela. Considera la interceptación foliar, degradación, lixiviación, adsorción y volatilización.
GLEAMS	1980	Leonard et al.	Groundwater Loading Effects on Agricultural Managements Systems	Efectos de carga de aguas subterráneas en el sistema de manejo agrícola	Simula la adsorción, desorción, volatilización, degradación y lixiviación aplicando escala de parcela.
MPPAS	1984	Troester et al.	Modelling of the Persistence of Pesticides Applied to the Soil	Modelación de la persistencia de plaguicidas aplicados al suelo	Simula la persistencia del plaguicida en el suelo con base en la temperatura. Considera la adsorción, volatilización y degradación.
KMDPPS	1987	Liu y Zhang	Kinetic Model for Degradative Processes of Pesticides in Soil	Modelo cinético para los procesos de degradación de plaguicidas en el suelo	Describe el efecto de temperatura sobre la degradación de plaguicidas en el suelo.
EPIC 2275	1990	Williams	Erosion Productivity Impact Calculator	Evaluación del impacto de la erosión sobre la productividad	Modelo de simulación continua, determina el efecto del manejo agrícola sobre la producción, recursos de suelo y de agua. Simula el transporte de plaguicidas hacia las aguas subterráneas y superficiales por el escurrimiento superficial, filtración, evaporación del suelo y sedimentación.
SWAT	1991	Williams	Soil and Water Assessment Tool	Herramienta para la evaluación de suelo y agua	Simula el impacto del manejo agrícola sobre la erosión y calidad del agua en cuencas extensas. Componentes: hidrología, sedimentación, suelo, crecimiento de cultivo, plaguicidas, nutrientes y manejo agrícola.
HSPF	1993	EPA	Hydrological Simulation Program -FORTRAN	Programa de simulación hidrológica - FORTRAN	Modelo de simulación diaria de escurrimiento, erosión y transporte de sedimentos, nutrientes y plaguicidas a escala de cuenca. Considera la interceptación foliar, degradación, lixiviación, adsorción y volatilización.
PESTFADE	1993	Clemente	Pesticide Fate and Dynamics in the Environment	Destino y dinámica de plaguicidas en el ambiente	Simula el movimiento del agua y de solutos en el suelo bajo diferentes condiciones de escurrimiento, percolación, dispersión, adsorción, volatilización y degradación.

Fuentes: Knisel, 1980; Leonard, 1987 y Williams, 1991.

La necesidad de expandir la aplicación de los modelos de simulación de los cultivos y la migración de agroquímicos en áreas agrícolas se debe a la variedad de los suelos, del clima, a las diferentes prácticas agrícolas y a la necesidad de obtener respuestas rápidas que permitan llegar a una planificación racional y oportuna. Estos modelos no permiten tener una representación espacial de los resultados simulados, situación que limita el estudio de grandes áreas. Este problema fue resuelto con la implementación de los modelos de computación denominados Sistemas de Información Geográfica, conocidos como GIS (Papajorgji *et al.* 1993).

Modelar el flujo del agua en el subsuelo y la migración de contaminantes por agua en el subsuelo, son herramientas poderosas para evaluar estrategias de control de contaminación, para detectar fuentes de contaminación, y para planear el desarrollo urbano, agrícola e industrial. Describir la migración de contaminantes en el agua del subsuelo no es una tarea fácil. La permeabilidad (facilidad al flujo de un cierto tipo de fluido) y la porosidad del terreno no se determinan tan fácilmente, y esta es información crítica para simular el flujo en el subsuelo.

### Desarrollo de los modelos de la contaminación no puntual

El Cuadro 12 presenta una revisión de los modelos hidrológicos que sirvieron como base para el desarrollo del modelo EPIC; además se mencionan algunos modelos recientes que también simulan la contaminación por agroquímicos.

### El modelo EPIC

En el principio de los 80's, un grupo de científicos del Servicio de Investigación Agrícola (ARS), del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y del Servicio de Investigación Económica (ERS) desarrollaron un modelo llamado EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*) para cuantificar los costos de erosión del suelo y calcular los beneficios de la investigación y control de erosión del suelo en los EUA.

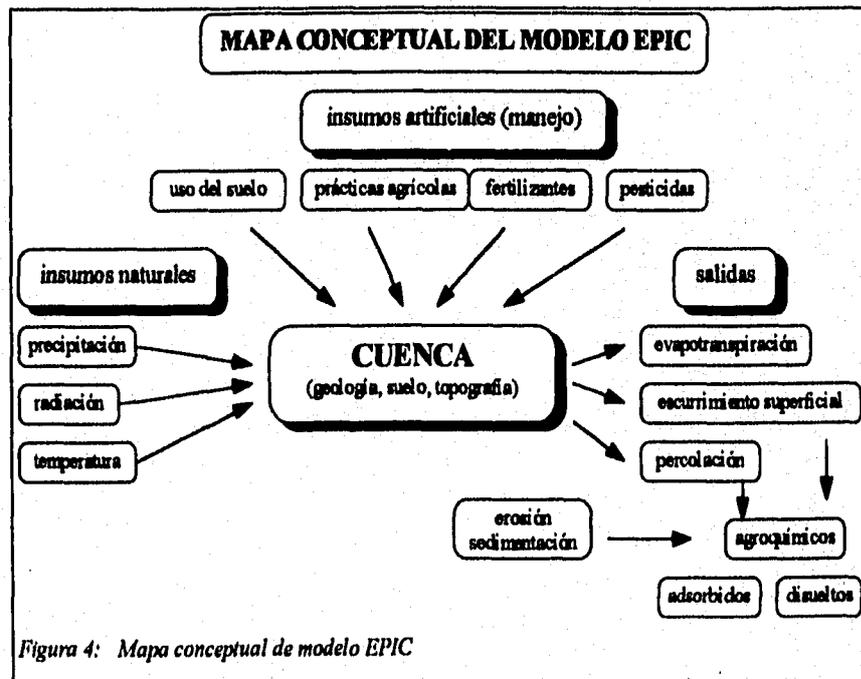


Figura 4: Mapa conceptual de modelo EPIC

En los últimos años el desarrollo del modelo EPIC se ha enfocado en problemas referentes a la calidad del agua y al cambio climático, dando como resultado el EPIC actual, basado en los modelos CREAMS (*Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*) (Knisel, 1980) y GLEAMS (*Model of Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems*) (Leonard *et al.*, 1987) con componente de plaguicidas, para poder simular la contaminación causada por agroquímicos).

## Características del modelo EPIC

El modelo de simulación EPIC se utiliza para determinar el efecto de las diferentes estrategias de manejo o escenarios técnicos (labranza, riego, uso de agroquímicos, etc.) sobre la producción agrícola y sobre los recursos hidráulicos y del suelo (Figura 4). Se aplica en escala puntual o de parcela, definiendo la parcela como una unidad homogénea que tiene a) uso de suelo simple (con un cultivo), b) suelos relativamente homogéneos, c) lluvia y clima espacialmente uniforme y d) prácticas agrícolas particulares, como labranza de conservación. El modelo utiliza un día como escala de tiempo para la simulación del clima, hidrología, erosión-sedimentación, destino de plaguicidas y de fertilizantes, crecimiento de cultivos, temperatura de suelo, labranza, economía (costo y rendimiento) y control ecológico de cultivos.

El modelo está desarrollado para simular los procesos biofísicos relevantes de manera simultánea y realista, utilizando datos e información fácilmente disponibles o de fácil acceso y metodologías ampliamente aceptadas; además es capaz de simular el sistema de cultivos hasta por cientos de años. El modelo es aplicable a un amplio rango de suelo, clima y cultivo; es eficiente y de uso oportuno, capaz de simular los efectos particulares del manejo sobre la erosión del suelo y la productividad en un ambiente específico.

El modelo está escrito en FORTRAN, ejecutable en un sistema compatible de IBM-PC con una memoria de acceso mínimo de 640 KB. La instalación de EPIC y sus periféricos requieren aproximadamente 4.5 Mbytes de memoria. El tiempo necesario para ejecutar la simulación, dependiendo de la computadora, varía de 1 segundo hasta 45 minutos para la simulación de un año, teniendo como unidad de tiempo un día. Con la instalación del procesador matemático el tiempo de simulación se puede disminuir considerablemente.

## Componentes principales del modelo EPIC

El modelo EPIC se compone de diez submodelos principales, de los cuales cada uno es descrito por Williams *et al.* (1984):

1. **Clima:** Los valores diarios sobre la lluvia diaria, nieve, temperatura máxima y mínima, radiación solar, viento y humedad relativa se obtienen con base en mediciones o datos estocásticos generados.
2. **Hidrología:** Involucra datos simulados sobre el escurrimiento, percolación, flujo subterráneo lateral y deshielo.
3. **Erosión:** Simula la erosión de suelo causada por el viento y el agua, la erosión-sedimentación causada por el escurrimiento de lluvia, deshielo e irrigación.
4. **Fertilizantes:** Simula la fertilización por nitrógeno y fósforo, su transformación y adsorción por los cultivos y su movimiento. (Los fertilizantes pueden ser aplicados como fertilizantes minerales, fertigración, o como abono de origen animal).
5. **Destino de plaguicidas:** Simula el movimiento de plaguicidas con el agua y sedimentos, la degradación en el follaje y en el suelo.
6. **Temperatura de suelo:** La temperatura del suelo responde al clima, al contenido de agua en el suelo y a la densidad aparente. Se calcula diariamente en cada capa de suelo.
7. **Labranza:** Se calculan los efectos del equipo de la labranza sobre la hidrología del suelo y el ciclo de fertilizantes.
8. **Crecimiento de cultivo:** Se usa un modelo de simulación simple de los principales cultivos, praderas y árboles. El modelo puede simular el crecimiento de cultivo en rotación compleja y en asociación con otros cultivos.
9. **Manejo del cultivo y suelo:** Simula una gran variedad de parámetros de cultivo, prácticas de manejo y procesos ocurridos naturalmente, incluyendo diferentes características de cultivo, como: po-

blación de plantas, fecha de siembra y de cosecha, irrigación, sistema de drenaje artificial, labranza, control de escurrimiento, aplicación de fertilizantes y control de plaguicidas. El modelo puede medir también el efecto de manejo variado.

10. **Economía:** Incluye un paquete de cálculo simple para determinar el costo de insumos, precios de venta y el rendimiento.

Los submodelos más importantes para la simulación de plaguicidas en el ambiente son el submodelo de hidrología, clima, erosión y plaguicidas. Los datos de clima se obtienen de una estación climatológica y no hay necesidad que el modelo los genere. Con el fin de poder entender mejor el funcionamiento del modelo EPIC, se presenta el submodelo de hidrología (un repaso breve) y el submodelo de la dinámica de plaguicidas. Hay que subrayar que el presente trabajo no pretende explicar el procedimiento de cálculo, ni trata de justificar la lógica del modelo; utiliza el modelo para cumplir con los objetivos propuestos y presentados anteriormente.

### Submodelo hidrológico del EPIC

#### *Escurrimiento superficial*

El modelo de escurrimiento simula el volumen de escurrimiento superficial dada la cantidad de lluvia diaria con base en una modificación de la técnica de número de curva del SCS (Soil Conservation Service) (USDA SCS, 1972). La técnica fue seleccionada porque es confiable, computacionalmente eficiente, los datos requeridos están generalmente disponibles y porque relaciona el escurrimiento con el tipo y uso del suelo y con las prácticas agrícolas. El uso de datos diarios fácilmente disponibles sobre la lluvia es un atributo particularmente importante porque en muchos lugares los datos sobre la lluvia con unidad de tiempo menor que un día no están disponibles; además la manipulación de los datos de lluvia y el cálculo de escurrimiento son más eficientes para datos diarios que para intervalos más cortos.

El escurrimiento superficial se describe por la ecuación del número de curva de SCS, bajo la condición de que  $R > 0.2s$ :

$$Q = \frac{(R - 0.2s)^2}{R + 0.8s} \quad (1)$$

$Q$     escurrimiento diario [mm]  
 $R$     lluvia diaria [mm]  
 $s$     parámetro de retención [m]

Cuando  $R \leq 0.2s$ ,  $Q$  es igual a cero. El parámetro de retención varía según la cuenca al variar el tipo y uso del suelo, manejo y la pendiente, y con el tiempo como consecuencia del cambio del contenido del agua en el suelo. El parámetro  $s$  se relaciona con el número de curva (NC) según la ecuación SCS:

$$s = 254 \left( \frac{100}{CN_2} - 1 \right) \quad (2)$$

$CN_2$     número de curva para la condición de humedad 2, o número de curva promedio

La constante 254 en la ecuación 2 está dado en mm, por lo que  $R$  y  $Q$  también están expresados en mm.  $CN_2$  se obtiene fácilmente para cualquier área usando el manual de hidrología de SCS. Las tablas del manual consideran el tipo y uso del suelo y el manejo agrícola. Suponiendo que el valor de  $CN_2$  en el manual es apropiado para una pendiente de 5%, se desarrolló la siguiente ecuación para el ajuste en el caso de pendiente diferente:

$$CN_{2s} = \frac{1}{3}(CN_3 - CN_2)[1 - 2 \exp(-13.86S)] + CN_2 \quad (3)$$

$CN_{2s}$  valor obtenido del manual de  $CN_2$  ajustado para la pendiente  
 $CN_3$  número de curva para la condición de humedad 3 (húmeda)  
 $S$  pendiente promedio de la cuenca [m/m]

Los valores de  $CN_1$  y  $CN_3$  están también tabulados en el manual, sin embargo para propósitos de cálculo, se pueden relacionar con  $CN_2$  por las ecuaciones:

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{100 - CN_2 + \exp[2.533 - 0.0636(100 - CN_3)]} \quad (4)$$

$$CN_3 = CN_2 \exp[0.00673(100 - CN_2)] \quad (5)$$

$CN_1$  número de curva para la condición de humedad 1 (seca)

La fluctuación en el contenido de agua del suelo causa que el parámetro de retención varía de acuerdo con la ecuación:

$$s = s_1 \left( 1 - \frac{FFC}{FFC + \exp[w_1 - w_2(FFC)]} \right) \quad (6)$$

$s_1$  valor de  $s$  (parámetro de retención) asociado con  $CN_1$  [m]  
 $FFC$  fracción de la capacidad del campo  
 $w_1, w_2$  parámetros de forma

La fracción de la capacidad del campo (FFC) se calcula con la ecuación:

$$FFC = \frac{SW - WP}{FC - WP} \quad (7)$$

$SW$  contenido de agua del suelo en la zona de raíces [mm]  
 $WP$  contenido de agua en el punto de marchitamiento (1500 kPa para muchos suelos) [mm]  
 $FC$  contenido de agua a capacidad de campo (33 kPa para muchos suelos) [mm]

Los valores para  $w_1$  y  $w_2$  se obtienen de la solución simultánea de la ecuación 6 de acuerdo con la suposición de que  $s=s_2$  cuando  $FCC=0.6$ , y  $s=s_3$  cuando  $(SW-FC)/(FO-FC)=0.5$

$$w_1 = \ln \left( \frac{60}{1 - s_2 / s_1} - 60 \right) + 60w_2 \quad (8)$$

$$w_2 = \frac{\ln \left( \frac{60}{1 - s_1 / s_2} - 60 \right) - \ln \left( \frac{POFC}{1 - s_3 / s_1} - POFC \right)}{POFC - 60} \quad (9)$$

$s_3$  parámetro de retención de  $CN_3$  [m]  
 $POFC$  razón de capacidad del campo y porosidad

La razón capacidad del campo/porosidad (POFC) se calcula con la ecuación:

$$POFC = 100 + 50 \left( \frac{\sum_{l=1}^M (PO_l - FC_l)}{\sum_{l=1}^M (FC_l - WP_l)} \right) \quad (10)$$

$PO_l$  porosidad de la capa  $l$  [mm]  
 $l$  número de la capa en cuestión

La ecuación 8 y la ecuación 9 aseguran que  $CN_1$  corresponda al punto de marchitamiento y que el número de curva no exceda de 100. El valor de FFC obtenido de la ecuación 7 representa el agua del suelo uniformemente distribuida en la capa superior del suelo. La estimación del escurrimiento puede mejorarse si la distribución vertical del agua del suelo se conoce.

Puesto que EPIC estima el contenido de agua diariamente en cada capa, existen datos disponibles sobre la distribución en la profundidad. El efecto de la distribución vertical en el escurrimiento se expresa en la función de profundidad ponderada:

$$FFC^* = \frac{\sum_{l=1}^M FFC_l \frac{Z_l - Z_{l-1}}{Z_l}}{\sum_{l=1}^M \frac{Z_l - Z_{l-1}}{Z_l}} \quad (11)$$

$FFC^*$  valor de FFC de la profundidad ponderada para la (6)  
 $Z_l$  profundidad al fondo de la capa del suelo  $l$  hasta  $Z_l \leq 1.0$  m [m]  
 $M$  número de la capa del suelo

El paso final de la estimación del volumen del escurrimiento es el cálculo de la incertidumbre. La estimación del parámetro de retención o número de curva está basado en el uso del suelo, manejo agrícola, grupo hidrológico del suelo, pendiente del suelo, contenido y distribución del agua del suelo.

### Percolación

La componente de percolación de EPIC utiliza una técnica de almacenamiento para simular el flujo a través de las capas del suelo. El flujo descendente se presenta cuando el contenido de agua excede la capacidad del campo. El agua se drena desde la capa hasta que el almacenamiento se equilibre a la capacidad del campo. La variación en el agua del suelo está simulada por la ecuación:

$$SW_l = (SW_{0l} - FC_l) \exp(-\Delta t / TT_l) + FC_l \quad (12)$$

$SW$  contenido de agua en el final del intervalo del tiempo  $\Delta t$  (24 horas) [mm]  
 $SW_0$  contenido de agua en el inicio del intervalo  $\Delta t$  (24 horas) [mm]  
 $TT$  tiempo de transporte a través de la capa  $l$  [h]  
 $FC$  capacidad de campo [mm]

Así, la percolación diaria puede ser calculada tomando la diferencia entre  $SW$  y  $SW_0$ :

$$O_l = (SW_{0l} - FC_l) [1 - \exp(-\Delta t / TT_l)] \quad (13)$$

$O_l$  tasa de percolación para la capa  $l$  [mm/d]

El tiempo de transporte a través de la capa se calcula con la ecuación de almacenamiento lineal:

$$TT_i = \frac{PO_i - FC_i}{SC_i} \quad (14)$$

PO porosidad en [mm]  
SC conductividad saturada [mm/h]

El proceso de desarrollo se aplica desde la superficie del suelo, capa por capa hacia la capa más profunda. Si la porosidad de la capa está excedida, el agua en exceso se transfiere a la capa anterior. Este proceso se continúa hasta la capa superior.

La conductividad a saturación se estima para cada capa del suelo usando la ecuación:

$$SC_i = \frac{12.7(100 - CLA_i)(SS_i)}{100 - CLA_i + [11.45 - 0.097(100 - CLA_i)]} \quad (15)$$

CLA el % de arcilla en la capa del suelo i  
SS factor de resistencia

### La simulación de plaguicidas con EPIC

El componente de plaguicidas (basado en los modelos CREAMS y GLEAMS hace posible simular el transporte de plaguicidas hacia las aguas subterráneas y superficiales por el escurrimiento superficial, percolación, evaporación del suelo y sedimentación. Esta capacidad proporciona una herramienta poderosa para evaluar simultáneamente el impacto del tipo de suelo, clima y manejo agrícola sobre la pérdida de plaguicidas en el suelo, en los flujos subterráneos y superficiales y efectuar comparaciones entre las opciones de manejo agrícola disponibles. Es importante tener en cuenta que la confiabilidad de las conclusiones obtenidas con el modelo depende, en buena parte, de la experiencia del investigador.

El submodelo de plaguicidas representa una simplificación extrema de los procesos complejos de la naturaleza y no está diseñado para predecir concentraciones exactas de contaminación; por lo que los datos obtenidos pueden ser utilizados solamente como valores comparativos entre las diferentes opciones de manejo agrícola con el fin de evaluar la calidad ambiental. Este submodelo maneja un relativamente amplio número de parámetros significativos y es sensible a los parámetros que representan la práctica, por lo que es útil para reflejar el manejo agrícola. Sin embargo, cuando más parámetros se requieren para un mayor grado de precisión, mayor esfuerzo e información se requiere para proporcionar las entradas del modelo. Una de las ventajas de EPIC es que puede generar los datos faltantes para ejecutar la simulación, pero los resultados obtenidos de este modo son menos confiables.

#### La lógica del modelo

Aunque la hidrología es solamente un componente del sistema total, el agua es el elemento principal: causa erosión, transporta químicos y es un insumo natural incontrolable. Cada región climática y área fisiográfica tiene sus características que afectan la respuesta del sistema, por lo que estas condiciones variables tienen que tenerse en cuenta cuando se considera la aplicabilidad más amplia del modelo.

La lógica general del modelo es que los procesos hidrológicos proporcionan el medio de transporte para los sedimentos y agroquímicos, por lo que, principalmente, el modelo describe la relación entre las variables hidrológicas, como la precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración (Figura 5) y estima el escurrimiento de la precipitación como función del tipo de suelo, vegetación y humedad antecedente.

El impacto de plaguicidas está causado en gran parte por su concentración, más que por su masa total. La concentración del plaguicida en el ambiente se determina por las siguientes razones: cantidad de plaguicida

perdido respecto al volumen de a) escurrimiento, b) sedimento c) flujo subterráneo lateral (hacia los drenes) y d) flujo subterráneo vertical (hacia el acuífero).

Como resultado de las simulaciones, se estima la concentración del plaguicida en los flujos subsuperficiales verticales (en dirección a los acuíferos) y laterales (hacia a los drenes) en la zona no-saturada (hasta la profundidad de raíces) como resultado de la existencia del agua de percolación. La concentración del plaguicida en el escurrimiento superficial en la fase soluble y en el sedimento también se calcula, así como la concentración de los residuos en el follaje y en la superficie de suelo en función del tiempo.

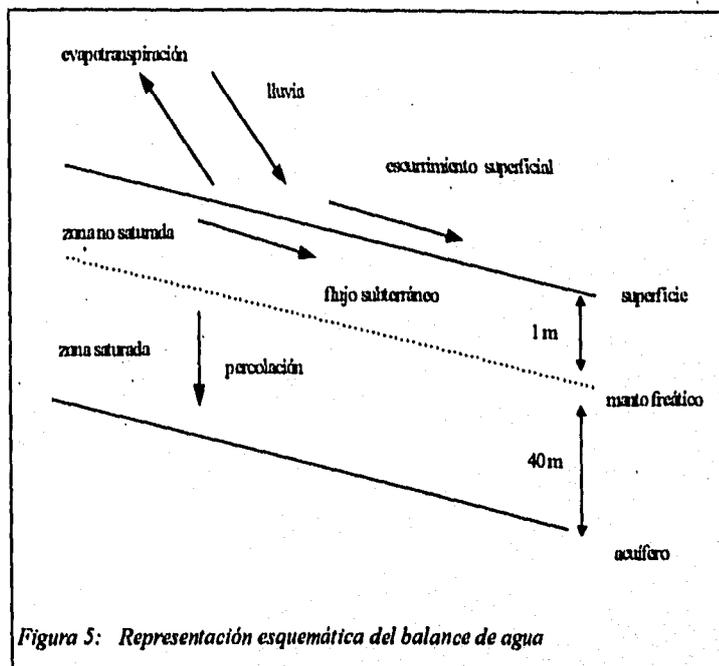


Figura 5: Representación esquemática del balance de agua

Algunos experimentos en parcelas pequeñas demuestran que la concentración de plaguicidas en el escurrimiento puede decrecer dependiendo de la duración e intensidad de la lluvia. El volumen de escurrimiento que alcanza el final de la parcela se origina en diferentes lugares de la parcela y tiene diferentes tiempos de concentración hasta el punto de medición. En esta situación cualquier medición de la pérdida total por la lluvia es difícil e imposible sin muchos detalles.

### Estructura del modelo

El modelo está estructurado para considerar aplicaciones múltiples del plaguicida al suelo o al follaje, utilizando diferentes tasas de decaimiento en el follaje y en el suelo y permite predecir las pérdidas de hasta diez plaguicidas, donde cada agroquímico se considera por separado sin interacción con fertilizantes ni otros plaguicidas.

### Pérdidas de plaguicidas desde el follaje

En el modelo las concentraciones iniciales de plaguicidas no incorporados (aplicados con el método de rociado superficial) se calculan como si fueran uniformemente incorporados en la profundidad entre 1-10 mm. Las concentraciones de plaguicidas incorporados se calculan en unidades de  $\mu\text{g/g}$  o partes por millón (ppm) con base en la profundidad y la eficiencia de su incorporación. La fracción adsorbida de plaguicida por el follaje, contra la cantidad total de plaguicida aplicado, se especifica inicialmente en el modelo. Se considera que generalmente los residuos de plaguicidas encontrados sobre el follaje se disipan más rápidamente que del suelo; en primer lugar, por los procesos como la degradación y volatilización.

La lluvia puede remover parte de los plaguicidas definidos como no desalojables, dependiendo del plaguicida y de las características de la hoja y del tiempo después de la aplicación. En el modelo la fracción residual se calcula de la función de decaimiento que se especifica como fracción de lavado. Se supone que los plaguicidas residuales pueden moverse desde el follaje hasta la superficie de suelo cuando la lluvia excede el "umbral de lavado", el cual es aproximadamente la cantidad de lluvia en cm que el cultivo puede interceptar y almacenar en forma de gotas en la superficie de la hoja.

### **Pérdidas de plaguicidas desde la superficie de suelo**

Los plaguicidas depositados sobre la superficie del suelo o en las hojas no permanecen allí todo el tiempo, porque en la ausencia de lluvias están sujetos además a la evaporación y a los rayos solares. Se considera que la concentración de plaguicida en la superficie del suelo (de 0 a 1 cm) decrece en proporción a la cantidad aplicada que se describe por una función exponencial, llamada ecuación de decaimiento. La constante de decaimiento se utiliza para calcular la concentración superficial en función del tiempo y es un parámetro que se considera para la degradación, volatilización y otros procesos que contribuyen a la desaparición del plaguicida desde la superficie de suelo. Durante la lluvia, el plaguicida puede moverse hacia abajo de la zona superficial en el agua de filtración (percolación), y a través de la superficie en el escurrimiento. El movimiento de plaguicidas desde la superficie de suelo hacia al acuífero, como resultado de la presencia de la percolación, se estima usando la diferencia entre la cantidad de lluvia y del escurrimiento superficial.

### **El sistema del escurrimiento**

La capa inmediata a la superficie del suelo con una profundidad de 10 mm suministra la mayor cantidad de plaguicidas al escurrimiento. Esta afirmación se fundamenta en las observaciones de Leonard *et al.* (1979), donde las concentraciones de los plaguicidas disueltos o adsorbidos en el escurrimiento, están fuertemente correlacionadas con la concentración de plaguicidas en dicha capa. El plaguicida puede ser extraído por la erosión desde una zona de varios centímetros de profundidad o por el escurrimiento a través de las irregularidades superficiales y surcos. La extracción de plaguicidas por el chapoteo de gotas de lluvia y por el movimiento de lodos hacia a los charcos puede ocurrir en las capas poco profundas, mientras la extracción en corrientes se puede extender a varios centímetros de profundidad.

El lavado de plaguicidas aplicados al follaje es la otra fuente de los agroquímicos en el escurrimiento. La fracción del residuo desalojable removido por la lluvia y adicionado a la capa superficial del suelo en una zona entre 1-10 mm, y la nueva concentración para esta zona, se calcula para el escurrimiento resultante.

### **Transporte vertical de plaguicidas desde la superficie de suelo**

Los plaguicidas que son móviles en el suelo, o bien solubles y no adsorbidos fuertemente, pueden ser lavados de la superficie de suelo por la infiltración de la lluvia. Las concentraciones de plaguicidas en el agua percolada después de una tormenta (o riego) se estiman con base en la reducción de las concentraciones superficiales del plaguicida, dependiendo de la cantidad de la lluvia en exceso y de la humedad inicial como una medida de flujo a través de la capa superficial del suelo. En el caso de los plaguicidas con solubilidad mayor que 1 ppm, se asume que el coeficiente de partición ( $k_d$ ) describe la disponibilidad de plaguicida para el transporte por percolación. Este procedimiento es comparable con otros modelos más precisos que también simulan el transporte vertical de los contaminantes, pero requieren información más detallada sobre la lluvia.

### **Distribución de plaguicidas entre la fase líquida y sólida**

La tasa de interacción suelo-plaguicida determina la potencia de la pérdida del plaguicida en el escurrimiento superficial y por el lavado o percolación debajo de la zona de raíces cuando un plaguicida se aplica en un suelo específico. El coeficiente  $k_d$  describe la distribución de plaguicidas entre el agua y la fase sólida, y se define como la razón de la concentración del sólido ( $\mu\text{g/g}$ ) y del líquido ( $\mu\text{g/ml}$ ) en estado de equilibrio. Normalmente los valores de  $k_d$  se obtienen de los experimentos de equilibrio en el laboratorio usando suspensiones de suelo que contienen plaguicidas agregados. En el modelo las más importantes suposiciones concierne al uso de  $k_d$  son: 1)  $k_d$  es independiente de la concentración de los plaguicidas y 2) los procesos de adsorción y desorción en el suelo son irreversibles y el equilibrio se alcanza rápidamente.

Muchos experimentos sobre el escurrimiento indican que con el tiempo de contacto con el suelo, el plaguicida se desplazará más difícilmente en el agua, lo que significa que el  $k_d$  aparente aumenta. Serios errores en

la aplicación e interpretación del modelo pueden evitarse si el valor de  $k_d$  se usa para distinguir entre los diferentes comportamientos de las clases más importantes de plaguicidas (débilmente adsorbido, moderadamente adsorbido, etc.) como se refleja por las diferencias de ordenes de magnitud de  $k_d$ . Cuando el modelo se usa para comparaciones relativas, pequeñas diferencias en el  $k_d$  pueden ser significativas.

### **Secuencia de cálculo en el submodelo de plaguicidas del modelo EPIC**

Los plaguicidas se pueden aplicar al follaje del cultivo o bajo de la superficie del suelo en cualquier profundidad, en cualquier tiempo y proporción. La cantidad que llega al suelo o al cultivo se expresa con la ecuación:

$$PAPE = (PAPR)(PAEF) \quad (16)$$

*PAPE* cantidad efectiva aplicada de plaguicida [kg/ha]  
*PAPR* cantidad real aplicada de plaguicida [kg/ha]  
*PAEF* factor de eficiencia de aplicación (dato empírico que depende del usuario y de la eficiencia del equipo)

Para determinar la cantidad de plaguicida que llega al suelo, primero se estima la cantidad del suelo cubierto por plantas, con la siguiente ecuación:

$$GC_i = (1.0 - ERFC(1.33LAI_{i,m} - 2.0)) / 2.0 \quad (17)$$

*GC* fracción del suelo cubierto de cultivos  
*LAI* índice del área de hojas  
*ERFC* factor que cambia la función lineal de LAI a una curva de probabilidad  
*i* día  
*m* cultivo

La cantidad de plaguicida que llega al cultivo se calcula con la ecuación:

$$FP = (GC)(PAPE) \quad (18)$$

*FP* cantidad de plaguicida absorbido por los cultivos [kg/ha]

El plaguicida que se queda, cae al suelo, y es la diferencia entre la cantidad efectiva aplicada y la cantidad absorbida por las plantas:

$$GP = PAPE - FP \quad (19)$$

*GP* cantidad de plaguicida que llega al suelo [kg/ha]

El plaguicida que se queda en las hojas del cultivo, puede ser deslavado por las tormentas. Se asume que la fracción de plaguicida potencialmente desalojable es deslavada del cultivo cuando la cantidad de la lluvia excede el umbral, de 2.5 mm. La fracción de deslavado potencial se estimó para varios plaguicidas (Leonard *et al.*, 1987 y anexo 3). Las ecuaciones adecuadas para calcular la cantidad de la lluvia que se agrega al suelo, con la condición de que  $R \geq 2.5$  mm, son:

$$WO = (WOF)(FP) \quad (20)$$

Si  $R < 2.5$  mm, la cantidad de plaguicida deslavado de las plantas por la tormenta es cero.

$$GP = GP + WO \quad (21)$$

$$FP = FP - WO \quad (22)$$

*WO* cantidad de plaguicida deslavado de los cultivos por una tormenta de  $R$  [mm]  
*WOF* fracción de deslavado para plaguicidas particulares

El plaguicida en los cultivos y en el suelo se pierde del sistema basando en la ecuación de decaimiento:

$$GP = (GP_0) \exp(-0.693 / HLS) \quad (23)$$

$$FP = (FP_0) \exp(-0.693 / HLP) \quad (24)$$

$GP_0$	cantidad inicial de plaguicida en el suelo
$GP$	cantidad final de plaguicida en el suelo
$FP_0$	cantidad inicial de plaguicida en el cultivo
$FP$	cantidad final de plaguicida en el cultivo
$HLS$	vida media de plaguicida en el suelo [días]
$HLP$	vida media de residuos en las hojas [días]

Los valores de HLP y HLS se establecieron para varios plaguicidas (Leonard *et al.*, 1987 y anexo 3).

Otra manera en que el plaguicida puede desaparecer de la zona considerada, es calculando el escurrimiento (en la capa superficial del suelo hasta 10 mm) a través de la percolación. El cambio en la cantidad de plaguicida contenido en la capa superficial del suelo hasta 10 mm, se expresa en función de tiempo, concentración y volumen de infiltración, aplicando la ecuación:

$$\frac{dGP}{dt} = (PSTC_w)(f) \quad (25)$$

$GP$	cantidad de plaguicida en la capa superficial hasta 10 mm en el tiempo $t$ [kg/ha]
$PSTC_w$	concentración de plaguicidas en el agua [g/m <sup>3</sup> ]
$f$	tasa de infiltración promedio durante la tormenta [mm/h]

La cantidad de plaguicida contenido en la capa superficial del suelo hasta 10 mm, es la suma de las fases adsorbidas y móviles.

$$GP = 0.01(PSTC_w)(SW) + 0.1(PSTC_s)(BD) \quad (26)$$

$SW$	cantidad de agua almacenada en la capa superficial del suelo hasta 10 mm [mm]
$PSTC_s$	concentración del plaguicida adsorbido [g/l]
$BD$	densidad del suelo [ton/m <sup>3</sup> ]

La relación de la concentración del plaguicida adsorbido por las partículas del suelo y disuelto en el agua se estimó para diferentes plaguicidas (Leonard *et al.*, 1987 y anexo 3) y se expresa con la ecuación:

$$K_d = \frac{PSTC_s}{PSTC_w} \quad (27)$$

$K_d$	coeficiente de partición [m <sup>3</sup> /ton]
-------	--

Substituyendo la ecuación 28 en la ecuación 27 obtenemos:

$$GP = 0.01(PSTC_w)(SW) + 0.1(PSTC_w)(K_d)(BD) \quad (28)$$

Resolviendo la ecuación 28 para  $PSTC_w$ , llegamos a la ecuación:

$$PSTC_w = \frac{GP}{0.01SW + 0.1(K_d)(BD)} \quad (29)$$

Substituyendo  $PSTC_w$  de la ecuación 29 en la ecuación 25:

$$\frac{dGP}{dt} = \frac{(GP)(f)}{0.01SW + 0.1(K_d)(BD)} \quad (30)$$

Reacomodando la ecuación 30 e integrándola obtenemos la ecuación que expresa la cantidad de plaguicida en función de la cantidad del agua que fluye a través de la zona:

$$GP = GP_0 \exp\left(\frac{-f}{0.01SW + 0.1(K_d)(BD)}\right) \quad (31)$$

$GP_0$  cantidad inicial de plaguicida en la capa superficial del suelo hasta 10 mm [kg/ha]  
 $GP$  cantidad que se queda después que el flujo pasa a través de la zona [kg/ha]  
 $SW$  almacenaje inicial del agua [mm]  
 $K_d$  coeficiente de partición [ $m^3/l$ ]  
 $B_d$  densidad del suelo [ $t/m^3$ ]

Para obtener la cantidad de plaguicida percolado por la cantidad del agua  $f$ ,  $GP$  se resta de  $GP_0$  usando la ecuación:

$$PSTL = GP_0(1.0 - \exp\left(\frac{-f}{0.01SW + 0.1(K_d)(BD)}\right)) \quad (32)$$

$PSTL$  cantidad de plaguicida percolado por  $f$  [kg/ha]

La concentración de plaguicidas en el filtrado se calcula con la ecuación:

$$PSTCL_1 = \min\left\{\frac{PSTL}{f}, PSO_1\right\} \quad (33)$$

$PSO_1$  solubilidad de plaguicida  
 $PSTCL_1$  concentración de plaguicidas en el filtrado [ $g/m^3$ ]

El plaguicida perdido en el escurrimiento superficial se estima con una modificación de la ecuación 32 que incluye un coeficiente de abstracción:

$$PSTQ = GP_0(1.0 - \exp\left(\frac{-(Q)(ab)}{0.01SW + 0.1(ab)(K_d)(BD)}\right)) \quad (34)$$

$PSTQ$  plaguicida perdido en el escurrimiento superficial [kg/ha]  
 $Q$  volumen de escurrimiento superficial [mm]  
 $ab$  coeficiente de abstracción

### Entradas del modelo y parámetros

La base de datos de plaguicidas (anexo 3) provee una estimación de las propiedades de los plaguicidas con el fin de determinar su riesgo relativo a los recursos hídricos. Para estimar el riesgo específico del sitio sobre la calidad del agua, los efectos de las propiedades del plaguicida deben considerarse en relación a las características del sitio, como el tipo de suelo, la pendiente, la profundidad del agua subterránea, la potencia para el escurrimiento y el uso esperado del agua subterránea y superficial.

Para ejecutar las simulaciones se requieren las siguientes bases de datos:

a) **Manejo agrícola:** tipo de cultivo, superficie sembrada, fecha y lámina de riego; fecha, tipo y cantidad aplicada de agroquímicos; fecha de siembra y cosecha.

b) **Clima:** temperaturas mínimas y máximas en el distrito, promedio de precipitación diaria, promedio de radiación solar diaria y promedio mensual de velocidad de viento.

c) **Suelos:** tipo de suelo, contenido de arena, limo y arcilla, pH, profundidad del manto freático, contenido de humedad, profundidad considerada de suelo, densidad aparente y porcentaje de carbón orgánico.

d) **Plaguicidas:** coeficiente de partición, solubilidad en el agua, vida media en el follaje y en el suelo y fracción de lavado.

Las entradas hidrológicas requeridas son el volumen de la lluvia y escurrimiento. Estos datos se obtienen del modelo hidrológico o se introducen como datos observados. La cantidad de sedimentos se obtiene del modelo de erosión, de observaciones experimentales o de otras estimaciones. La información necesaria sobre las características del suelo se introduce de la base de datos de suelos generada para el área estudiada.

#### **Base de datos de plaguicidas**

A continuación se presentan las características de plaguicidas necesarias para la simulación.

**Nombre común:** Nombre genérico, que se refiere a la composición química sin mencionar un producto específico.

**Tipo de formulación:** Es la forma física del empaque y es específico para un producto dado. El tipo de formulación es importante para la predicción del comportamiento del plaguicida. Una larga vida (semanas o meses) del plaguicida está en función de sus propiedades físicas y de persistencia, pero su vida inicial (horas o días) está en función de su formulación.

**Método de aplicación:** Es importante en la determinación de la localización inicial del plaguicida en el área en cuestión, porque la localización del plaguicida determina su comportamiento. El método de aplicación depende si el rociado se utiliza en la siembra o en otra fecha posterior, y si se aplica a la superficie del suelo o está incorporado en el suelo.

**Solubilidad en el agua:** La solubilidad de plaguicida en el agua, está dado en ppm (mg/l). Es la solubilidad del ingrediente activo, no del producto formulado. La solubilidad es la propiedad fundamental del agroquímico, y afecta fuertemente la facilidad de ser arrastrado por el escurrimiento o por lixiviación a través del suelo. En general, los plaguicidas con solubilidad inferior a 1 ppm tienden a quedarse en la superficie del suelo y ser arrastrados por los sedimentos en el escurrimiento.

**Vida media en el suelo:** La vida media se define para el plaguicida en el interior del suelo y generalmente se refiere a la degradación química o microbiológica. Se mide en días, y es el tiempo requerido para que el plaguicida en el suelo sea degradado hasta la mitad de su concentración inicial. El lapso sucesivo de vida media reducirá la concentración a una cuarta parte de la cantidad inicial. El tiempo de persistencia es el tiempo requerido por el plaguicida para degradarse hasta el punto donde ya no esté activo. La vida media varía dependiendo de la humedad del suelo, temperatura, cantidad del oxígeno en el suelo, población microbiológica del suelo y otros factores.

**Índice de adsorción:** Se mide por el valor de KOC (coeficiente de partición considerando el contenido de carbón orgánico en el suelo) la tendencia del plaguicida de ser fuertemente atrapado, por un enlace químico o físico, a la superficie de las partículas del suelo. Plaguicidas con valores del KOC mayores a mil tienen más fuerte adhesión al suelo y menor tendencia para el movimiento. Plaguicidas con valores pequeños de KOC tienden a moverse con el agua de escurrimiento y tienen gran facilidad para la profunda percolación debajo de la zona de raíces.



## Suelos

Desde el punto de vista de su origen se distinguen tres grupos de suelos:

Serie "Cumatillo": son suelos primarios o "in situ", tienen su origen en la intemperización del material toboso o tepetate.

Serie "Zapote": son suelos secundarios o de acarreo (transportados), son de carácter aluvial y se encuentran situados a ambos márgenes del río Laja.

Serie "Ocotes": son suelos de origen mixto, es decir formados en el lugar mismo y aumentados en su espesor por aportación de materiales de niveles superiores.

### Serie "Cumatillo"

Los suelos de esta serie se caracterizan por encontrarse sobre un lecho tepetatoso que es una toba desintegrada e intemperizada, situándose desde los 0.1 a los 2 metros de profundidad. El color del tepetate es café amarillento a gris blanquizco, mientras los suelos superficiales son de color gris o gris oscuro. La textura dominante es la arcillosa,

encontrándose además las texturas de migajón arcilloso y migajón arenoso. El drenaje de estos suelos es malo por su pendiente bastante reducida y por su textura arcillosa. Los suelos de esta serie tienen generalmente tres horizontes perfectamente definidos (Cuadro 13).

Cuadro 13: Características del suelo tipo "Cumatillo"

Horizontes	A	B	C
profundidad (m)	0.00 - 1.20	1.20 - 1.75	1.75 - 2.00
color (en seco)	gris	gris	T
color (en húmedo)	gris oscuro	gris oscuro	E
textura	arcilla	arcilla	P
estructura	columnar media	terregosa chica	B
consistencia	ligeramente compacta	medianamente compacta	T
permeabilidad	medianamente permeable	permeable	A
porosidad	medianamente poroso	medianamente poroso	T
drenaje	regular	regular	E
arena / limo / arcilla	37.6 / 20.0 / 42.4	37.6 / 16.0 / 46.4	38.6 / 19.0 / 42.4
pH	8.42	8.56	8.87
CaCO <sub>3</sub>	0.54	0.64	3.77
C orgánico	1.15	0.76	0.73

### Serie "Ocotes"

Las características principales de este grupo de suelos constituye el hecho de que en la profundidad de dos metros no se encuentra lecho tepetatoso ni ningún otro, siendo por lo tanto suelos profundos de color gris oscuro y sin distinción aparente entre sus horizontes. Por ser suelos fuertemente arcillosos en todo su perfil, el drenaje es generalmente malo. Las texturas principales son la arcillosa, migajón arcilloso y migajón arenoso (Cuadro 14).

Cuadro 14: Características del suelo tipo "Ocotes"

Horizontes	A	B
profundidad (m)	0.00 - 0.75	0.75 - 2.00
color (en seco)	gris	gris
color (en húmedo)	gris oscuro	gris oscuro
textura	arcilla	arcilla
estructura	terregosa chica	columnar media
consistencia	compacta	compacta
permeabilidad	poco permeable	poco permeable
porosidad	medianamente poroso	medianamente poroso
drenaje	deficiente	deficiente
arena / limo / arcilla	35.5 / 21.0 / 43.5	44.1 / 17.0 / 38.9
pH	8.62	8.53
CaCO <sub>3</sub>	0.72	0.58
C orgánico	1.28	1.40

### Serie "Zapote"

Los suelos catalogados dentro de este serie son suelos de aluvión con texturas generalmente ligeras y de color café a tintes rojizos. Su perfil es muy variable en toda la superficie, tiene muy buen drenaje, lo que impide la acumulación de sales tóxicas para las plantas (Cuadro 15).

Cuadro 15: Características del suelo tipo "Zapote"

Horizontes	A	B	C
profundidad (m)	0.00 - 1.50	1.50 - 1.60	1.60 - 2.00
color	café oscuro	gris oscuro	gris claro
textura	migajón arenoso medio	migajón arenoso medio	arena gruesa
estructura	terregosa media	-	-
consistencia	medianamente compacta	ligeramente compacta	desmenuzable
permeabilidad	medianamente permeable	permeable	permeable
porosidad	poroso	poroso	poroso
drenaje	eficiente	eficiente	eficiente
arena / limo / arcilla	67.6 / 14.0 / 18.4	66.7 / 15.0 / 18.3	88.8 / 4.5 / 6.7
pH	8.16	8.35	8.47
CaCO <sub>3</sub>	0.51	0.68	0.41
C orgánico	2.94	2.39	0.16

El Cuadro 16 presenta otra clasificación de los suelos de la zona y los resultados de un estudio de salinidad.

### Clima

Clasificación de clima: De acuerdo con Thornthwaite, se encuentran dos taxones: DbB'a - semiárido mesotérmico y CwB'a - subhúmedo mesotérmico (CNA, 1991). El clima es semi-seco con invierno y primavera secos, semi-caluroso, sin estación fría bien definida.

La precipitación promedio anual en el distrito es de 629.2 mm. El 83 % de esta precipitación se concentra en los meses de junio a septiembre.

La temperatura promedio anual es de 20.09°C, los rangos de variación van de 16.0°C a 24.4°C. Los meses más calurosos son de abril a septiembre, los meses con presencia de heladas son noviembre, diciembre y febrero.

La evaporación promedio anual es de 2,332.5 mm y los meses de mayor evaporación son de marzo a junio, donde se concentra el 43.35 % (Gerencia de Distritos de Riego, 1990).

### Hidrología

#### Hidrología superficial

La fuente de abastecimiento de agua para riego la constituye el río de La Laja y sus dos afluentes, el río La Erre y la corriente de Neutla. El río de La Laja es de carácter torrencial, sumamente caudaloso en tiempo de lluvias y llega a desbordarse en grandes extensiones, sin embargo, durante el período de estiaje su gasto es nulo. Los ríos son controlados por las presas Ignacio Allende (almacenamiento principal) e Isidro G. Orozco (Cuadro 17).

La red de conducción y distribución se integra de 63.52 km de canales principales y 126.5 km de canales laterales. La capacidad de los canales principales son de 10.15 m<sup>3</sup>/s en el canal principal Margen Derecha y 3.00 m<sup>3</sup>/s en el Canal Principal Margen Izquierda. La capacidad del dren principal para la zona de la Presa Allende

Cuadro 16: Resultados de los estudios de textura y salinidad en el DR 085

Textura	superficie (ha)	%
pesada	6,545.88	57.0
mediana	1,837.44	16.0
ligera	3,100.68	27.0
total	11,484.00	100.0

Salinidad	superficie (ha)	%
normal	10,972.00	95.5
salino	32.00	0.3
salino sódico	160.00	1.4
sódico	320.00	2.8
total	11,484.00	100.0

Cuadro 17: Características de las presas de almacenamiento

Presas	capacidad total (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	volumen anual almacenado (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	gasto de obra de toma (m <sup>2</sup> /s)	superficie regable (ha)
Ignacio Allende	251	189.6	11.0	9072
Isidro G. Orozco	5	4.6	1.1	372

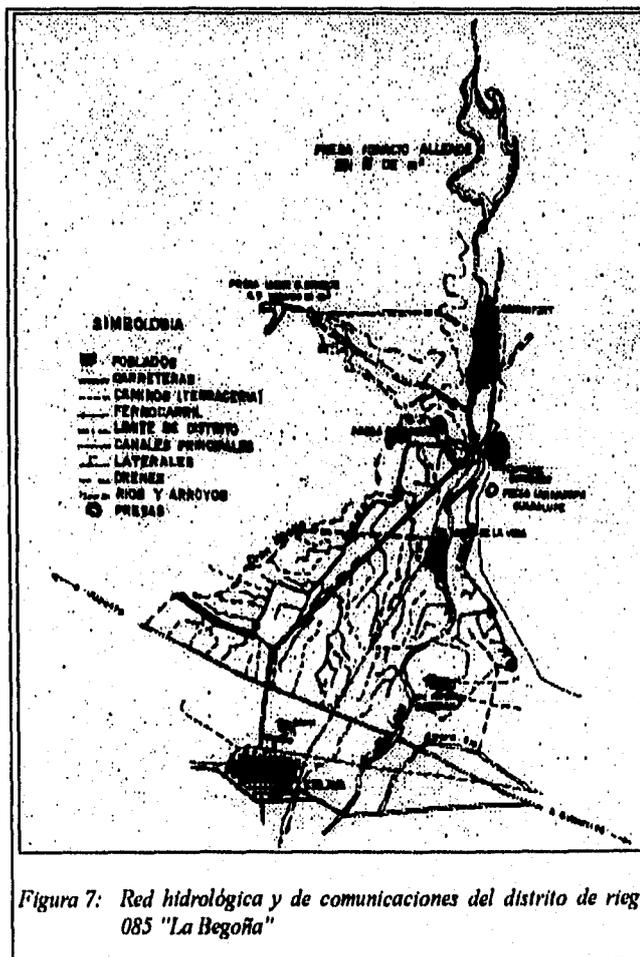


Figura 7: Red hidrológica y de comunicaciones del distrito de riego 085 "La Begoña"

es de 59.2 m<sup>3</sup>/s para el dren colector general y en la zona de la Presa Isidro G. Orozco es de 12.1 m<sup>3</sup>/s para el dren Lagunas.

### Hidrología subterránea

Con base en los estudios geohidrológicos efectuados y en el conocimiento general de la zona, se observa que el acuífero está formado en su parte superior por rellenos arcillo-arenosos de baja permeabilidad y en su parte inferior por rocas volcánicas fracturadas de tipo basáltico y riolítico de mayor permeabilidad. (Trujillo, 1990)

En el valle de Celaya existen 2125 pozos, los cuales extraen un volumen de 550 millones de m<sup>3</sup>/año ocasionando una sobre-explotación de 110 Mm<sup>3</sup>/año al existir sólo una recarga de 440 Mm<sup>3</sup>/año. El 85 % del agua extraída se destina al uso agrícola, 10 % al consumo y 5 % al uso industrial. La sobre-explotación del acuífero se refleja en un continuo descenso del nivel del agua que en la actualidad alcanza una velocidad hasta de 3.5 m/año (Trujillo, 1990). El acuífero se encuentra a 20.0 m de profundidad en el norte y a 40.0 m en el sur del distrito (Verdeil, 1993).

### Agricultura

Las actividades agropecuarias constituyen la base de la economía de la zona estudiada. La superficie total dominada del distrito es de 15,269 ha, de las cuales 11,484 ha son aprovechados para la agricultura y 10,822 ha son regables con un volumen asignado de 124 millones de m<sup>3</sup> de aguas superficiales y 60 millones de m<sup>3</sup> de aguas subterráneas. La productividad de los suelos regados es mucho más alta que de las zonas de la agricultura pluvial, con lo que se explica la importancia del uso de riego en esta zona.

Operativamente el distrito se divide en dos unidades con un total de 11 secciones, siendo estas la Unidad Celaya y la Unidad Comonfort. Sin embargo para fines de transferencia se ha organizado en cuatro módulos:

- (1) Neutla (572 ha), regado con el agua de la Presa Isidro G. Orozco
- (2) Comonfort (1178 ha), regado por bombeo desde el Río Laja
- (3) Margen Izquierda (1242 ha), regado con agua de la presa derivadora Guadalupe
- (4) Margen Derecha (7890 ha), regado con agua de la presa derivadora Soria.

La superficie regada por el canal principal margen derecha se localiza en una zona que posee dos calidades físicas: los suelos son profundos y fértiles, y las pendientes son pequeñas; el clima, por el contrario, representa contrastes fuertes: las lluvias se concentran en cuatro meses y los riesgos de granizo y de heladas son importantes.

Cuadro 18: Distribución de la superficie cultivada en el DR 085

	1987	1988	1989	1990	1991	1992
<b>total de distrito</b>	<b>10392</b>	<b>7086</b>	<b>8884</b>	<b>7351</b>	<b>7863</b>	<b>11056</b>
<b>total hortalizas</b>	<b>1289</b>	<b>364</b>	<b>971</b>	<b>180</b>	<b>2106</b>	<b>1621</b>
jitomate	223	31	295	2	49	187
cebolla	117	5	109	52	16	317
zanahoria	490	124	330	47	424	695
ajo	167	28	76	23	17	157
brócoli	160	55	10	0	14	108
otras hortalizas	132	81	151	56	1666	157
<b>total frutales y otros</b>	<b>82</b>	<b>49</b>	<b>755</b>	<b>563</b>	<b>331</b>	<b>729</b>
aguacate	474	0	528	547	282	355
zampoalzuçhiti	20	5	28	0	12	37
jicama	315	37	164	14	55	301
otras frutales	15	7	35	2	2	36
<b>total forrajes</b>	<b>3148</b>	<b>3147</b>	<b>3154</b>	<b>2821</b>	<b>2661</b>	<b>3205</b>
alfalfa	3134	3132	3133	2821	2642	3188
otras forrajes	9	15	21	0	19	17
<b>total granos</b>	<b>5156</b>	<b>5526</b>	<b>4004</b>	<b>3787</b>	<b>2667</b>	<b>6301</b>
trigo	2110	109	2710	46	2114	2491
sorgo	2100	2672	945	2824	279	2834
maiz	831	717	284	698	103	739
frijol	83	14	50	219	161	209
otros granos	12	14	15	0	10	8

La propiedad de la tierra se reparte entre 2595 ejidatarios (73 %) y 693 pequeños propietarios (27 %) (Hirtz, 1994).

## Cultivos

De la superficie total del distrito, según datos estadísticos (1986-1993) de la SARH se han cosechado en promedio 7803 ha anuales con riego, de éstas un 35 % se siembran en el ciclo de otoño-invierno, un 26 % en el ciclo primavera-verano y el resto corresponde a cultivos perennes. En la zona existen 37 cultivos anuales y 15 perennes, de los cuales los más importantes son: maíz, sorgo, frijol y hortalizas en el ciclo primavera-verano; trigo y hortalizas (predominando la zanahoria) en el ciclo otoño-invierno; y perennes: alfalfa y frutales (Cuadro 18).

## Uso de plaguicidas en el Distrito

Los plaguicidas se utilizan como herramienta en el manejo de los suelos y para proteger a los cultivos frente a los insectos y malezas. El padrón de uso de plaguicidas depende de las variaciones regionales que existen en los tipos de cultivos, superficie sembrada, prácticas de manejo y factores fisiológicos y climáticos. Los tipos de plaguicidas y dosis aplicada en el distrito se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19: Cultivos y su manejo agrícola en el Distrito de Riego 085 "La Begoña", Gto.

cultivo	siembra	fertilización	plaguicidas	dosis	riego	cosecha
ajo	1 ago - 15 oct	240-80-00 50 kg de sulfato de zinc	Nemacur 400 Afolon Afolon+Geagard Malathion 1000 E Maneb+Zineb	0.3 lt/ha 2 kg/ha 1.5+0.3 kg/ha 1-1.5 lt/ha 1.25+1.25 kg/ha	antes de sembrar preemergente 15-20 días post-siembra	ene - marzo
cebolla	20 abr - 31 ago	200-60-00 50 kg de sulfato de zinc	Afolon + 2,4-D Adamina Afolon + Geagard Goal + Fumilado	0.75+0.25 lt/ha 0.75+0.25 lt/ha 1.75+2.5 lt/ha	20-30 días desp. trasplante	ago - oct
chile	1-15 marzo	150-60-00	Sulfato de cobre	4 kg/ha	60-70 días desp. trasplante	15 jun - 15 jul
frijol	1 feb - 10 marzo	60-40-00	Diazinon 25% E Dimetoato 40E Sevin 80% PH	1 lt/ha 1 lt/ha 1 kg/ha	20-30 días de emergencia 20-30 días de emergencia 30-45 días de emergencia	15 mayo - 15 jun 20 sep - 25 oct
garbanzo	1 sep - 15 oct	no fertiliza	Diazinon 25% E	1 lt/ha	30-40 días post-siembra	dici - ene
jitomate	10 dic - 30 ene 1 jul - 30 ago	180-60-00	Lanate 90% Folimat 1000 Malathion 1000 E Parathion Metílico Dimetoato	0.5 kg/ha 0.5 kg/ha 1 lt/ha 1 lt/ha 1 lt/ha	70-100 días de emergencia 25-30 días de nacido 25-30 días de nacido 25-30 días de nacido 20-30 días de emergencia	10 abr - 20 mayo 10 oct - 20 nov
maíz	20 marzo - 30 abr 1 mayo - 30 jun	180-40-00	Cesaprim 50 Cesaprim Combi Cesaprim 50 + Geagard Primagram 50 Cesaprim 50 + 2,4-D Malathion 1000 E Parathion Metílico	2-3 lt/ha 2-3 lt/ha 2+1 lt/ha 3 lt/ha 2+1 lt/ha 1 lt/ha 0.75 lt/ha	preemergente preemergente preemergente preemergente 10-15 días de emergencia 20-30 días post-siembra 20-30 días post-siembra	15 sep - 30 oct
sorgo	20 marzo - 30 abr 1 mayo - 30 jun	210-40-00	Cesaprim 50 Cesaprim Combi Cesaprim 50 + Geagard Primagram 50 Cesaprim 50 + 2,4-D Malathion 1000 E Parathion Metílico	2-3 lt/ha 2-3 lt/ha 2+1 lt/ha 3 lt/ha 2+1 lt/ha 1 lt/ha 0.75 lt/ha	preemergente preemergente preemergente preemergente 10-15 días de emergencia 20-30 días post-siembra 20-30 días post-siembra	15 sep - 30 oct
trigo	20 nov - 31 dic	240-60-00	2,4-D Amina Puma Parathion Metílico	1 lt/ha 2-3 lt/ha 20 kg/ha	20-30 días de emergencia 20-30 días de emergencia 80-90 días de emergencia	mayo
alfalfa	15 nov - 15 ene y en época de lluvias	40-180-00	Parathion Metílico 3%	20 kg/ha	abril - mayo	1er corte a los 90 días post-siembra, desp. c/30 días
zanahoria	todo el año	sulfato de amonio 500 kg/ha	Afolon + Amigo 500 Folidol-Azufre + Foliar Foliar + Azufre	1 kg/ha 1 lt/ha 20+10 kg/ha	a los 45 días de nacido a los 100 días de nacido a los 120 días de nacido	todo el año
tomate	1 dic - 30 ene	180-60-00	Folimat 1000 Malathion 1000 E Parathion Metílico	0.5 kg/ha	a los 25-30 días de nacido y desp. c/20 días	30 mayo - 15 jun

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la ayuda del modelo EPIC se evaluó el impacto de la variación de la precipitación (año seco y año lluvioso), manejo (aplicación de riegos oportunamente), valor del coeficiente de partición y tipo de plaguicida sobre el riesgo de contaminación por agroquímicos. Se analizaron los 24 escenarios descritos en el capítulo sobre la Metodología.

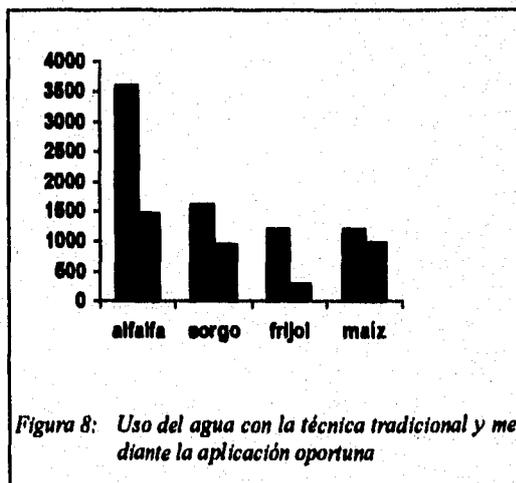
Los resultados de las ejecuciones se muestran resumidos en el anexo 4. Se grafican, respecto al tiempo, las concentraciones de los plaguicidas en el acuífero, en los drenes y en el escurrimiento, así como los residuos en los sedimentos, en el suelo y en el follaje. Con el fin de simplificar el análisis, se gráfica también en la misma escala de tiempo, la dinámica del agua: evapotranspiración, escurrimiento superficial, flujo a drenes y al acuífero. Para el cultivo de sorgo, se reportan solamente los resultados numéricos porque las tendencias de las gráficas, por la similitud de los itinerarios y los plaguicidas utilizados, son los mismos que para el maíz.

Se reportan también cuantitativamente, en forma de cuadros resúmenes para cada mes, las concentraciones de los plaguicidas en el agua y en el medio, para cada uno de los escenarios considerados. Para el escurrimiento, flujo al acuífero y flujo a los drenes, las concentraciones se presentan de dos maneras: 1) en gramos de residuo por ha, que significa la cantidad movilizada por cada hectárea, y 2) ppb (partes por millón [ $\mu\text{g/l}$ ]) y ppt (partes por trillón [ $\text{ng/l}$ ]) de plaguicida en el agua.

### Uso del agua

Para mostrar el uso excesivo del agua cuando se riega de manera tradicional, en el Cuadro 20 se presentan para la alfalfa las láminas de riego aplicadas mediante el riego tradicional, mientras en el Cuadro 24 se muestran las láminas de riego y fechas respectivas, obtenidas por simulación para el caso de la aplicación de los riegos oportunos. Evidentemente se disminuye sensiblemente el uso del agua y consecuentemente, como se analizará posteriormente, la movilidad de los plaguicidas.

Los calendarios de riego y las láminas a aplicar para cada cultivo mediante la aplicación de la tecnología (riego oportuno) se muestran del Cuadro 21 al Cuadro 24. En la Figura 8 se resume la información sobre riegos aplicados y se comparan las cantidades de agua aplicadas para ambos escenarios en los cultivos seleccionados. Es posible notar que para alfalfa se reduce el uso del agua en 60 % aproximadamente, para sorgo en 40 %, para frijol en 80 % y para maíz en 20 %. Como se ve posteriormente (Cuadro 26 y Figura 17), esta disminución del uso del agua no disminuye la producción, al contrario, la incrementa.



*La técnica tradicional de riego induce al desperdicio del agua y por consecuencia a la movilidad de los plaguicidas y contaminación de los cuerpos de agua.*

Cuadro 20: Fechas y láminas de riego y de cosecha en riego tradicional para el cultivo alfalfa

No. de riego	1	2	3	4	5	6	7	8	9
fecha	01/01	30/01	30/02	30/03	15/05	30/06	15/08	30/09	15/11
lámina	400	400	400	400	400	400	400	400	400
cosecha	-	-	15/03	30/04	15/06	30/07	15/09	30/10	30/12

Cuadro 21: Fechas y láminas de riego aplicando riegos en cantidades y momentos oportunos para alfalfa

No. de riego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
fecha	02/1	12/4	14/5	28/5	10/6	15/6	08/7	21/7	04/8	16/8	20/9	21/10	08/11	24/11	11/12	26/12
lámina (mm)	93	80	91	102	83	97	105	85	81	86	100	95	94	93	89	88

Cuadro 22: Fechas y láminas de riego aplicando riegos en cantidades y momentos oportunos para el maíz

No. de riego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
fecha	16/05	01/07	11/07	22/07	03/08	13/08	29/08	21/09	21/10	08/11
lámina (mm)	103	97	81	95	110	98	100	101	96	96

Cuadro 23: Fechas y láminas de riego aplicando riegos en cantidades y momentos oportunos para el sorgo

No. de riego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
fecha	16/05	01/07	13/07	26/07	08/08	20/08	02/09	22/09	21/10	07/11
lámina (mm)	103	97	95	98	101	77	76	96	101	93

Cuadro 24: Fechas y láminas de riego aplicando riegos en cantidades y momentos oportunos para el frijol

No. de riego	1	2	3
fecha	16/02	10/04	27/04
lámina (mm)	103	79	93

### Efecto de los diferentes plaguicidas aplicados

Anteriormente se han mencionado las características de los plaguicidas que determinan su riesgo sobre el ambiente. En las simulaciones se utilizaron varios plaguicidas con diferentes características pero bajo idénticas condiciones, con el fin de analizar el impacto del coeficiente de partición, solubilidad y vida media en el suelo sobre el riesgo de la contaminación de los recursos hídricos por plaguicidas. En las gráficas y tablas del anexo 4 se pueden apreciar las diferentes cantidades de residuos en los flujos hacia el acuífero y drenes, en los sedimentos, en el escurrimiento, sobre el follaje y en la superficie del suelo. De los resultados se extrae el Cuadro 25 donde se comparan los diferentes plaguicidas aplicados al mismo cultivo y mismo tiempo (excepto 2,4-D y Parathion Metílico) por pares. Los datos indican la relación (cantidad del primer plaguicida/cantidad del segundo plaguicida) y la relación que hay entre sus características correspondientes.

Por ejemplo, comparando el Gesaprim con 2,4-D para un mismo cultivo y para el mismo régimen de riego y de lluvias, se tiene que la concentración del Gesaprim es cuatro veces superior a la concentración del 2,4-D en el acuífero; en drenes es de siete, en el escurrimiento es dos veces y en los sedimentos es tres veces superior. Las cifras anteriores se explican parcialmente por las características de los plaguicidas: la cantidad aplicada de Gesaprim es dos veces superior a la del 2,4-D; la solubilidad del Gesaprim es una trigésima parte a la del 2,4-D, el coeficiente de partición es igual en ambos plaguicidas y la vida media del Gesaprim es seis veces superior a la del 2,4-D.

Cuadro 25: Comparación de la contaminación por diferentes plaguicidas.

Plaguicida	acuífero	drenes	escurrim.	sedimento	carb. aptio.	solubilidad	coef. de part.	vida media
Gesaprim/ 2,4-D	4 x	7 x	2 x	3 x	2 x	1/30 x	1 x	6 x
Dimetoato/ Diazinon	1000 x	15 x	1 x	1 x	2 x	60,000 x	1/25 x	1/4 x
Dimetoato/ Sevin	1500 x	20 x	-	-	1/2 x	600 x	1/25 x	1 x
2,4-D/ Parathion	-	2000 x	60 x	1 x	1 x	15 x	1/200 x	2 x

Nota: Las características de cada plaguicida se encuentran en el anexo 3.

### Vida media

La vida media del plaguicida en el suelo es una medida de la persistencia de la misma en el ambiente. Si el plaguicida o sus residuos permanecen durante más tiempo en el suelo, hay mayor probabilidad que las precipitaciones o riegos los arrastren hacia las aguas superficiales o subterráneas. De acuerdo a las simulaciones, con el Gesaprim y el 2,4-D, donde la diferencia significativa entre los dos plaguicidas era solamente la vida media, los resultados demuestran que el Gesaprim tiene una mayor probabilidad de contaminar las aguas subterráneas y superficiales que el 2,4-D, según las cantidades obtenidas de la simulación (figuras 1 y 10 del anexo 4). Aunque su solubilidad es menor (30 veces), pero su vida media en el suelo es mayor (6 veces), lo que ocasiona que tarda más en degradarse en el suelo, dando la oportunidad para que una lluvia eventual o un sobre riego lo transporte hacia el acuífero o drenes.

*La vida media de los plaguicidas es proporcional a su potencial de contaminación.*

### Solubilidad y coeficiente de partición

Las simulaciones corroboran que la solubilidad y el coeficiente de partición del plaguicida son parámetros importantes que afectan la distribución del plaguicida a través de los sistemas ecológicos. Se compararon varios plaguicidas obteniendo las observaciones que se presentan a continuación.

**Comparación entre Dimetoato y Diazinon:** Se reportan mayores cantidades de los residuos de Dimetoato en los flujos hacia el acuífero y drenes (500 y 8 veces más, respectivamente) (figuras 29 y 30 del anexo 4), debido a su mayor solubilidad y menor coeficiente de partición.

**Comparación entre Dimetoato y Sevin:** El Dimetoato por tener menor coeficiente de partición y mayor solubilidad, significa mayor riesgo de contaminación para el acuífero (3000 veces) y para los drenes (40 veces) que el Sevin (figuras 21 y 29 del anexo 4).

**Comparación entre 2,4-D y Parathion Metílico:** Se encontraron mayores concentraciones de residuos en los drenes (2000 veces) y en el escurrimiento (60 veces) en el caso de la aplicación de 2,4-D (figuras 1 y 7 del anexo 4), lo que se explica con su mayor solubilidad y menor coeficiente de partición. De acuerdo con la simulación, en las condiciones reales el Parathion no contamina el acuífero. Sin embargo, no es muy apropiada la comparación de estos dos plaguicidas siendo el primero un herbicida y el segundo un insecticida; aunque con fines de demostración del impacto de la solubilidad y de la coeficiente de partición se pueden comparar plaguicidas con diferente uso.

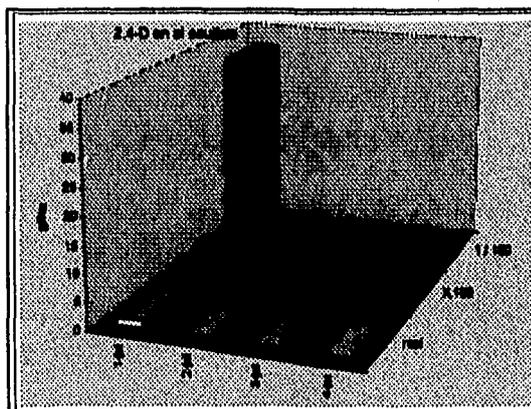


Figura 9: Migración del 2,4-D hacia el acuífero con las hipótesis de coeficientes de partición diferentes: real (74), cien veces mayor y de una centésima

### **Efecto del coeficiente de partición**

En los escenarios 1, 7 y 8 se compararon tres tipos de 2,4-D, donde la única diferencia entre ellos fue el coeficiente de partición (o factor de adsorción). Con el aumento del coeficiente de partición se disminuye la cantidad de plaguicida en el acuífero (Figura 9) y en el caso de  $k_d = 7400$  ya no se encontraron residuos en dicho lugar (figuras 1, 7 y 8 del anexo 4). También en los drenes se disminuye la cantidad de plaguicida al utilizar el producto con un coeficiente de partición mayor. Se presentaron diferencias en las cantidades de plaguicidas en el escurrimiento y en los sedimentos en los tres casos, pero no se puede ver una tendencia explicable.

*El coeficiente de partición de un plaguicida es inversamente proporcional a su potencial de contaminación. El riesgo de contaminación se incrementa al utilizar plaguicidas con altas solubilidades y coeficientes de partición pequeños.*

### **Régimen hídrico**

#### **Pluviometría, irrigación y contenido de humedad del suelo**

Todos los procesos de transporte de agua, de solutos y sedimentos están estrechamente influenciados por el régimen hídrico y las características del suelo. En la Figura 10 se muestran las precipitaciones durante el ciclo de desarrollo del maíz con el fin de tener la posibilidad de observar gráficamente el efecto de las mismas sobre algunos factores en el tiempo. El contenido de humedad del suelo varía sensiblemente con el aporte de las lluvias si el suelo se encuentra seco. Si por el contrario, se encuentra húmedo y se presenta una lluvia, ocurre un escurrimiento, se infiltra o se percola, según las características de la lluvia y del suelo. Pero en cualquiera de los casos, la factibilidad de movilidad del plaguicida, si está presente, es inminente.

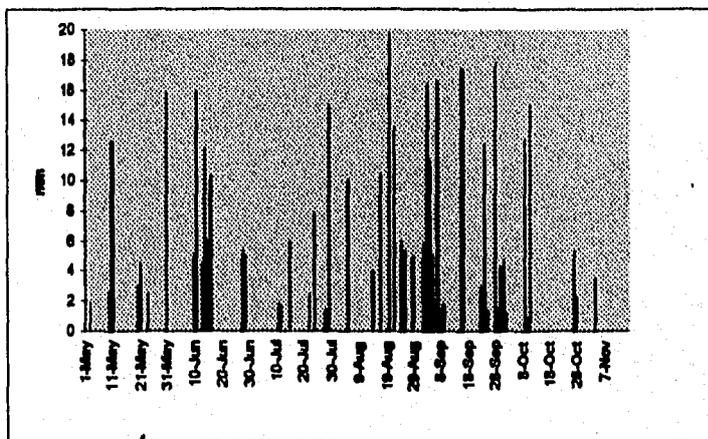


Figura 10: Precipitaciones durante el ciclo de cultivo del maíz

Las características físicas del suelo establecen una capacidad de almacenamiento temporal del mismo que regula el movimiento del agua. La Figura 12 muestra la dinámica de la humedad del suelo y su influencia por las lluvias y riegos en un suelo cultivado con maíz, desde la siembra del cultivo hasta la cosecha. El agua excedente de la capacidad de retención del suelo se evacua en tres direcciones (Figura 5): superficialmente en forma de escurrimiento, subsuperficialmente hacia los drenes y percolación profunda hacia al acuífero. El orden de magnitud y la velocidad depende, además de las características físicas del suelo (capacidad de almacenamiento determinada por la textura y pendiente), de la intensidad de la lluvia o aplicación del riego y el nivel de humedad del suelo en el momento de la precipitación. Por ejemplo en las fechas próximas al riego de 400 mm (10 de mayo), el nivel de humedad de suelo se incrementa con 60 mm reestableciendo su capacidad de almacenamiento (alrededor de 150 mm) y el resto se evacua: 200 mm se percolan hacia el acuífero, y 80 mm fluyen hacia los drenes.

La presencia de lluvias o la aplicación de riegos cuando el contenido de humedad en el suelo es alta, provocan movimientos descendentes (percolación) y laterales (escorrimento y flujo a drenes) que pueden acarrear los plaguicidas si éstos están presentes.

### Régimen hídrico y movilidad de los plaguicidas

Cuando hay movimiento de agua y se tiene presencia de plaguicidas en el suelo o en el follaje, éstos también se mueven con el agua. Lo anterior se constata en las Figura 13 y Figura 15, que muestran el flujo acumulado de agua o volumen y la migración acumulada de plaguicida durante el ciclo de desarrollo del maíz. Se corrobora que cuando el contenido de humedad supera la

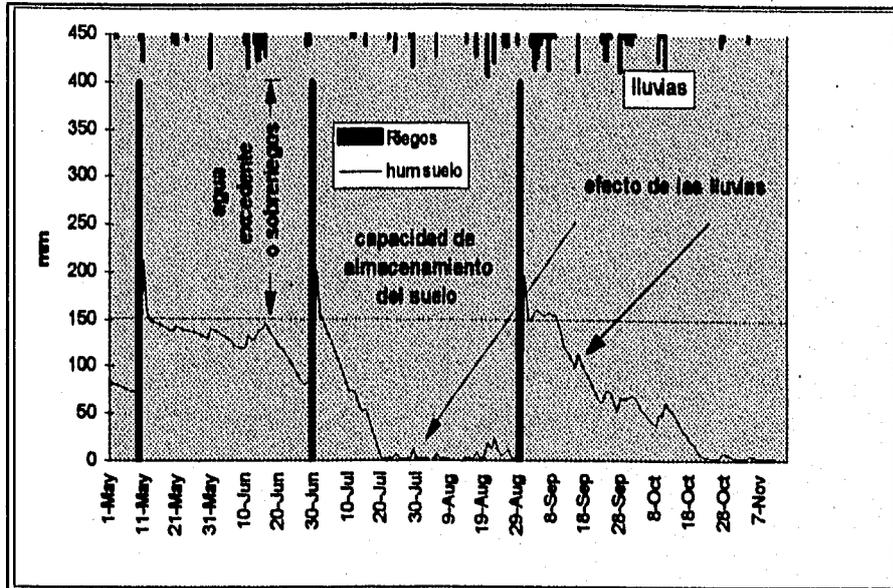


Figura 12: Dinámica de la humedad del suelo influenciada por los riegos y las precipitaciones para el cultivo del maíz, aplicando los riegos de acuerdo a la tradición

capacidad del suelo de retenerla (Figura 12) y se presenta un flujo, ocurre la migración de los plaguicidas de manera simultánea. Las proporciones están determinadas por el flujo del agua en los medios porosos, esquematizado para el tipo de suelo en cuestión por la Figura 11.

### Técnica de riego tradicional

Bajo el régimen de riego tradicional, es decir aplicando láminas de riego considerablemente superiores a la capacidad de retención del suelo, la movilidad de los plaguicidas es consecuencia inmediata del riego, en proporción a la cantidad de agua excedente (Figura 13). El efecto de las lluvias en el movimiento de los plaguicidas provocada por el flujo hacia los drenes, o hacia el acuífero es nulo ya que las lluvias se presentan cuando el contenido de humedad es inferior a la capacidad de retención del suelo. Es decir, el flujo ocasionado por lluvias cuando el suelo está seco es nulo, y por consecuencia, la migración de plaguicidas también es nula. En cambio, si se presentan las lluvias de manera considerable y después de un riego abundante, sí tienen efecto

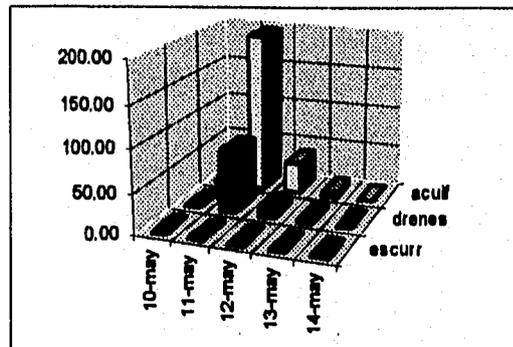


Figura 11: Flujo direccional de agua después de un riego

en el escorrimento y consecuentemente en la migración de los plaguicidas a través del mismo y en los sedimentos, ya que el escorrimento se manifiesta de inmediato después de la presencia de las lluvias (lluvias ocurridas entre el 11 y 31 de mayo, Figura 10). Lo anterior se constata en la Figura 13. Aunque el volumen

escurrido es mínimo, la cantidad de plaguicida movilizado supera, en esos días al total de plaguicida adsorbido en los sedimentos en el transcurso del año.

Se manifiesta claramente la influencia de la pluviometría y del estado de la humedad del suelo en el momento de las lluvias o riegos, sobre el movimiento del agua y de los agroquímicos en el suelo.

La movilidad de los agroquímicos depende fundamentalmente de la dinámica del agua del suelo por estar disueltos en ella. Es de esperarse que las cantidades de plaguicidas movilizados dependerá del volumen de agua evacuado, de la cantidad existente de agroquímicos en el suelo en ese instante y de la solubilidad del mismo.

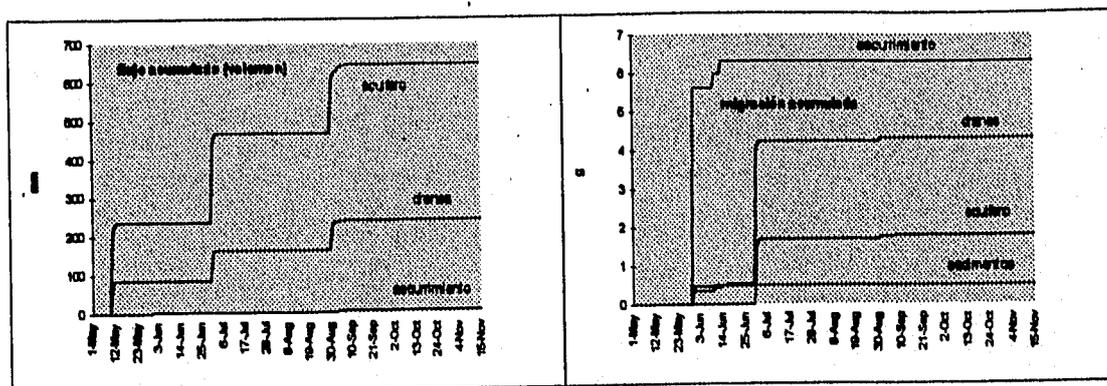


Figura 13: Flujo de agua y migración (acumulados) durante el ciclo de desarrollo del maíz cuando los riegos se aplican tradicionalmente

### Oportunidad de los riegos

La oportunidad de los riegos significa aplicar un riego suficiente para alcanzar la capacidad de almacenamiento en el momento que se presenta un nivel de humedad especificado por alguno de los siguientes criterios: a) la humedad mínima crítica para evitar daños al cultivo o b) la humedad mínima del suelo (PMP). También significa aplicar riegos en fechas pre-establecidas por las condiciones laborales y de infraestructura física (días festivos, capacidad de canales, etc.) pero en una lámina variable, justo para restituir el suelo a su capacidad de almacenamiento. Mediante este procedimiento se evitan aplicaciones de agua excedentes, superiores a la capacidad de almacenamiento del suelo. La gráfica de la

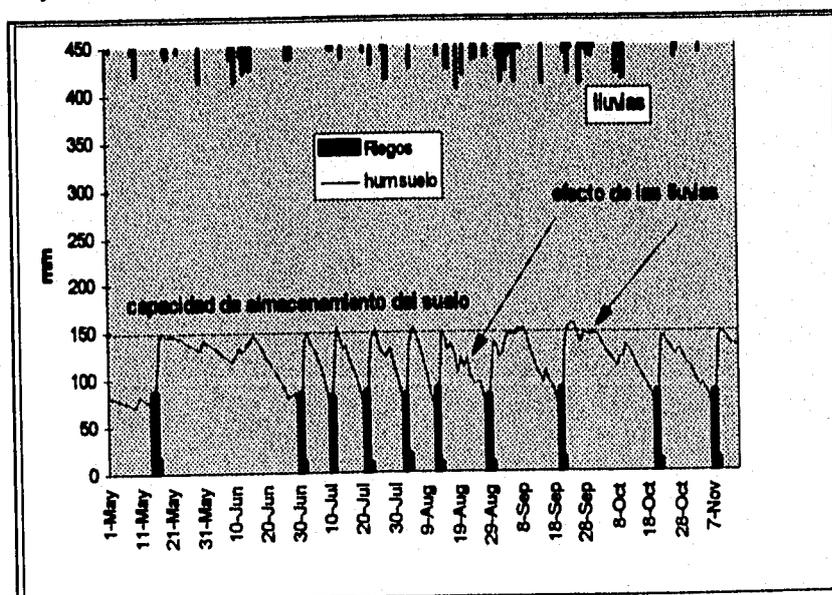


Figura 14: Dinámica del agua del suelo cuando se aplican los riegos en los momentos oportunos y en las cantidades necesarias

Figura 14 refleja la precisión en la aplicación del riego oportuno. Esta figura esquematiza los excedentes (o evacuación del agua) que coinciden con la presencia de las precipitaciones o riegos. Aunque el número de riegos se incrementa considerablemente (en caso de maíz por ejemplo se aplicaron 10 riegos a diferencia de los 3 aplicados tradicionalmente), en total se aplica menos agua (Figura 8), por lo que hay un ahorro de energía y de agua. Respecto a la migración de los plaguicidas, en el caso de maíz, se aprecia una disminución significativa, aunque no tan drástica como la disminución del flujo de agua (Figura 15). Lo anterior se explica porque la fecha de aplicación del plaguicida coincide con la fecha del primer riego, que a su vez coincide con las lluvias que se presentan cuando el riego a restituido la humedad del suelo (entre el 11 de mayo y el 31 de mayo). Es decir se presentan escurrimientos y percolación, que aunque son casi insignificantes, arrastran una cantidad considerable de plaguicida porque éste está presente en el suelo por no haber tenido suficiente tiempo para su degradación.

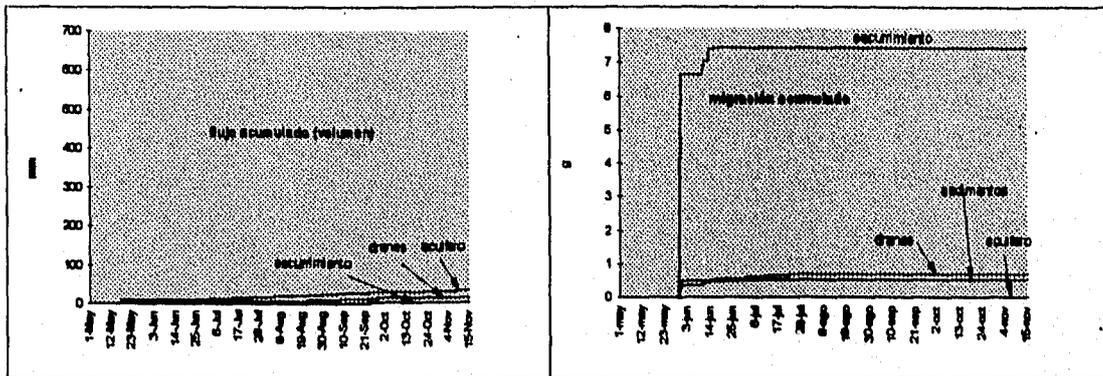


Figura 15: Flujo de agua y migración (acumulados) durante el ciclo de desarrollo del maíz con aplicaciones de los riegos en los momentos y cantidades oportunas

### Efectos indirectos

El régimen de lluvias y la técnica de riego, que afectan la movilidad de los plaguicidas, tienen efectos en la eficiencia del uso del agua y en la productividad de los cultivos. La Figura 16 muestra para el caso del maíz el destino del agua de lluvia y de los riegos. Es de notarse que mediante aplicaciones tradicionales, el agua, tanto de la lluvia como del riego, tiende a desperdiciarse (pasar a través del suelo) y es susceptible de contaminarse. La fracción útil, es decir la efectivamente aprovechada por los cultivos es muy reducida. En cambio, aplicando los riegos técnicamente, el agua que pasa a través del suelo es muy poca, lo que implica que el agua susceptible de contaminarse no es muy significativa; la mayor parte del agua aplicada y de lluvia es aprovechada por el cultivo.

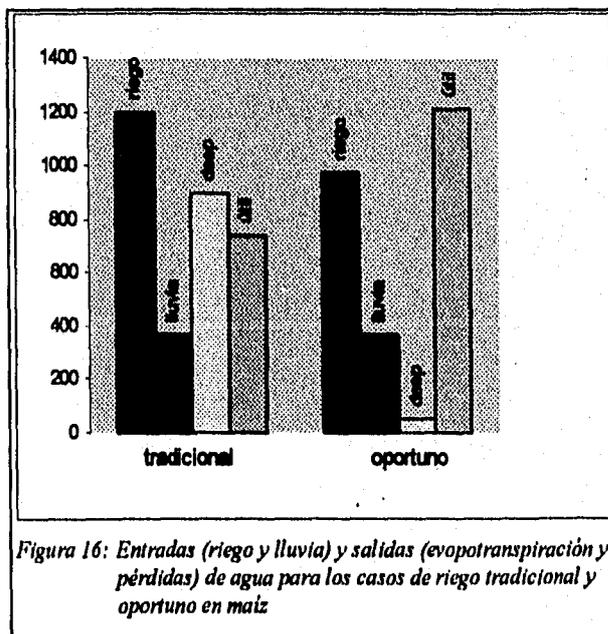


Figura 16: Entradas (riego y lluvia) y salidas (evapotranspiración y pérdidas) de agua para los casos de riego tradicional y oportuno en maíz

Es importante hacer notar que el agua aprovechada por el cultivo (la evapotranspiración), pasa a través de las membranas del cultivo, dejando la ma-

por parte de los contaminantes en el suelo (la absorción de residuos por los cultivos no está muy bien documentada). La fracción de contaminantes que puede introducirse en los tejidos vegetales ahí permanece, pues el agua es evaporada y pasa a la atmósfera sin residuos. Los plaguicidas sólo tendrán movilidad en la zona de raíces de los cultivos, acumulándose y degradándose en esa franja.

### Eficiencia en el uso del agua y productividad

El concepto de precipitación efectiva, en agronomía, indica la cantidad de agua de lluvia que se infiltra en el suelo y que es susceptible de ser aprovechada por los cultivos. Los esfuerzos por disminuir la movilidad de los plaguicidas del suelo mediante la aplicación racional del agua, tienen consecuencia en la eficiencia fisiológica de la misma, en la productividad y en la magnitud de la precipitación efectiva.

Por eficiencia se comprende la relación entre el agua aplicada respecto al agua realmente aprovechada por el cultivo; por productividad la relación entre el agua aplicada y la producción neta de mercado. La Figura 17 presenta la evolución en el tiempo del agua aprovechada por el cultivo del maíz en tres condiciones de aportaciones hídricas. Se manifiesta que a medida que hay en el suelo agua realmente disponible, ésta tiende a ser utilizada por el cultivo permitiendo la producción de biomasa o materia seca. El interés de esta figura, complementada con la Figura 16, es que, aún aplicando cantidades inferiores de agua, ésta es utilizada con más eficiencia y además tiende a producir mejores cosechas, ya que se controla la aplicación en función del desarrollo fisiológico del cultivo.

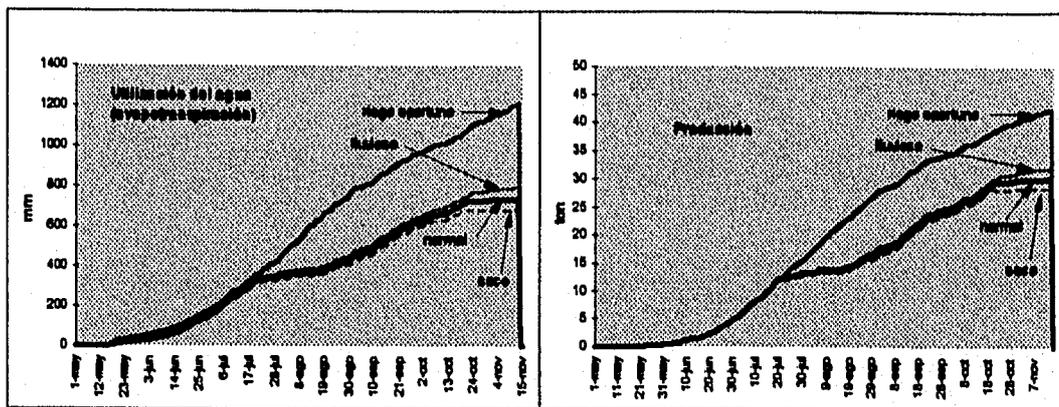


Figura 17: Consumo de agua y producción en materia seca total de maíz aplicando los riegos oportunos; regando tradicionalmente en año seco, normal y lluvioso

El Cuadro 26 presenta un resumen de las simulaciones de todos los escenarios en relación al uso del agua. La evapotranspiración de referencia (Eto) indica la capacidad potencial de la atmósfera de extraer el agua del suelo durante la época que el cultivo permanece en el suelo. En el caso de alfalfa, que permanece todo el año, el Eto es considerablemente mayor que en los otros cultivos. No hay diferencias significativas entre tratamientos para el mismo cultivo. De igual manera ocurre para la evapotranspiración potencial. En la evapotranspiración real (ETR) se aprecian diferencias entre tratamientos ya que es afectada sobre todo, por la disponibilidad del agua en el suelo, como consecuencia de los riegos y de la presencia de lluvias. Asimismo ocurre con la precipitación, que con los métodos tradicionales de riego, que estimulan el desperdicio del agua, adicionalmente no permiten la utilización eficaz de esta agua limpia y gratuita; al contrario, al moverse fuera del suelo, se contamina. La precipitación efectiva es un indicador de la eficiencia del agua de riego.

La producción de cada tratamiento, como función del agua disponible, también es variable. La variación entre tratamientos es explicable por el agua disponible y entre los diferentes cultivos, por las características genéticas de los mismos.

El interés central de este análisis radica en la productividad del agua. Regando racionalmente, como se ha mostrado previamente, se reduce sensiblemente el potencial de movilidad de los plaguicidas, pero además se incrementa la producción de alimentos por cada metro cúbico de agua aplicada.

La última línea del Cuadro 26 presenta esta peculiaridad para los diferentes cultivos y entre los diferentes tratamientos. Por ejemplo, en el cultivo del maíz, la comparación entre el riego oportuno y tradicional pone de manifiesto que la producción del cultivo por unidad de agua aplicada se incrementa hasta en 80% y para el caso del frijol hasta en 440%.

Otro resultado evidente de este análisis es que los cultivos más exigentes en agua, como la alfalfa, aumentan el riesgo de contaminación por el gran volumen de agua aplicado y filtrado por el suelo, que es susceptible de contaminarse si el contaminante está presente y además, la eficiencia fisiológica de los mismos es significativamente más baja: 3.6 kg/m<sup>3</sup> en alfalfa comparado con los 25.1 kg/m<sup>3</sup> de producción del maíz.

La contaminación de las aguas por plaguicidas puede minimizarse si se promueve la disminución de la superficie de alfalfa cultivada (y cultivos exigentes en agua) y se elimina la tecnología tradicional. La opción alternativa es producir maíz con la técnica racional del riego con una producción aproximadamente diez veces más productivo con 43.5 kg/m<sup>3</sup> frente a la de 3.6 kg/m<sup>3</sup> del riego tradicional. Así no sólo se estimula económicamente el bienestar de los agricultores, sino como se ha demostrado, se disminuye o se abate la movilidad de los plaguicidas aplicados.

Cuadro 26: Resultados anuales de evapotranspiración, precipitación y producción en los diferentes cultivos y escenarios

	maíz																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ETo	1447	1432	1445	1473	1111	1111	1111	1111	1406	1407	1404	1422	2587	2597	2582	2600	
ETP	1156	1171	1137	1216	522	538	502	303	1138	1149	1123	1169	175	1821	1691	1766	
ETR	737	792	684	1212	338	374	325	343	823	872	773	1156	1398	1478	1330	1735	
Pt	365	437	294	365	156	203	109	156	365	437	294	365	426	537	325	430	
Pe	158	184	101	230	53	88	33	91	158	183	101	211	200	269	119	242	
MS	30.1	31.9	28.4	42.5	6.2	6.8	5.4	6.7	25.8	26.2	25.3	38.7	13.0	14.5	12.1	19.4	
Riego	1200	1200	1200	977	1200	1200	1200	275	1600	1600	1600	937	3600	3600	3600	1462	
Prod	25	27	24	44	05	06	05	24	16	16	16	41	04	4	03	13	
Incr	70%	60%	80%	-	370%	330%	440%	-	150%	150%	160%	-	260%	230%	290%	-	

Nota: Eto = [mm], ETP = [mm], ETR = evapotranspiración [mm], Pe = precipitación efectiva [mm], Pt = precipitación total [mm], MS = materia seca (producción [ton/ha]), Prod = productividad del agua [kg/m<sup>3</sup>], Incr = incremento de la productividad

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

La técnica de modelación, complementada con las observaciones de campo permitió, en este estudio, conocer las tendencias de la migración de plaguicidas agrícolas hacia el subsuelo y hacia los cuerpos de agua.

De acuerdo con los resultados de la modelación, el riesgo de contaminación del suelo y acuíferos por plaguicidas en la zona estudiada, está determinado principalmente por la presencia de lluvias intensas, por el uso de prácticas de riego no optimizadas y por el proceso de biodegradación y de adsorción de los agroquímicos por el suelo. Con base en los resultados y comparaciones del estudio, se concluye que las características del plaguicida, como la solubilidad, vida media en el suelo y el coeficiente de partición son factores importantes que influyen en el riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y del suelo.

La aplicación del riego oportuno (esto es, el riego calculado con base en el clima y las condiciones de humedad en el suelo) minimiza la aparición de los plaguicidas en los efluentes del sistema, por lo que se perfi-

la como técnica adecuada para minimizar el problema de contaminación por la aplicación de plaguicidas agrícolas en la zona.

Se demuestra contundentemente el riesgo de contaminación por agroquímicos de los suelos de la región y las aguas locales y de las partes topográficas más bajas si se continúa con las tendencias actuales del manejo agrícola y el estímulo al uso indiscriminado de agua y agroquímicos.

Con base en el análisis anterior se puede concluir que la contaminación del medio ambiente por plaguicidas es vulnerable a las condiciones de clima, a los tipos de irrigación y las características de plaguicidas.

### **Recomendaciones**

Se debe atender la necesidad de crear un inventario sistematizado de productos aplicados y prácticas agrícolas, que incluya información completa y confiable acerca de los mismos. De otra manera, resulta difícil la aplicación de modelos de migración de contaminantes para la obtención de resultados confiables, sobre los niveles de plaguicidas en el suelo y agua en regiones agrícolas, como parte del diagnóstico del riesgo de contaminación por agroquímicos.

De acuerdo con los resultados de este estudio, se recomienda la aplicación de riego oportuno en lugar del riego tradicional, para minimizar el transporte de contaminantes a drenes y acuíferos y además, como consecuencia, para aumentar la productividad del suelo y del agua.

Para la disminución o eliminación del problema de contaminación del agua y del suelo por plaguicidas se propone:

- **Erradicación de las causas:** Disminuir lo más posible el uso de agroquímicos sustituyéndose por medidas biológicas de control de plagas (depredadores, manejo y rotación de cultivos) en armonía con la vocación productiva del suelo y del régimen climático. Esta medida implica una campaña intensiva de persuasión hacia las instituciones y productores para un cambio de actitud respecto a la protección y explotación de la naturaleza.
- **Promover la adopción de tecnología actualizada** (riegos en función del cultivo, suelo y clima, mínima utilización de plaguicidas, aplicación de aquellos menos persistentes, de coeficientes de partición mayor y de degradación total).
- **Creación de procedimientos persuasivos de estímulos económicos y legislaciones efectivas** como: subsidios a plaguicidas menos tóxicos y biodegradables, aplicación de normas vigentes de control de calidad, establecimiento de precios reales al agua de riego para suprimir el estímulo al desperdicio, etc.
- **Impulsar la producción agrícola en función de la vocación productiva del medio**, suprimiendo los cultivos exigentes en agua en zonas deficitarias y promover el cultivo de especies adaptadas u originarias del ecosistema.

### **A las instituciones públicas**

Uno de las metas principales de las instituciones de investigación dentro de la estrategia de la protección de los recursos naturales es proteger la calidad de los recursos hídricos. Un compromiso importante existente es llevar a cabo y desarrollar las prácticas existentes de manejo para lograr como objetivo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Para promover la realización de estos objetivos, es necesario: 1) coordinar las actividades que afectan la calidad del agua dando énfasis a la importancia de manejo voluntario por los campesinos, 2) proveer asistencia directa para mitigar los problemas de la contaminación de los recursos

hídricos desde las fuentes no puntuales y de la agricultura, integrando los conceptos de la calidad del agua y técnicas de manejo en programas apropiados y 3) apoyar la investigación para definir y evaluar la calidad del agua y las fuentes de contaminación no puntuales desarrollando herramientas técnicas necesarias para cuantificar los impactos ambientales y económicos y las medidas de conservación del suelo y del agua.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) tiene un papel importante en sugerir y llevar a cabo prácticas de manejo para mitigar la contaminación de los recursos hídricos por agroquímicos. El desarrollo de normas y características técnicas para el manejo de los fertilizantes y de plaguicidas son esenciales para explorar el manejo agrícola en un ambiente de complejidad técnica creciente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G. J. 1990. Problemática del agua superficial en el estado de Guanajuato. Memoria de la reunión "Análisis de la problemática del agua y perspectivas para la modernización de uso en la agricultura de Guanajuato". Celaya, Gto., México.
- Barbera, C. 1976. Plaguicidas agrícolas. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Beasley, D.B., Monke, E.J. y Huggins, L.F. 1977. ANSWERS: A model for watershed planning. Purdue Agricultural Experiment Station Journal, Paper No. 7038.
- Bower, J. 1978. Groundwater Hidrogeology. Ed. McGraw-Hill, USA.
- Brauch, H.J. 1993. Occurrence and fate of pesticide in river Rhine - A survey for period 1986-1991. Water Supply 11:31-38.
- California Department of Food and Agriculture (CDFA). 1978. Report on environmental assessment of pesticide regulatory programs. State Component. Sacramento, CA.
- Canter, L.W. 1987. Nitrates and pesticides in ground water. An analysis of computer-based literature search. In: Fairchild D.M. (ed.) Groundwater quality and agricultural practice. Lewis Publ., Chelsea, MI.
- CICOPLAPEST. 1993. Catálogo Oficial de Plaguicidas. SARH. México, D.F.
- Cisneros, O., Oyer, L., Rodríguez, Z.C. (1994) Caracterización agrosocioeconómica del Distrito de Riego 085 "La Begoña", Gto. IMTA, Informe RD-9416, Anexo 3.
- Clemente, R.S. 1993. PESTFADE, a new pesticide fate and transport model: Model development and verification. Trans. ASAE 36:357.
- CNA 1990. Estudio agrológico. Gerencia Estatal, DR 085 "La Begoña", Gto., México.
- Cooper, S. 1991. Will the World starve without pesticide?. Journal of Pesticide Reform 702:2-4.
- Crawford, N.H. y Linsley, R.K. 1962. The synthesis of continuous streamflow hydrographs on a digital computer. Stanford University, Department of Civil Engineering, Technical Report No.12. Stanford, California.
- Cremling, R.J. 1985. Plaguicidas modernos y su acción bioquímica. Ed. Limusa. México.
- Daniel, T.C., Wendt, R.C., McGuire, P.E. y Stoffel, D.1982. Nonpoint source loading rates from selected land uses. Water Res. Bull. 181:117-120
- Edwards, C. A. 1973. Environmental pollution by pesticides. Plenum Press. London & New York
- Environmental Protection Agency (EPA). 1984. The fate of selected pesticide in the aquatic environment. U.S. EPA, Ecological Research Series 660/3-74-025, Washington, D.C.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1987. Agricultural chemicals in groundwater: Proposed pesticide strategy. Proposed Strategy Document. U.S. EPA. Office of Pesticides and Toxic Substances. Washington, D.C.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1988 Protecting ground water: Pesticide and agricultural practices. EPA-440/6-88-001. U.S. EPA. Office of Ground-Water Protection, Washington, D.C.
- FAO 1994. Las políticas de recursos hídricos y la agricultura. ONU FAO, Roma, Italia.
- Flores, A.E., Badli, M.H. y Quiróz, H. 1994. Insecticidas y resistencia. Calidad Ambiental 21:18-21.
- Fletcher, G.D. 1987. Groundwater and wells. Johnson Division, St. Paul Minnesota, USA.
- Foster, S. 1987a. Contaminación de las aguas subterráneas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) OMS-OPS. Lima, Perú.
- Foster, S. y Salas H. 1987. Las aguas subterráneas: un valioso recurso que requiere protección. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente (CEPIS) OMS-OPS. Lima, Perú.
- Foster, S. 1987b. Contaminación de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente (CEPIS) OMS-OPS. Lima, Perú.
- Freeze, R. A. y Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Englewood Cliffs. New Jersey Prentice Hall.
- Gilliom, R.J., Alexander, R.B. y Oakes, H. 1985. Pesticides in the nation's rivers, 1975-1980, and Implications for future monitoring. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2271.
- CNA. 1991. Características de los distritos de riego: año agrícola 1990. Vol II. México.
- Hanks, J. y Ritchie J.T. 1991. Modeling plant and soil systems. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA
- Helling, C.S., Kearney, P.C. y Alexander, M. 1971. Behaviour of pesticide in soils. Adv. Agr. 23:147-240.
- Hirtz, B. 1994. District d'irrigation 085 "La Begoña". Analyse de la gestion de l'eau. Elaboration d'un modèle de programmation. Memoria de estancia. CEMAGREF, Francia.

- Igbedioh, S.O. 1991. Minimizing environmental and health effects of agricultural pesticides in developing Countries. *Ambio* 206: 219-221.
- IMTA. 1994. Evaluación del impacto de contaminantes en el Distrito de Riego 085, La Begoña, Gto. IMTA, Informe RD-9416, Anexo 5. IMTA, México.
- Instituto Tecnológico de Sonora (ITS). 1993. Evaluación de la salinidad y contaminación por agroquímicos en el acuífero del Valle del Yaqui, Sonora. Anexo #13 del informe final. Cd. Obregon, Sonora, México.
- Isensee, A.R. y Sadeghi, A.M. 1993. Impact of tillage practice on runoff and pesticide transport. *J. Soil and Water Cons.* 486:523-527
- Jones, H. G. 1983. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press. Cambridge.
- Jones, H. G. 1981. The use of stochastic modelling to study the influence of stomatal behaviour on yield-climate relationships. *In: Rose & Charles-Edwards.*
- Kirby, J.W. y Summers, D. 1971. Weed control in arid southwest. *Journal of Irrigation and Drainage Division*
- Knisel, W.G. 1980. CREAMS. A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. U.S.D.A. Conservation Research Report No.26. Arizona.
- Lehman, E.J. 1975. Ecology of Insecticide Water Pollution. U.S. Dept. Commerce. Nat. Tech. Information Service, Springfield, Virginia.
- Leonard, R.A., Langdale, G.W. y Fleming, W.G. 1979. Herbicide runoff from upland Piedmont watersheds - Data and implications for modeling pesticide transport. *Journal of Environment Quality* 8:223-229.
- Leonard, R.A., Knisel, W.G. y Still, D.A., 1987. GLEAMS: Groundwater loading effects on agricultural management systems. *Trans. ASAE*, 30(5): 1403-1428.
- Li, M.Y. y Fleck, R.A. 1972. The Effects of agricultural pesticides in the aquatic environment, irrigated croplands, San Joaquin Valley. EPA. Office of Water Programs, Washington, D.C.
- Liu, D.S. y Zhang, S.M. 1987. Kinetic model for degradative processes of pesticide in soil. *Ecol. Modelling* 37:131-138.
- Mejía, V.G. 1994. Estudio de agua del subsuelo: Posible aplicación en la frontera México-Estados Unidos. *Calidad Ambiental* 13.
- Morioka, T y Cho H.S. 1992. Rainfall runoff characteristics and risk assesement of agro-chemical used in golf links. *Wat. Sci. Tech.* 2511: 77-84.
- Mostaghimi, S., McCellan, P.W. y Cooke, R.A. 1993. Pesticide contamination of groundwater in Virginia: BMP impact assessment. *Wat. Sci. Tech.* 283(5):379-387.
- Nicholson, H.P. 1969. Ocurrence and significance of pesticide residues in water. *Proc. Wash. Acad. Sci.* 59:77.
- Nicholson, H.P. 1970. The pesticide burden in water and its significance. *In: Willrich, T.L. y Smith, G.E. (eds), Agricultural Practice and Water Quality.*
- Ortega, C.A. (1978) El uso de plaguicidas. Una necesidad para los países en desarrollo. CIMMYT, México.
- Plestina, R. 1986. Prevención, diagnóstico y tratamiento de intoxicaciones por insecticidas. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México.
- Papajorgji, P., Jones, J., Hoogenboom, G. y Calixte, J. 1993. Exploring concepts for linking GIS and crops models. AEGIS-2, a feneric geographical decision support system for policy making in agriculture. *Proceedings "Integrated ressources management and landscape modifications for environmental protection"*. ASAE: St. Joseph, MI.
- Pratt, P.F. 1985. Agriculture and groundwater quality. Council for Agricultural Science and Tecnology. CAST Report No. 103.
- Pye, V.I. y Patrick R. 1983. Groundwater contamination in the United States. *Science* 221:713-721.
- Rao, P.S.C. y Davidson J.M. 1979. Adsorption and movement of selected pesticides at high concentrations in soils. *Water Research* 13:375-380.
- Rendón, P.L., León, M.B., Peña, P.E. 1994. Plan maestro de ordenamiento de uso de recursos hidráulicos para la modernización integral del Distrito de Riego 085, La Begoña, Gto. IMTA, México.
- Rojas, G.M. 1994. Desyerbe y contaminación. *Calidad Ambiental* 11:5-6.
- Spencer, W.F. y Cliath, M.M. 1975. Vaporization of chemicals. *In: Haque R. y Freed, V.H. (eds.), Environmental Dynamics of Pesticide.* Plenum Press, New York.
- SRH 1974. Estudio y medición de contaminación de agua producida por aguas de retorno agrícola. C. Proyecto Intual. S.A. Contrato No. SP-74-C-12.
- Stewart, B.A., Woolhiser, D.A., Wischmeier, W.H., Caro, J.H. y Free, M.H. 1975. Control of water pollution from cropland: A manual for guideline development. Vol. 1. EPA 600/2-75-026a. U.S. EPA and U.S.D.A. Agricultural Research Service.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Stewart, B.A., Woolhiser, D.A., Wischmeier, W.H., Caro, J.H. y Free, M.H. 1975. Control of water pollution from cropland: An overview. Vol. 2. EPA 600/2-75-026b. U.S. EPA and U.S.D.A. Agricultural Research Service.
- Todd, D.K. 1980. Groundwater. Ed. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Traconis, R. F. 1990. Panorámica de la contaminación del recurso hidráulico en Guanajuato, su saneamiento y reutilización. *In*: Memoria de la reunión "Análisis de la problemática del agua y perspectivas para la modernización de uso en la agricultura de Guanajuato". Celaya, Gto., México.
- Troester, S.J., Ress, F.A., Felsot, A.S. y Ruesink, W.G. 1984. Modelling of the persistence of pesticides applied to the soil. Pudoc, Wageningen.
- Trujillo, C. J. 1990. Problemática del agua subterránea en el estado de Guanajuato. *In*: Memoria de la reunión "Análisis de la problemática del agua y perspectivas para la modernización de uso en la agricultura de Guanajuato". Celaya, Gto., México.
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service 1972. National Engineering Handbook, Hydrology Section 4.
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service 1986. Urban hidrology for small watersheds. Tech. Release 55.
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1988. Water quality workshop: Integrating Water Quality and Quantity into Conservation Planning. Proceedings and modules.
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1992. Pesticide properties and ratings. Ecological Sciences Environment Technical Note IL-2.
- Ulery, R.L. y Brown, M.F. 1995. Water-quality assessment of Trinity River Basin. Texas - Review and analysis of available pesticide information. 1968-91. U.S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 94-4218. Austin, Texas.
- Verdeil, D. 1993. Diagnostic agro-economique et hydraulique du perimetre irrigue de La Begoña - Mexique. Tesis de maestría.
- Von Runkler, R., Lawless, E. y Meiners, A. 1974. Production, distribution, use and environmental impact potential of selected programs. EPA 540/1-74-001.
- Vrba, J. y Romijn, E. 1986. Impact of agricultural activities on groundwater. *In*: International Contributions to Hydrogeology. Vol. 5.
- Walker, A. 1974. A simulation model for prediction of herbicide persistence. *J. Environ. Quality* 3:396-401.
- Wienhold, B.J. *et al.* 1993. Organic chemicals in the environment. *J. Environ. Qual.* 22:80
- Wietersen, R.C. *et al.* 1993. Atrazine, Alchlor and Metachlor mobility through two sand Wisconsin soils. *J. Environ. Qual.* 22:811
- Williams, J.R. 1994. The EPIC model. U.S.D.A.
- Williams, J.R., 1991. EPIC: A new generation from CREAMS. *In* Beasley, D.B., Knisel, W.G. y Rice, A.P. (eds). Proc. CREAMS/GLEAMS Symp., 27-29 de sept. 1989, Athens, GA.
- Williams, J.R., Jones, C.A. y Dyke, D.T., 1984. The EPIC model and its application. *In*: Proc. ICRISAT-IBSNAT-SYSS Symp. on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer, March 1983, Hyderabad, India.
- Willis, G.H. y McDowell, L.L. 1982. Review: Pesticides in agricultural runoff and their effects on downstream water quality. *Envir. Tox. Chem.* 1:267-279.
- Zhang, S.M., Liu, D.S., Wang, Z.S. y Ma, X.F. 1992. A kinetic model describing the effect of temperature on the loss rate of pesticides in soil. *Ecological Modelling.* 70:115-125.

## **ANEXO I**

**Descripción de la interfase entre el modelo de simulación, las bases de datos y el control de la información**

## **La interfase**

La interfase consiste en una serie de pantallas interactivas para la introducción de la información de control de las simulaciones y manejo de los resultados. El usuario debe proporcionar la información seleccionando las opciones propuestas. Cuando sea necesario introducir información nueva o ampliar las bases de datos, con la interfase tal operación es muy sencilla. De esta manera se disminuye al mínimo las posibilidades de error.

## **Descripción**

A continuación se hace una descripción breve de cada una de las pantallas.

La Figura 1 es la pantalla de presentación que se activa al iniciar el sistema.

La Figura 2 muestra la pantalla que permite seleccionar el objetivo de las simulaciones:

**Diseño:** cuando se pretende analizar todas las combinaciones de factores posibles con el fin de diseñar una zona de riego nueva. Para las condiciones climáticas, se utiliza información estadística de periodos amplios.

**Planación:** cuando se desea analizar para un solo ciclo utilizando información climática reciente, generada o estadística.

**Operación:** cuando se analiza la información actual para la toma de decisiones inmediatas; el clima que se maneja es el obtenido en el instante mismo o en tiempo real.

La pantalla de la Figura 3 permite al usuario determinar el nivel espacial de la aplicación del sistema (puntual o espacial). Para ambos casos todas las opciones subsiguientes son las mismas.

La pantalla de la Figura 4 muestra las diferentes bases de datos existentes y su posible modificación o actualización. En la Figura 9 se muestran algunas de las condiciones tecnológicas fijas o determinadas por el nivel tecnológico.

La pantalla de la Figura 5 permite el manejo de la interfase: consulta de la información sistematizada de acuerdo a criterios definidos, ejecución de la simulación, modificaciones y configuración de la base de datos.

La pantalla de la Figura 6 permite modificar la base de datos semi-estática o que varía relativamente poco en el tiempo, y que se despliega en las figuras subsiguientes (Figura 8, Figura 9 y Figura 10).

La pantalla de la Figura 7 es una ficha de control espacial (situación jerárquica en la cuenca hidrológica) de cada usuario.

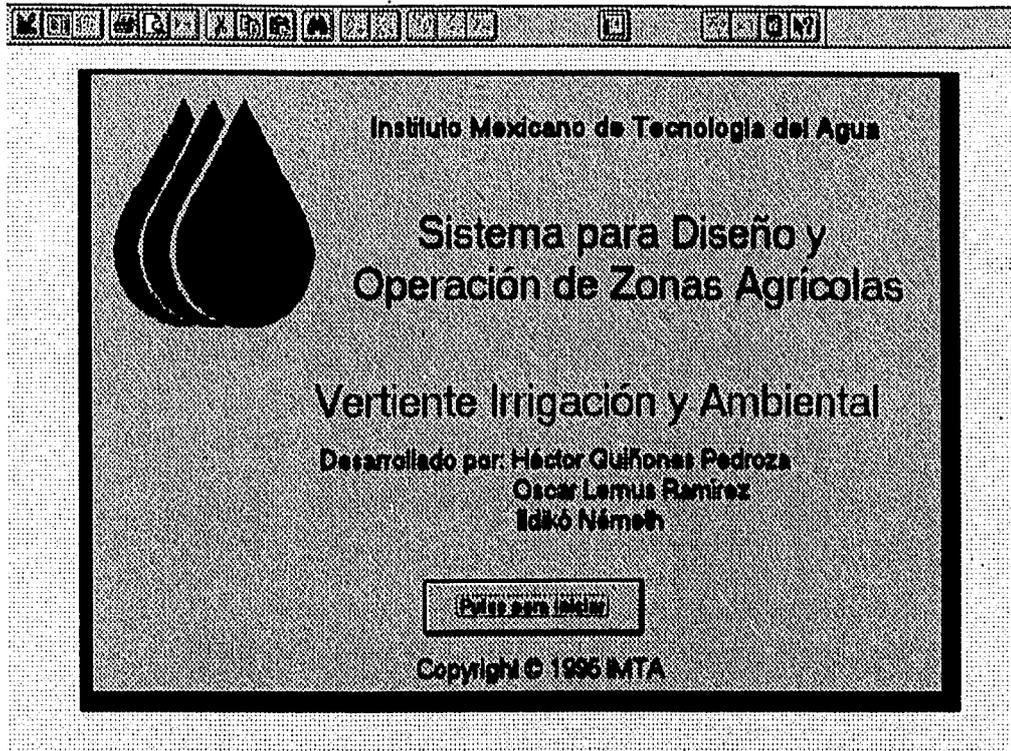


Figura 1 Pantalla Inicial del sistema

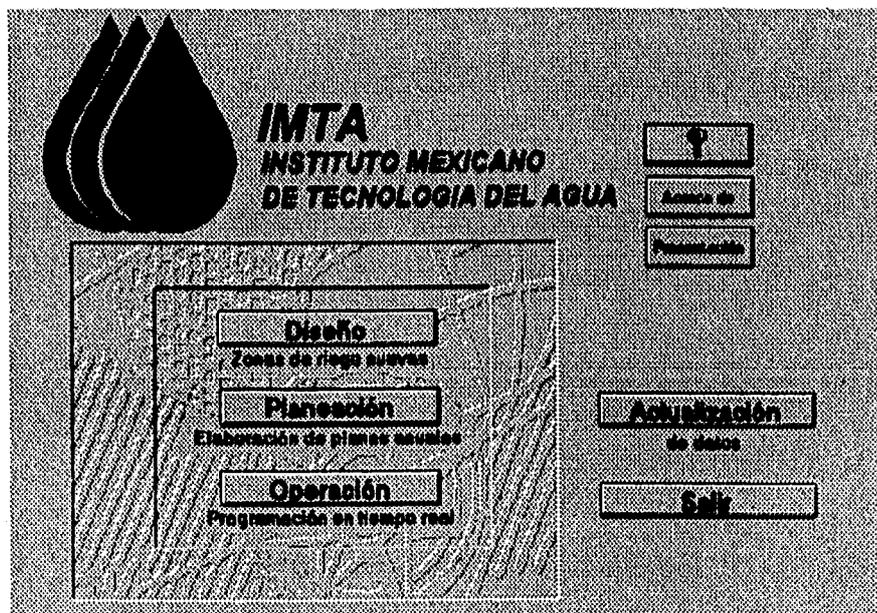


Figura 2 Pantalla de selección de la modalidad de las simulaciones (diseño, planeación u operación)

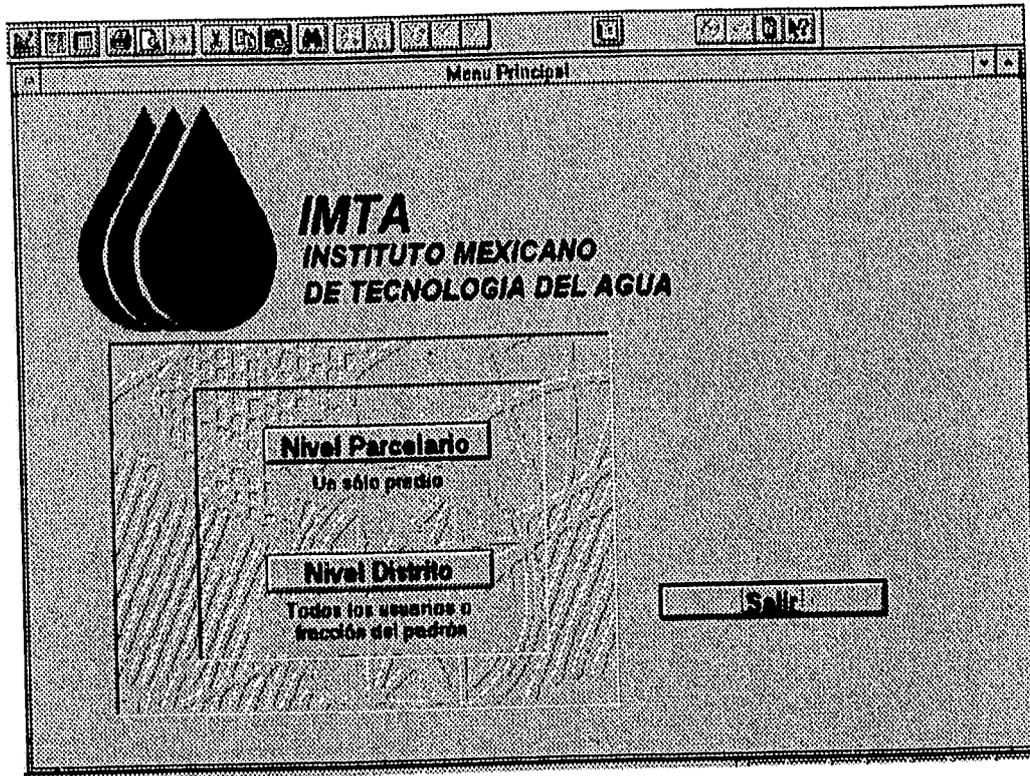


Figura 3 Pantalla de selección del nivel de simulación (usuario o grupo de usuarios)

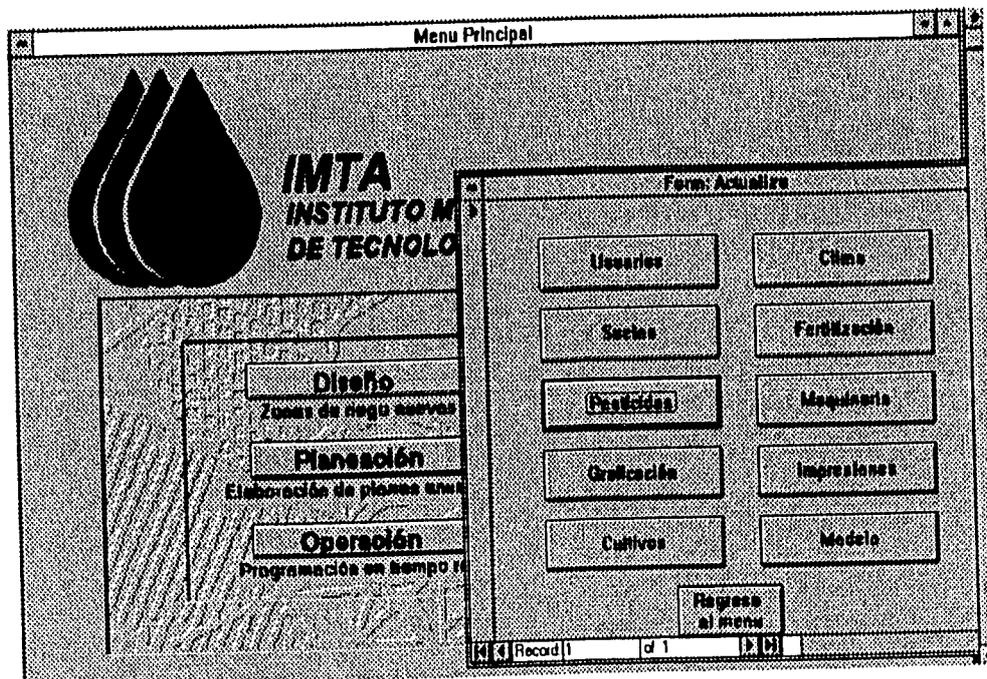


Figura 4 Pantalla asociada a la actualización de la información

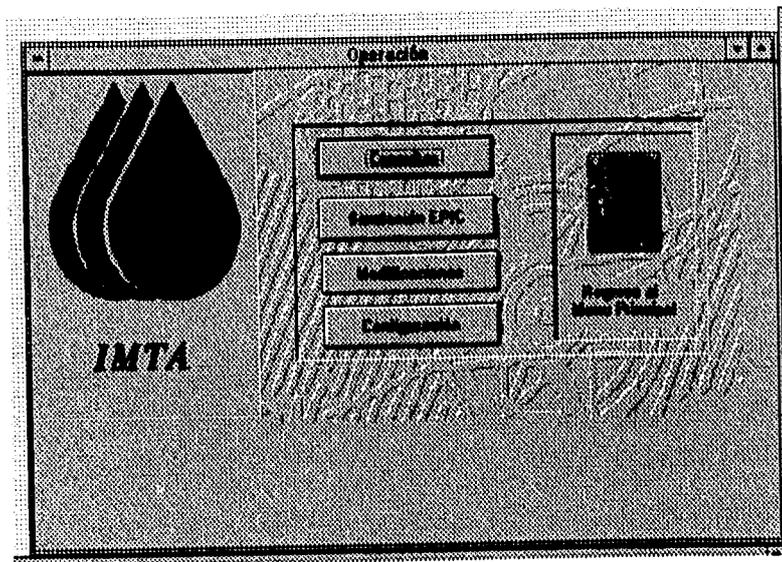


Figura 5 Pantalla de selección de opciones del sistema (simulación, consulta, modificaciones)

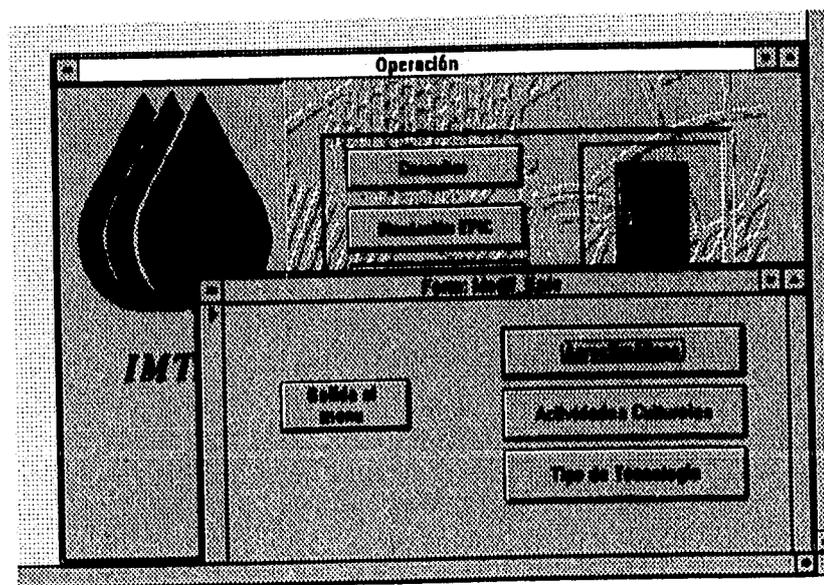


Figura 6 Pantalla de actualización de bases de datos (agroclimáticas, prácticas culturales efectuadas, tecnología)

Usuarios Cerrizo

Usuario: Distrito de Fuego 065 La Begonia

Apellido:

Apellido Materno:

Nombre:

Efectivos de Aplicación del seguro o nivel en la parcela:

Superficie:

Coral de abastecimiento:

Eficiencia parcial de cosecha:

Fotografía: 

Salir al menú

Borrar...

Record 2 of 9

Figura 7 Pantalla de actualización de información asociada al usuario

Agroclimáticas

Nombre:

Clima:

Altitud:

Luz:

Ex de N.T.:

Humedad inicial:

Regresar al menú

Record 1 of 54

Figura 8 Pantalla de actualización de la información agroclimática

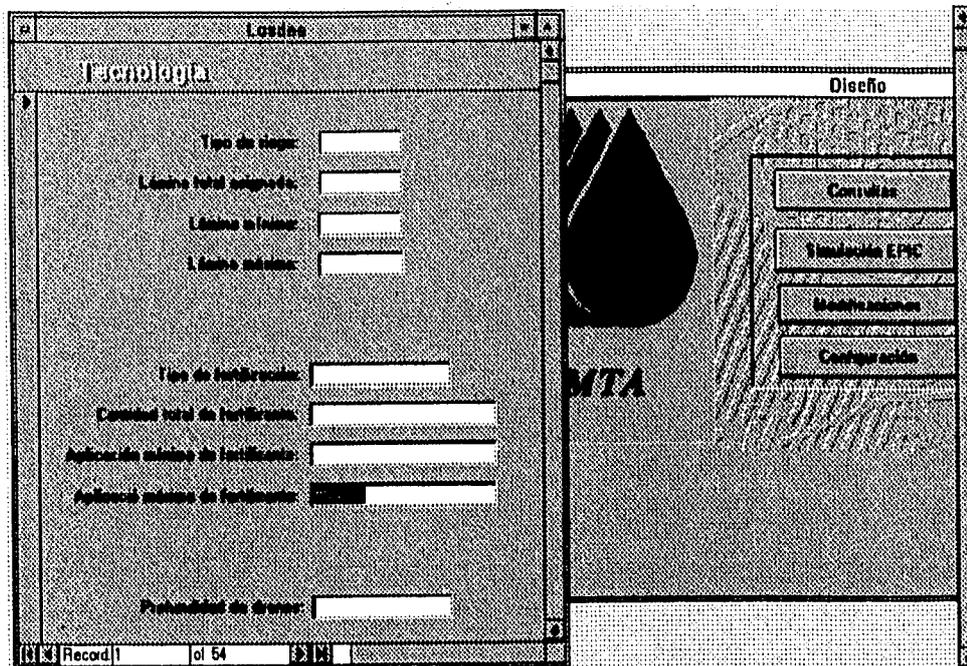


Figura 9 Pantalla de actualización del nivel tecnológico del usuario

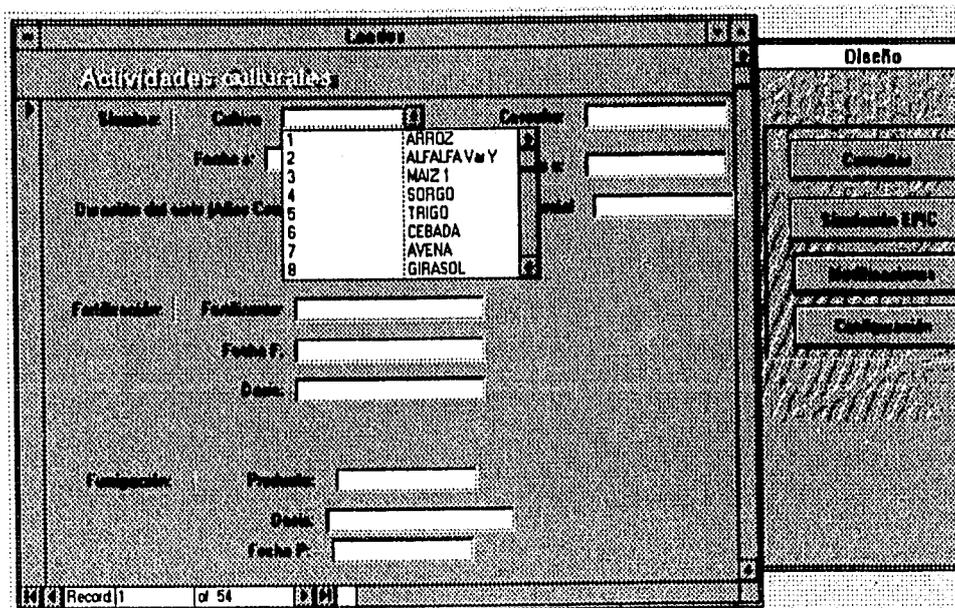


Figura 10 Pantalla de actualización de la información sobre las actividades culturales efectuadas

## **ANEXO II**

**Ejemplo del resumen general de una simulación  
(en inglés)**

Simulación de pesticidas TESIS DE MAESTRIA Ildiko Nemeth 15:50 21jul93  
 Distrito de Riego 085 "La Begoña", Gto.  
 Cultivo: Maiz

GENERAL INFORMATION

-----VARIABLE NAMES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TMX	TMN	RAD	RAIN	SNOW	Q	SSP	PRK	ET	EP	SW	SNOA	EI	MUST	C	YM	YON	YNOJ	SSFN	PRKN
MN	TNHJ	DN	NFIX	UNO3	HMN	TNO3	YP	YAP	UPP	MNP	AVOL	HU	LAI	RD	RM	BIOM	RSD	STD	TMP
IRGA	PET	POLH	MUSS	VPD	MUSI	SNOM	USLE	PLAD	STL	WVL	MUSL	NITR	FN	FP	CN	QP	LIME	HRLT	WS
NS	PS	TS	AS	REG	TAV	ALPH	WENG	DAYQ	QIN	STMX	STMN	RN	DAYP	STRS	YLD	YLN	ER	PSTF	COST
RTRN	pfo1	por1	psa1	ple1	psu1	psol1	pfo2	por2	pse2	ple2	psu2	psol2	pfo3	por3	pse3	ple3	psu3	psol3	pfo4
por4	pse4	ple4	psu4	psol4	pfo5	por5	pse5	ple5	psu5	psol5	pfo6	por6	pse6	ple6	psu6	psol6	pfo7	por7	pse7
ple7	psu7	psol7	pfo8	por8	pse8	ple8	psu8	psol8	pfo9	por9	pse9	ple9	psu9	psol9	pfoA	porA	pseA	pleA	psuA
psolA	pfoB	porB	pseB	pleB	psuB	psolB	pfoC	porC	pseC	pleC	psuC	psolC	pfoD	porD	pseD	pleD	psuD	psolD	pfoE
porE	pseE	pleE	psuE	psolE	pfoF	porF	pseF	pleF	psuF	psolF	pfoG	porG	pseG	pleG	psuG	psolG	pfoH	porH	pseH
pleH	psuH	psolH	pfoI	porI	pseI	pleI	psuI	psolI	pfoJ	porJ	pseJ	pleJ	psuJ	psolJ	pfoK	porK	pseK	pleK	psuK
psolK	pfoL	porL	pseL	pleL	psuL	psolL	pfoM	porM	pseM	pleM	psuM	psolM	pfoN	porN	pseN	pleN	psuN	psolN	pfoO

-----GENERATOR SEEDS AFTER 0 CYCLES

748932582	1985072130	1631331038	67377721	366304404	1094585182	1767585417	1980520317
1	2	3	4	5	6	7	8

-----MISCELLANEOUS PARAMETERS

PARM	SCRPI1	SCRPI2	SCRPI3	SCRPI4
1	2.000	90.050	99.950	.65379E+02
2	1.500	10.500	100.950	.23739E+01
3	.500	50.100	95.950	.11109E+02
4	1.000	.000	.000	.00000E+00
5	1.000	1.050	3.950	.53396E+01
6	.500	5.100	100.950	.39196E+01
7	1.000	33.750	67.990	.51040E+01
8	.000	20.500	80.958	.35151E+01
9	50.000	1.100	10.990	.26961E+01
10	100.000	10.050	50.900	.61301E+01
11	.000	5.010	20.900	.88065E+01
12	.000	5.050	100.950	.47061E+01
13	2.000	1.000	1.080	.18000E+01
14	2.000	40.000	50.000	.48000E+02
15	.100			
16	80.000			
17	2.000			
18	.000			
19	1.508			
20	20.000			

SIMULATION DURATION = 1 Y  
 BEGINNING DATE = 94- 1- 1  
 LEAP YEAR CONSIDERED  
 DRAINAGE AREA = 1.80 HA  
 LATITUDE = 20.80 DEG  
 ELEVATION = 1783.0 M  
 CHANNEL  
 LENGTH = .10 KM SLOPE = .0250 M/M MANNINGS N = .050  
 LAND SLOPE  
 LENGTH = 50.0 M STEEPNESS = .0100 M/M MANNINGS N = .050  
 WATER EROSION FACTORS--DRIVING EQ = USLE  
 LS= .148 P = 1.000  
 TIME OF FLOW CONC = .77 H  
 DAILY CM--STOCHASTIC  
 PEAK RATE EST WITH MOD RATIONAL EQ  
 PEAK RATE-EI ADJ FACTOR = 1.000  
 INITIAL WATER CONTENT OF SNOW = .0 MM  
 CULTIVATION PERIOD BEFORE SIMULATION = 50.0 Y  
 AVE N CONC IN RAINFALL = .80 PPM  
 CONC OF NO3 IN IRRIGATION WATER = .0 PPM  
 CONC OF SALT IN IRRIGATION WATER = .0 PPM  
 COSTS  
 N FERT = .51 \$/KG  
 P FERT = .57 \$/KG  
 LIME = 31.00 \$/T  
 IRR WATER = .18 \$/MM

WEATHER DATA

CO2 CONC IN ATMOSPHERE = 330. PPM  
 PERIOD OF RECORD FOR PSMX = 59. Y  
 \*\*\*\*\*RAIN, TEMP, RAD, WIND SPEED, & REL HUM ARE GENERATED\*\*\*\*\*  
 WET-DRY PROB CORF = \*\*\*\*\*  
 RAINFALL DIST IS SKEWED NORMAL  
 1.03 1.05 1.05 1.04 1.16 1.04 1.07 1.02 1.01 1.00 1.04 1.26  
 \*\*\*\*\* PENMAN-MONTEITH EQ USED TO EST POT ET \*\*\*\*\*  
 VERNALIZATION TIME = 23. D  
 ANNUAL HEAT UNITS = 7093. C

-----AVE MO VALUES

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	1994 JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YR	TMX
TMX	23.10	25.40	29.20	31.80	32.70	30.60	29.50	29.10	28.10	26.70	25.00	23.20	27.87	TMX
TMN	6.10	7.30	9.80	12.30	14.40	14.90	14.00	13.90	13.30	10.80	8.20	6.50	10.96	TMN

STMX	4.30	4.48	3.98	3.38	3.80	4.30	3.70	3.60	3.50	3.68	3.50	4.48	STMX	
STMN	3.10	3.50	3.28	3.08	2.78	2.30	2.48	2.20	2.60	3.58	3.38	3.30	STMN	
RAIN	12.60	7.30	10.08	15.70	39.98	124.60	136.58	138.68	116.80	35.48	13.38	18.70	653.40	RAIN
SDRY	6.3	5.9	7.3	8.3	10.4	18.6	11.3	11.3	13.1	11.6	7.9	7.0	SDRY	
SKCF	2.23	1.42	3.80	2.81	3.98	1.86	2.10	1.96	2.64	3.26	2.51	5.31	SKCF	
PW/D	.051	.040	.042	.868	.123	.272	.326	.285	.205	.101	.053	.044	PW/D	
PW/H	.164	.196	.387	.202	.486	.619	.572	.568	.612	.378	.282	.407	PW/H	
DAYP	2.30	1.37	1.99	2.36	5.32	12.50	13.40	12.32	10.37	4.33	2.06	2.14	70.46	DAYP
PSMX	9.7	9.9	10.2	14.2	16.3	20.8	28.8	21.5	22.3	15.7	12.0	8.9	PSMX	
RAD	16.69	19.15	22.86	25.87	26.63	25.11	24.89	24.22	22.68	21.23	18.87	16.76	22.08	RAD
RAD	20.23	22.51	25.95	29.30	31.12	31.69	31.61	31.06	29.48	26.62	23.02	28.50	22.08	RAD
HRLT	10.87	11.19	11.71	12.35	12.92	13.33	13.38	13.07	12.51	11.90	11.31	10.92	HRLT	
RHUM	.53	.49	.44	.44	.48	.57	.58	.59	.61	.57	.53	.54	RHUM	
ALPH	.34	.35	.38	.40	.41	.39	.39	.38	.37	.36	.35	.34	ALPH	
WVL	5.81	5.81	6.26	6.26	5.81	5.81	4.92	4.92	4.47	4.47	4.92	5.36	5.48	WVL
WENG	249.55	249.55	305.44	385.44	249.55	249.55	144.41	144.41	95.18	95.18	144.41	187.84	2420.58	WENG

-----WIND EROSION DATA

CF = 46.  
 FIELD LENGTH = 2.80 KM  
 FIELD WIDTH = 2.00 KM  
 FIELD ANGLE = 98. DEG  
 WIND SPEED MOD EXP POWER FARM = .50  
 ACCELERATED WIND EROSION FACTOR = 1.808

SOIL DATA

SOIL ALBEDO = .10  
 MAX NUMBER SOIL LAYERS = 18.  
 MIN THICKNESS FOR LAYER SPLITTING = .10 M  
 MIN PROFILE THICKNESS--STOPS SIMULATION = .10 M  
 SPLITTING PRIORITY THICKNESS = .15 M  
 WATER TABLE DEPTH  
 MIN = 50.08 M  
 MAX = 100.00 M  
 INITIAL = 75.00 M

WEATHERING CODE = 0.  
 RETURN FLOW TT = 10.00 D  
 CN 6CRV SCRP(14) = 40. 50.  
 RUNOFF CN2 = 86.0  
 SLP ADJ CN2 = 83.9  
 CN SCRP(4) = .33228E+01 -.38098E-03

SOIL LAYER NO											
	1	2	2	3	3	3	4	4	5	TOT	
DEPTH(M)	.01	.16	.30	.38	.45	.53	.60	.75	.90	1.20	
POROSITY(M/M)	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.396	.495
FC SW(M/M)	.328E	.316	.325								
WP SW(M/M)	.185E	.213	.192								
SM(M/M)	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.257	.264	.259
SAT COND(MM/H)	5.40E	8.81									
SAT COND(MM/H)	.05E	.09									
BD 33KPA(T/M3)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.60	
BDD OV DRY(T/M3)	1.25E	1.60									
SAND(%)	35.0	35.0	35.8	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	45.0	
SILT(%)	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	
CLAY(%)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	22.8	
ROCK(%)	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
PH	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	7.9	7.9	7.8	
SM BS(CMOL/KG)	8.1E	8.1E	8.1E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	7.9E	7.9E	7.8E	
CXC(CMOL/KG)	8.1E	8.1E	8.1E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	7.9E	7.9E	7.8E	
AL SAT(%)	.0E										
CACO3(%)	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
LAB P(G/T)	1.E	0.E	1.								
P SORP RTO	.50E										
MN P AC(G/T)	1.E	0.E	1.								
MN P ST(G/T)	4.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	0.E	0.E	0.E	4.
ORG P(G/T)	188.E	3009.									
NO3(G/T)	1.E	0.E	1.								
ORG N AC(G/T)	300.E	300.E	300.E	120.E	2603.						
ORG N ST(G/T)	1200.E	1200.E	1200.E	1388.E	21472.						
ORG C(%)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
CROP RSD(T/HA)	1.00E	.80E	.80E	.02E	.02E	.02E	.02E	.00E	.00E	.00E	2.68
RMT(T/HA)	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	

MANAGEMENT DATA

DRYLAND AGRICULTURE

AUTO FERT  
 N STRESS TRIGGER = .95  
 MIN APPL INTERVAL = 15 D  
 MAX N FERT/CROP = 240. KG/HA  
 FRACTION OF MAX N FERT POTENTIALLY APPLIED AT PLANTING = .75  
 FLEXIBLE APPLICATIONS  
 TILE DRAIN IN SOIL LAYER 10  
 DRAIN TIME = 1.80 D  
 LIME APPLIED AS NEEDED

-----OPERATION SCHEDULE FOR 1 YR ROTATION

TILLAGE OPERATIONS																				
MO	DA	NO	NAME	COST (\$/HA)	MX	RR	DP	RHT	RIN	DKH	DKI	OP	HV	HV	MAT	SCS	IRR	Q/	HU	
					EF	(MM)	(MM)	(MM)	(M)	(MM)	(M)	CD	BF	IDX	CROP	(Y)	TRGR	VIRR	SCD	
5	15	2	SIEM-SUR	20.00	.05	5.	60.	10.	.86	0.	.00	5	.00	.000		0	83.9	-.50	.00	.000
MAIZ																				
11	15	51	HARV-	.95	25.80	.00	0.	-188.	0.	.00	0.	.00	2	.95	.880	0	83.9	-.50	.00	.008
11	15	41	KILL	.00	.00	0.	0.	0.	.00	0.	.00	1	.80	.800	0	83.9	-.50	.00	.008	

IRRIGATION WATER APPLIED

MO DAY VOL(MM) HU GCD  
 5 10 400.0 .80

6 30 400.0 .00  
8 30 400.0 .00

PESTICIDES APPLIED

MO	DAY	NAME	RATE (KG/HA)	KILL EFF	COST (\$/KG)	HU	SCD
5	30	2,4-D	.50	.00	.00	.00	.00

CROP PARAMETERS (MAIZ)

WA	40.0	CAP	.85	CPY	.0025		
HI	.55	OSI	.0070	WSYP	.0100	BW1	.433
TB	25.0	MAC2	660.40	PST	.60	BW2	.433
TG	8.0	WAVP	8.0	COSD	2.51	BW3	.213
DMLA	6.5	VPTH	.5	PRY	100.00	IDC	4
DLAI	.70	VFD2	4.75	PRY	.00	PHU	2388.
LAP1	15.050	SDW	20.0	WCY	.15	LAP1	.306E+01
LAP2	50.950	HMX	2.50	BN1	.0440	LAP2	.134E+02
FRS1	5.010	RMX	2.00	BN2	.0164	FRS1	.648E+01
FRS2	15.050	RMP1	1.000	BN3	.0128	FRS2	.552E+01
RLAD	1.00	RMP2	.010	BP1	.0062	MAC1	.551E+01
RBMD	1.00	CVM	.200	BP2	.0023	MAC2	-.210E-02
ALT	3.0	CNY	.0175	BP3	.0018		

PESTICIDE DATA

NAME	SOLUBILITY	HALF LIFE (DAYS)	WASH OFF	KOC	COST (\$/KG)
2,4-D	908.	10.	9.	74.	.00

PESTICIDE SIMULATION (G/HA)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YR
	94												
	-----2,4-D-----												
PAPL	0.	0.	0.	0.	475.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	475.
PSRO	.0000	.0000	.0000	.0000	6.3042	1.0382	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	6.0662
PLCH	.0080	.0080	.0000	.0008	.0080	.0000	2.7353	.0393	.0323	.0000	.0080	.0000	2.2733
PSSP	.0000	.0000	.0000	.0000	.4053	.0462	4.0052	.1173	.0533	.0000	.0000	.0000	4.0022
PSBD	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PDGF	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.
PDGS	0.	0.	8.	0.	61.	355.	40.	4.	0.	0.	0.	0.	461.
PFOL	0.	8.	0.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PSOL	0.	0.	8.	0.	486.	51.	5.	1.	0.	0.	0.	0.	0.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YR
	94												
TMX	23.76	29.06	28.32	29.73	32.35	29.79	31.18	30.85	26.05	25.94	26.90	24.81	28.20
TMN	6.64	8.92	9.59	11.08	14.17	13.49	13.86	14.42	13.60	9.89	10.12	7.37	11.10
RAD	17.15	19.07	23.10	23.98	26.00	27.76	28.14	26.69	19.76	20.82	18.99	17.24	22.39
RAIN	.00	.02	2.99	27.71	60.51	64.41	36.28	74.13	117.78	42.48	3.53	.00	429.85
SNOW	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.80	.00	.00	.00	.00	.00	.00
SNOW	.00	.00	.80	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
WVL	6.31	6.38	6.01	6.48	5.92	4.56	4.47	4.92	4.62	3.94	5.06	5.10	5.32
Q	.00	.00	.00	.80	1.85	1.84	.00	.02	5.63	.17	.00	.00	9.51
CN	.00	78.50	76.56	78.04	83.71	81.23	70.90	70.57	84.22	78.03	68.57	.00	78.93
PWT	182.07	185.69	243.70	250.25	280.60	253.50	286.76	305.94	184.42	178.86	177.26	159.65	2686.70
SSP	.08	.00	.01	.12	86.44	.40	77.12	64.31	13.63	.25	.01	.00	242.30
PRK	.00	.00	.00	.08	236.60	.00	230.75	131.34	47.19	.00	.00	.00	645.88
WT	13.98	.91	4.83	22.83	65.35	128.60	201.57	84.75	180.51	105.97	5.27	.84	811.81
MUST	.80	.80	.80	.80	.85	.07	.00	.00	.18	.00	.00	.00	.38
C	.80	.00	.00	.00	.57	.65	.64	.64	.60	.55	.00	.00	.60
YW	4.57	5.57	5.83	6.62	5.99	1.49	1.99	3.09	1.45	.70	1.91	3.28	42.50
YON	6.86	8.37	8.77	9.96	9.68	2.43	3.28	4.94	3.09	1.44	2.85	4.90	66.58
YP	.87	1.07	1.12	1.29	1.24	.38	.41	.62	.39	.18	.36	.61	8.45
YAP	.80	.00	.00	.00	.08	.00	.00	.02	.01	.00	.00	.80	.02
MUSL	.00	.00	.00	.00	.03	.05	.00	.00	.14	.00	.00	.00	.22
AVOL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
NITR	.80	.00	.00	.00	.00	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
MNN	10.05	13.23	15.93	14.40	16.07	14.78	14.95	13.60	11.44	8.83	17.05	51.44	221.78
DN	.80	.00	.00	.00	4.74	6.56	.34	.30	.91	.00	.80	.08	12.86
HMN	7.44	8.93	11.28	11.64	14.74	14.26	14.67	13.34	11.36	8.78	8.44	6.91	131.78
NFIX	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
YNO3	.0000	.0000	.0000	.0000	3.1411	.0221	.0000	.0031	.8011	.9532	.8000	.0000	3.0321
SSFN	.0000	.0000	.0531	.0491	11.0131	.0581	5.0061	3.0041	.7272	.7332	.4422	.0000	19.0081
PRKN	.0000	.0000	.0800	.0000	38.0161	.0000	18.0081	7.0061	1.0031	.0000	.0000	.0000	65.0101
YAP	.0000	.0000	.0000	.8000	.0772	.0000	.0000	.0242	.0132	.0000	.0000	.0000	.0232
SW	67.81	67.00	66.04	70.90	141.26	74.06	1.73	195.48	66.34	2.44	.72	.72	.72
TMP	16.11	19.11	28.85	21.80	25.80	25.82	26.92	26.08	21.28	18.73	19.51	16.99	16.99
SNOA	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.80	.00	.00	.80	.80
UNO3	.00	.00	.00	.00	15.31	162.14	252.69	252.69	268.78	277.95	281.47	.00	.00
TNO3	11.07	24.30	40.25	54.81	167.91	29.22	2.39	6.16	.00	.00	33.56	84.99	84.99
PLAB	1.64	2.58	3.67	4.62	4.49	.00	.63	1.65	.02	.04	3.23	7.55	7.55
RD	.80	.00	.00	.00	.60	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	.00	.00	.00
HU	.00	.00	.00	.00	205.19	694.30	1144.55	1592.14	1946.91	2254.32	.00	.00	.00
LAI	.00	.00	.00	.00	.20	2.30	5.11	5.22	3.22	2.98	.00	.00	.00
RW	.00	.00	.00	.00	.35	4.74	13.12	16.77	24.24	29.63	.00	.00	.00
BIOM	.00	.00	.00	.00	.35	4.75	13.19	16.88	24.43	29.92	.00	.00	.00
RSD	.89	.70	.46	.26	.16	.12	.09	.06	.85	.04	.29	.25	.25
STD	.00	.00	.08	.00	.08	.00	.00	.00	.80	.00	.16	.15	.15
STL	.00	.80	.00	.80	.00	.01	.06	.11	.20	.28	.00	.00	.00
STRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MAIZ YLD = .1 / .0T/HA BIOM = 30.07T/HA IRGA = 800.mm CAM = 1303.mm MX RD = 1.20m LIME = .00C/ha YLN = 2.kg/ha  
 COST = 304.88\$/ha RTRN = 13. / 0.5\$/ha RK = .24 WK = 108. MX HU = 2398. THK = 4.mm HUBP = .18t/nm  
 STRESS DAYS (BIOMASS)-- WATER = 50.7 N = 1.6 P = .0 TEMP = 30.1 AIR = .0

FINAL SOIL DATA

	SOIL LAYER NO										TOT
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
DEPTH(M)	.01	.15	.30	.37	.45	.52	.60	.75	.90	1.20	
POROSITY(M/M)	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.528	.396	.495
PC SW(M/M)	.328E	.328E	.328E	.328E	.328E	.328E	.328E	.328E	.328E	.316	.325
WP SW(M/M)	.185E	.185E	.185E	.185E	.185E	.185E	.185E	.185E	.185E	.213	.192
SW(M/M)	.187	.185	.185	.186	.185	.185	.186	.186	.187	.214	.193
SAT COND(MM/H)	5.40E	5.40E	5.40E	5.40E	5.40E	5.40E	5.40E	5.40E	5.40E	8.81	8.81
SAT COND(MM/H)	.05E	.05E	.05E	.05E	.05E	.05E	.05E	.05E	.05E	.09	.09
BD 33KPA(T/M3)	1.21	1.22	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.60
BDD OV DRY(T/M3)	1.25E	1.25E	1.25E	1.25E	1.25E	1.25E	1.25E	1.25E	1.25E	1.25E	1.68
SAND(%)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.8	45.0
SILT(%)	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.8	33.0
CLAY(%)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	22.0	22.0
ROCK(%)	.0	.8	.0	.0	.0	.0	.8	.8	.8	.0	.0
PH	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	7.9	7.9	7.8	7.8
SM BS(CMOL/KG)	8.1E	8.1E	8.1E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	7.9E	7.9E	7.8E	7.8E
CEC(CMOL/KG)	8.1E	8.1E	8.1E	8.2E	8.2E	8.2E	8.2E	7.9E	7.9E	7.8E	7.8E
AL SAT(%)	.0E	.0E	.0E	.0E	.0E	.0E	.0E	.0E	.0E	.0E	.0E
CACO3(%)	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.8	.8
LAB P(G/T)	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E	1.E
P SORP RTO	.50E	.50E	.50E	.50E	.50E	.50E	.50E	.50E	.50E	.50E	.50E
MN P AC(G/T)	1.E	2.E	1.E	1.E	0.E	0.E	1.E	8.E	8.E	0.E	9.E
MN P ST(G/T)	4.E	1.E	1.E	0.E	0.E	0.E	0.E	8.E	0.E	0.E	5.E
ORG P(G/T)	186.E	185.E	185.E	187.E	186.E	186.E	187.E	186.E	186.E	187.E	2982.E
NO3(G/T)	9.E	16.E	7.E	5.E	4.E	4.E	5.E	3.E	4.E	2.E	85.E
ORG N AC(G/T)	295.E	289.E	286.E	115.E	114.E	114.E	115.E	114.E	114.E	116.E	2482.E
ORG N ST(G/T)	1199.E	1200.E	1200.E	1388.E	1380.E	1380.E	1380.E	1380.E	1380.E	1380.E	21417.E
ORG C(%)	1.49	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
CROP RES(T/HA)	.28E	7.76E	2.94E	1.20E	.91E	.89E	1.02E	1.38E	1.66E	2.00E	20.04E
RWT(T/HA)	.80	.08	.80	.88	.00	.80	.00	.00	.08	.00	.08
-4.00000E+03	.310340E+03	.429846E+03	.958724E+01	.81810E+03	.242296E+83	.230688E+03	.645884E+03				
.680000E+03	.000000E+00	.000000E+00									

SOIL WATER BALANCE = -.400000E+03  
 ERODED SOIL THICKNESS = 3.5 MM  
 FINAL WATER CONTENT OF SNOW = .00 MM  
 N BALANCE = .0349  
 P BALANCE = -30.5576

PESTICIDE SUMMARY TABLE

-----AVE ANNUAL VALUE (G/HA) 2,4-D			
PAPL	475.	PBEO	0.
PSRO	6.0662	PDGP	1.
PLCH	2.2733	PDGS	461.
PSSF	4.0022		

SUMMARY TABLE

-----PEAK FLOW RATE STATS(MM/H)				UNIT PEAKS(1/H)															
MAX =	1.14	MEAN =	1.14	ST DV =	.30	MAX =	1.1845	MEAN =	.7228	NO PKS =									
-----CURVE NUMBER DISTRIBUTION																			
>95=	.00	>90=	.05	>85=	.15	>80=	.32	>75=	.25	>70=	.06	>65=	.15	>60=	.02	>55=	.00	<55=	.00

-----AVE MO VALUES

	1994												YR	C			
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC					
C	.00	.00	.00	.80	.57	.65	.64	.64	.68	.55	.00	.08	.60				
USLE	.00	.00	.00	.00	.41	.13	.20	.21	.58	.27	.00	.00	1.79	USLE			
YM	4.57	5.57	5.83	6.62	5.99	1.49	1.99	3.09	1.45	.70	1.91	3.28	42.50	YM			
RAIN	.88	.02	2.99	27.71	60.51	64.41	36.28	74.13	117.78	42.48	3.53	.00	429.85	RAIN			
DAYP	.00	2.00	1.00	6.00	8.00	9.00	8.00	8.00	15.08	7.00	1.00	.00	65.00	DAYP			
PRK	.08	.00	.00	.00	236.60	.08	238.75	131.34	47.19	.00	.08	.00	645.88	PRK			
Q	.00	.80	.88	.88	1.85	1.84	.00	.02	5.63	.17	.00	.00	9.51	Q			
EI	.00	.00	.00	.00	16.33	4.63	7.05	7.36	22.13	10.93	.00	.00	68.42	EI			
DAYQ	.00	.00	.00	.00	1.00	1.00	.08	.88	2.00	.80	.80	.00	4.88	DAYQ			
SN	71.46	67.42	66.65	68.72	122.14	118.58	55.14	10.61	107.77	29.49	1.22	.72	59.99	SN			
QIN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	QIN			
BT	11.98	.91	4.03	22.83	65.35	116.60	281.57	84.75	180.51	105.97	5.27	.04	811.81	BT			
PET	182.07	185.69	243.70	250.25	280.60	251.50	286.76	305.94	184.42	178.86	177.26	159.65	2686.70	PET			
TMX	23.76	29.06	28.32	29.73	32.35	29.79	31.18	38.45	26.05	25.94	26.90	24.81	28.20	TMX			
TMN	6.64	8.92	9.59	11.88	14.17	13.49	13.86	14.42	13.60	9.89	10.12	7.37	11.10	TMN			
RAD	17.15	19.07	23.10	23.98	26.00	27.76	28.14	26.69	19.76	20.82	18.99	17.24	22.39	RAD			
HRLT	10.87	11.19	11.71	12.35	12.92	13.33	13.38	13.07	12.51	11.90	11.31	10.92		HRLT			

-----AVE ANNUAL VALUES

1 SNOW	.08	SNOM	.00	MVL	5.32	Q	9.51	CN	78.93	PET	2686.70	SSF	242.38	PRK	645.88	BT	811.81
MUST	.30	C	.60	YM	42.50	YON	66.58	YP	8.45	YAP	.00	MUSL	.22	AVOL	.08	NITR	.00
MNN	221.78	DN	12.86	HPN	131.78	NPFX	.00	IRGA	800.00	FN	240.00	FP	.85	CN	78.93	LIMR	.00
BR	1.28	COST	304.88	RTRN	33.49												
YNO3	3.0321	SSFN	19.0061	PRKN	65.0101	YAP	.0232										

-----AVE ANNUAL CROP YLD DATA

CROP YLD								AVE STRESS DAYS									
CROP	YLD	BIOM	YLN	RAD	HV	RD	MUBF	CAM	-----BIOMASS-----								---ROOT GROWTH---
	(T/HA)	(T/HA)	(KG/HA)	(MJ/M2)	(C)	(H)	(KG/MM)	(MM)	WATER	N	P	TEMP	AIR	BD	ALSAT	TEMP	
MAIZ	.1/	.0	30.07	2.	4463.	2398.	1.20	.18	1303.	50.7	1.6	.0	30.1	.0	.0	5.5	
Beginning Time: 21:20:51.31																	
Ending Time: 21:20:52.90																	
Total Run Time: 1.59																	

## **ANEXO III**

**Pesticidas y sus características incluidos en  
la base de datos del modelo**

**Ejemplos de la información de campo  
relativa a cada lote**

Pesticidas y sus características incluidos en la base de datos del modelo

pesticida	solubilidad (ppm)	vida media en suelo (día)	vida media en follaje (día)	frac. de lavado	coef. de partición KOC
2,4-D	900	10	9	.45	74
2,4,5-T	5	12	9	.45	85
Aatrex	33	60	5	.45	100
Abate	.001	30	5	.65	1000000
Acaraben	13	20	10	.05	2000
Accelerate	100000	7	7	.90	20
Acclaim	.8	9	5	.20	9490
Actellic	9	10	5	.3	1000
Alanap	231000	14	7	.95	20
Alar	100000	7	4	.95	10
Aldrin	.1	28	2	.05	300
Allicto	120000	0.1	0.1	.95	20
Ally	9500	120	30	.80	35
Amdro	.006	10	5	.10	730000
Amiben	900000	14	7	.95	15
Amid-ThinW	100	10	5	.60	100
Amitrol T	360000	14	5	.95	100
Ammo	.004	30	5	.40	100000
Antor	105	21	10	.40	1400
A-Rest	650	120	30	.50	120
Arsenal	11000	90	30	.90	100
Arsenato	1000000	100	30	.95	10000
Aaana	.002	35	8	.40	5300
Ascert	1370	35	18	.65	66
Aserti	875	35	18	.65	35
Asaturo	.3	60	15	.20	510
Autlox	550000	7	3	.95	40
Average	817000	100	30	.95	54500
Azodrin	1000000	30	2	.95	1
Balan	.1	30	10	.20	9000
Banol	1000000	30	15	.95	1000000
Barvel	400000	14	9	.65	2
Basagran	2300000	20	2	.60	34
Basta	1370000	7	4	.95	100
Baygon	1800	30	15	.60	30
Bayleton	71.5	26	8	.30	300
Baytex	4.2	34	2	.65	1500
Baythroid	.002	30	5	.40	100000
Benlate	2	240	6	.25	1900
Benzex	.1	600	3	.05	55000
Betamix	4.7	30	5	.70	2400
Betanex	8	30	5	.70	1500
Bidrin	1000000	28	20	.70	75
Bladex	170	14	5	.60	190
Bolero	28	21	7	.70	900
Bolstar	.31	140	0.5	.55	12000
Bordermaester	5	25	8	.50	1000
Botran	7	10	4	.50	1000
Bravo	.6	30	5	.50	1380
Brom-O-Sol	13400	55	27.5	.90	22
Broot	58	20	10	.30	400
Buctril	.08	7	3	.20	10000
Butyrate Ester	8	7	9	.45	500
Caparol	33	60	10	.50	400
Carbamate	120	17	3	.90	300
Carbofos	145	25	3	.90	1800
Cararoron	21.2	60	5	.45	400
Carzol	500000	100	30	.95	1000000
Cerone	1239000	10	5	.95	100000
Chem-Hoe	250	10	2	.50	200
Chlordane	.1	100	2.5	.05	100000
Chopper	500000	90	30	.80	100
Clasalc	1200	40	15	.90	110
Cobra	.1	3	2	.20	100000
Comite	.5	56	5	.20	4000
Command	1000	24	3	.80	300
Cotoran	110	85	30	.50	100

pesticida	solubilidad (ppm)	vida media en suelo (día)	vida media en follaje (día)	frac. de lavado	coef. de partición KOC
Larvadex	136000	150	30	.95	200
Larvin	19.1	7	4	.70	350
Lasso	240	15	3	.40	170
Limit	10	20	8	.70	1000
Logje	6	1	.5	.3	1000
Londax	120	5	2.5	.3	310
Lontrel	300000	30	2	.95	6
Lorox	75	60	15	.60	400
Lorban	.4	30	3.3	.65	6070
Manzate	6	12	3	.65	1000
Mariate	.1	120	6	.05	80000
Matacil	915	6	4	.90	100
Mavrik	.005	30	7	.40	1000000
Merpan	4	10	9	.65	198
Metasystox	1000000	10	3	.95	10
Metaldehyde	230	10	5	.3	240
Methyl Parathi	60	5	3	.65	14000
Milogard	8.6	135	5	.45	154
Miral	69	34	5	.65	100
Mitao	1	2	1	.45	1000
Mocap	750	25	125	0.3	70
Modown	.4	7	3	.40	10000
Monitor	1000000	6	4	.95	5
Morestan	1	30	10	.50	2300
MSMA	57000	10	10	1	300000
Nemacur	400	50	25	.3	100
Nemacur	400	5	2.5	.3	240
N.Sulfoxide	400	42	21	.3	40
N.Sulfone	400	18	9	.3	45
Norton	50	30	10	.65	340
N-Serve	40	10	5	.3	570
Octave	34	120	30	.50	500
Ofanol	24	150	30	.65	600
Ordran	970	21	10.5	.3	190
Orthene	818000	3	2.5	.70	2
Orthocide	5.1	2.5	9	.65	200
Oxat	70	20	10	.65	78
Paarlan	.1	100	50	.1	10000
Paraquat	500000	99	3	.60	1000000
Pay-Off	0.6	21	5	.40	100000
Penncap-M	60	5	3	.90	5100
Phenatox	3	9	2	.05	100000
Phosdrin	600000	3	0.6	.95	44
Phoskil	24	14	4	.70	3000
Pipron	20	30	10	.60	5000
Pix	1000000	1000	30	.95	1000000
Plantvax	1000	20	10	.70	95
2 Plus 2	660000	21	10	.95	20
Poast	4390	5	3	.70	100
Polyram	.1	20	7	.40	500000
Pounce	.006	30	8	.30	100000
Pramitol	720	500	30	.75	150
Prefar	5.6	120	30	.40	1000
Prehudo	620000	1000	30	.60	1000000
Prime	.1	20	7	.40	10000
Princap	6.2	60	0.5	.40	130
Probe	1.5	14	5	.40	3000
Provl	275	90	30	.40	5000
Pursuit	200000	90	20	.90	10
Pydrin	.002	35	10	.25	5300
Pyramin	400	21	5	.85	120
Ranrod	613	6	3	.40	80
Reflex	700000	100	30	.95	60
Rescue	709000	10	9	.45	20
Ridomil	8400	70	30	.70	50
Ro-Nect	95	30	2	.50	430
Ronstar	.7	60	20	.50	3200

Pesticidas y sus características incluidos en la base de datos del modelo

pesticida	solubilidad (ppm)	vida media en suelo (día)	vida media en follaje (día)	fracc. de lavado	coef. de partición KOC
Counter	5	3	2.5	.60	500
Crossbow	2100000	46	15	.95	20
Curacron	28	8	3	.90	2000
Cygon	39800	7	3	.95	20
Cyprex	700	20	10	.50	100000
Cythion	130	1	3	.90	1800
Dacamine	890	10	5	.45	20
Dacthal	.5	100	10	.30	5000
Dacthal	.5	20	10	.30	5000
D.Monoacid	3000	10	5	.60	20
D.Diacid	3780	300	150	.60	2
Dalapon	800000	30	37	.95	1
Dasanit	.01	24	4	.90	10000
DDT	.1	120	10	.05	240000
Dedweed	866000	25	7	.95	20
DEF	2.3	30	7	.25	5000
Desicant L-10	170001	0000	10000	.95	100000
Devrinol	74	70	15	.60	400
Dibrom	2000	1	0.5	.90	180
Dieldrin	.1	1400	5	.05	50000
Dimilin	.08	10	27	.05	10000
Dinitro	30	20	3	.60	500
Dinitro	2200	20	10	.90	63
Diquat	718000	1000	30	.95	1000000
Dinoseb	30	23	23	1.00	490
Di-System	25	30	3	.50	600
Dithane	6	70	10	.25	2000
Dowpon	1000	30	37	.95	4
Drapp	20	10	3	.40	110
DSMA	1400000	1000	30	.95	100000
Dual	530	90	5	.60	200
Du-ter	1	75	18	.40	23000
Dyfonate	16.9	40	2.5	.60	870
Dylox	120000	10	3	.95	10
Dymid	260	30	5	.80	210
Dynap	200	12	12	1.00	30
Dyrene	8	1	0.5	.50	3000
Elgetol	100000	20	8	.95	20
EPN	.5	5	5	.60	13000
Eradicane	344	6	3	.75	200
Ethanol	1.1	150	7	.65	10000
Evik	185	60	5	.65	300
Evital	28	90	15	.50	600
Far-Go	4	82	15	.40	2400
Fenatrol	500000	180	30	.95	20
Fenitox	30	8	3	.90	2000
Fruitione CPA	200000	10	3	.95	20
Fumazone	1000	180	90	.60	70
Fundal	500000	60	1	.90	100000
Furquinex	30	21	5	.80	540
Furadan	351	50	2	.55	22
Furilade	2	15	4	.40	5700
Glean	7000	160	30	.75	40
Goal	.1	35	8	.40	100000
Guthion	29	10	2	.65	1000
Harmony	2400	12	3	.80	45
Harvade	3000	10	3	.80	10
Hoclon	.8	37	-	-	16000
Hyvar	700	60	20	.75	32
Hyvar	700	60	-	-	32
Imidan	20	19	3	.90	820
Isotox	7.3	400	2.5	.05	1100
Karate	.005	30	5	.40	180000
Karathane	4	20	8	.30	550
Karmex	42	90	30	.45	480
Kelthane	1	60	4	.05	180000
Kerb	15	60	20	.30	200
Krenite	1790000	8	4	.95	150
Lannate	58000	30	0.5	.55	72

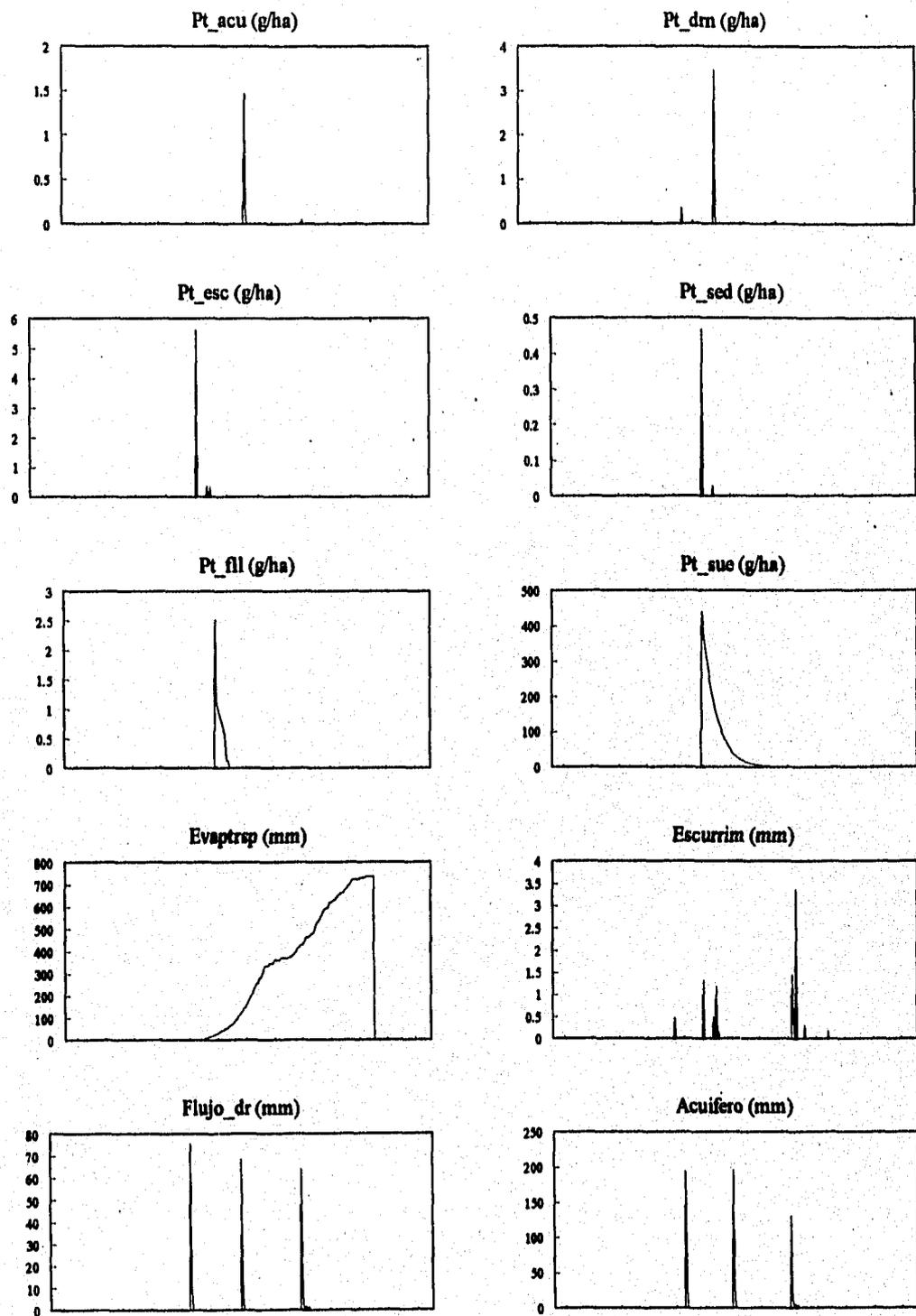
pesticida	solubilidad (ppm)	vida media en suelo (día)	vida media en follaje (día)	fracc. de lavado	coef. de partición KOC
Roundup	900000	47	2.5	.60	24000
Rovral	13.9	14	5	.40	700
Royal Sto-Gro	400000	30	10	.95	20
Rubigan	14	360	30	.40	600
Sancap	16	30	5	.40	900
Savey	.5	30	5	.40	6200
Scepter	160000	60	20	.95	20
Sencor	1220	40	5	.80	60
Sevin	120	10	7	.55	300
2,4,5-TP	2.5	20	5	.40	2600
Sinbar	710	120	30	.70	55
Slug-Gets	24	30	10	.70	300
Sonalan	.3	60	4	.40	4000
Sonar	10	21	10.5	.30	1000
Spectracide	60	40	4	.90	1000
Spike	2500	360	30	.90	80
Spout Nip	89	30	8	.90	400
Stam	200	1	1	.70	149
Supracide	220	7	3	.90	400
Surflan	2.5	20	5	.40	600
Sutan	44	13	1	.30	400
Swat	1000000	17	5	.95	7
Tackle	250000	14	5	.95	113
Talstar	.1	26	7	.40	240000
Tandem	1.8	28	8	.40	5600
Tanone	200	40	2	.65	250
Tattoo	40	5	3	.85	370
TBZ	50	403	30	.60	2500
Telone	2270	1	5	.60	62
Telone II	2250	10	5	.60	32
Temik	6000	40	20	.60	40
Temik	6000	7	3.5	.60	40
T.Sulfoxide	6000	30	15	.60	30
T.Sulfone	6000	20	10	.60	10
Tenorax	2.5	60	15	.40	3000
Terbutrex	22	42	5	.50	2000
Temachlor	.44	21	4	.40	5000
Terraneb	8	130	30	.50	1650
Terrazole	50	20	3	.60	1000
Thimet	22	60	2	.60	1000
Thiodan	.32	90	3	.05	12400
Thiram	30	15	8	.50	670
Thiostrol	200000	14	7	.95	20
Tillam	100	14	4	.70	430
Tilt	110	110	30	.70	1000
Toiban	.1	140	1	.35	2240
Topain	3.5	10	5	.40	1830
Tordan	100000	30	8	.60	20
Tordon	200000	90	8	.60	16
Toxaphene	.4	500	2	.05	400000
Tralomethrin	.001	27	1	.40	100000
Treflan	.3	60	3	.40	8000
Tre-Hold	105	10	5	.40	300
Triethion	.6	15	6	.70	12500
Tupersan	18	90	30	.70	420
Turtlon	23	46	15	.70	780
Vapam	963000	7	3.5	.90	10
Velpar	33000	90	30	.90	54
Vendex	.013	90	30	.20	2300
Vernam	108	12	2	.80	260
Vinevax	195	7	3.5	.30	260
Volckoffs	100	10	2	.59	1000
Vortex	7600	10	5	.60	10
Vydate	282000	4	4	.95	25
Weedar	796000	10	9	.45	20
Weed-B-Gon	500000	24	10	.45	80
Weedone	50	10	9	.45	1000
Zolone	3	21	8	.65	1800

## Ejemplos de la información de campo relativa a cada lote

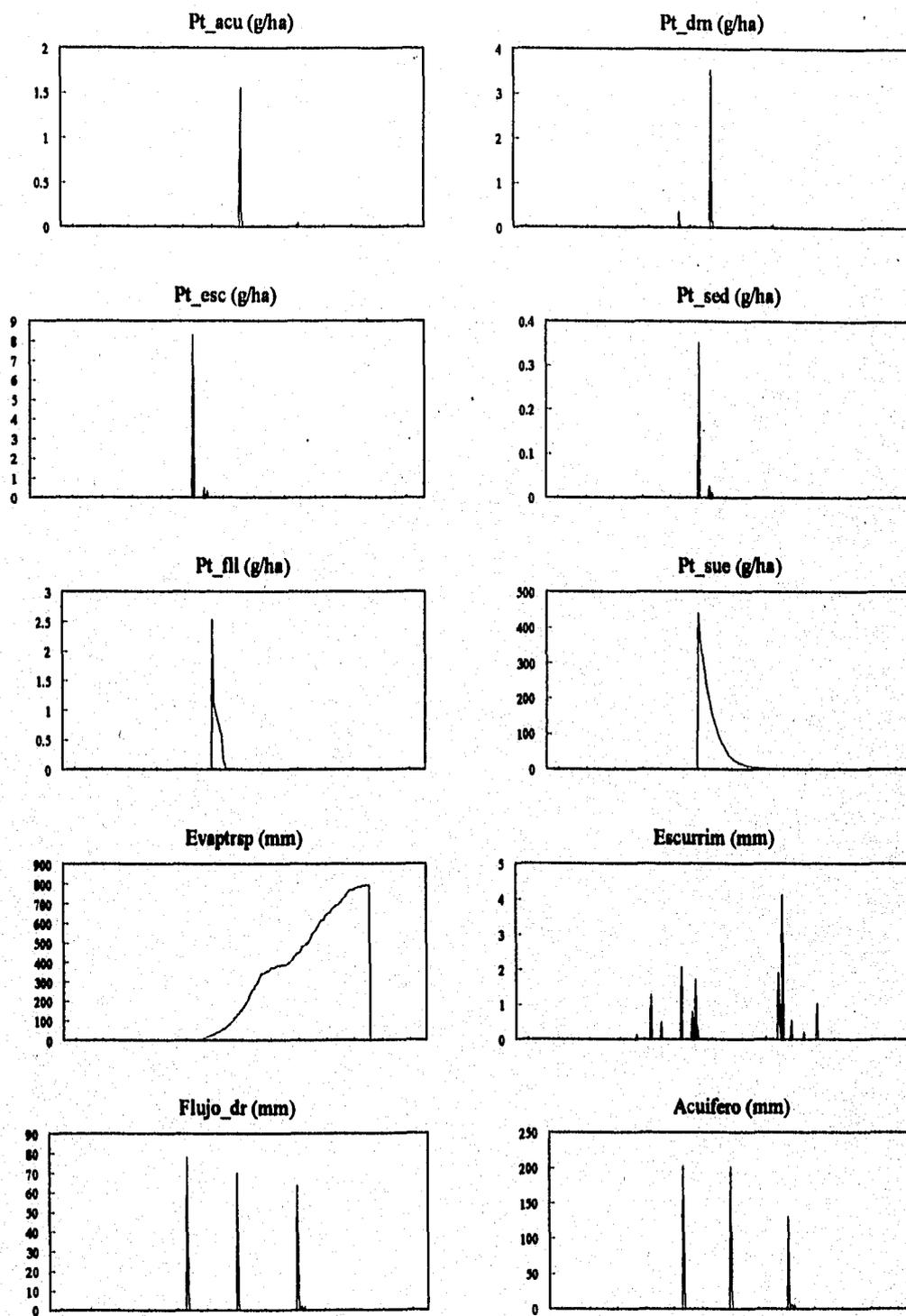
lote	fecha	cultivo	superf. (ha)	volumen (m <sup>3</sup> )	lote	fecha	cultivo	superf. (ha)	volumen (m <sup>3</sup> )	lote	fecha	cultivo	superf. (ha)	volumen (m <sup>3</sup> )
1	7/06/94	maíz	1	29	86	21/05/94	sorgo	2	69	142	1/06/94	maíz	4	138
2	3/06/94	sorgo	3	138	87	13/05/94	sorgo	1.5	39	142	2/06/94	sorgo	2	69
3	2/06/94	sorgo	2.5	104	88	29/04/94	maíz	2	52	143	14/05/94	maíz	2	69
4	29/05/94	maíz	2	70	89	23/05/94	sorgo	2	69	143	13/05/94	sorgo	2	60
6	7/06/94	sorgo	8	151	90	25/05/94	sorgo	5	143	144	5/05/94	sorgo	3	98
7	15/05/94	maíz	2	75	91	21/05/94	sorgo	6	225	145	9/02/09	frijol	1	35
7	16/05/94	sorgo	6	216	92	26/05/94	sorgo	4	108	146	14/04/94	frijol	0.5	17
8	8/05/94	sorgo	4	113	93	9/05/94	maíz	3.5	113	147	27/04/94	sorgo	1	29
8	26/05/94	sorgo	3	78	93	8/05/94	sorgo	4	86	148	28/04/94	sorgo	2	69
8	6/06/94	sorgo	5	190	94	10/05/94	maíz	6	182	149	20/05/94	sorgo	1.5	35
9	13/02/94	frijol	2	69	97	22/05/94	maíz	1	35	150	13/02/94	frijol	1	26
9	14/02/94	maíz	3	78	97	22/05/94	sorgo	1	35	152	11/02/09	frijol	1	26
9	22/02/94	maíz	3	121	99	5/02/94	frijol	1	22	153	31/03/94	frijol	3	133
10	20/02/94	frijol	1	35	99	22/05/94	sorgo	3	78	155	17/05/94	maíz	2	70
10	21/03/94	maíz	1	40	100	5/05/94	sorgo	4	121	156	19/05/94	maíz	1	30
14	15/05/94	maíz	2	70	101	7/04/09	maíz	1	20	157	23/02/94	jiçama	3	118
15	12/02/94	frijol	1	26	101	23/05/94	sorgo	7	172	159	4/02/94	frijol	2	69
16	24/05/94	sorgo	2	52	102	22/05/94	sorgo	6	164	162	6/02/94	frijol	3.5	155
19	30/05/94	maíz	4	139	103	23/04/94	sorgo	4	138	166	28/05/94	sorgo	2	69
20	31/05/94	sorgo	3	65	103	7/06/94	sorgo	2	70	167	9/02/09	frijol	1	35
21	9/06/94	maíz	2.5	78	104	15/02/94	frijol	1.5	39	169	24/02/94	jiçama	3.5	138
22	29/05/94	sorgo	4	126	104	6/06/94	maíz	1	26	170	1/06/94	maíz	1.5	52
23	21/02/94	frijol	1	40	105	6/06/94	sorgo	4	133	172	7/02/94	frijol	4	100
23	1/04/94	frijol	1	35	106	26/02/94	jiçama	2	69	173	7/02/94	frijol	1	22
26	15/04/94	alfalfa	0.5	12	106	16/03/94	jiçama	2.5	43	173	26/04/94	sorgo	2	52
28	13/05/94	maíz	2	70	106	25/05/94	sorgo	4.5	142	175	21/05/94	sorgo	5	147
30	12/02/94	alfalfa	1	26	108	5/06/94	sorgo	2	69	176	14/05/94	maíz	2	69
30	12/02/94	frijol	1	26	110	15/05/94	sorgo	1.5	52	177	27/04/94	sorgo	4	86
32	11/05/94	sorgo	2	70	113	22/04/94	maíz	5	196	178	5/06/94	sorgo	4	139
37	10/05/94	sorgo	2	77	113	21/04/94	sorgo	2	68	179	27/07/94	ajo	1	35
39	18/05/94	sorgo	2	58	116	10/05/94	sorgo	3.5	13	180	20/05/94	maíz	1	22
42	6/06/94	maíz	2.5	87	117	3/02/94	frijol	4	125	180	20/05/94	sorgo	3	65
43	6/06/94	sorgo	4	100	117	28/04/94	sorgo	2	43	183	12/02/94	frijol	2	82
44	16/02/09	frijol	4	29	118	17/02/94	frijol	4	86	183	20/04/94	sorgo	4	168
46	30/04/94	maíz	3	78	118	25/05/94	maíz	2	58	185	10/02/94	frijol	1	26
47	13/02/94	frijol	2	78	120	4/06/94	maíz	1	35	185	7/06/94	sorgo	5	156
48	3/06/94	sorgo	2	69	120	5/06/94	sorgo	4	112	186	14/05/94	maíz	5	156
51	4/06/94	sorgo	3	129	121	10/02/94	jiçama	8	224	188	6/02/94	frijol	2	101
53	27/05/94	cebolla	1	26	122	3/06/94	sorgo	6	99	188	29/04/94	sorgo	2.5	87
53	14/02/94	frijol	3	86	123	6/04/94	frijol	5	130	190	23/02/94	frijol	0.5	13
55	2/02/94	frijol	6	155	124	10/02/94	frijol	1.5	52	191	20/02/94	frijol	4	121
56	1/06/94	sorgo	3	112	125	9/02/09	frijol	0.5	17	193	21/02/94	frijol	1.5	47
57	29/05/94	maíz	4	112	125	23/04/94	jiçama	1	25	196	28/05/94	maíz	1	35
58	29/05/94	sorgo	1.5	43	125	29/05/94	maíz	6.5	219	196	28/05/94	sorgo	5	224
61	24/05/94	sorgo	8	268	126	19/02/94	alfalfa	2	69	197	13/05/94	sorgo	2	52
66	10/05/94	maíz	2	65	127	28/05/94	sorgo	1.5	60	199	8/02/94	frijol	1	35
66	11/05/94	sorgo	3	87	128	9/05/94	maíz	1	35	200	10/02/94	frijol	1	35
67	26/05/94	maíz	2	69	128	3/06/94	sorgo	4	140	200	2/06/94	maíz	2	124
68	29/04/94	maíz	4.5	103	131	11/02/09	frijol	1	26	201	11/02/09	cacah.	2	69
68	18/05/94	sorgo	2	70	131	6/06/94	sorgo	4	136	202	26/05/94	sorgo	3	86
69	14/05/94	maíz	3	98	132	18/05/94	sorgo	2	70	203	10/02/94	frijol	2	62
71	13/02/94	frijol	4	115	133	17/02/94	frijol	1.5	48	204	24/05/94	sorgo	2	64
72	13/05/94	maíz	2	51	134	21/03/94	frijol	0.5	26	208	19/04/94	maíz	1.5	43
73	3/05/94	maíz	3	86	134	30/05/94	sorgo	2	70	210	10/05/94	maíz	1	35
74	9/06/94	maíz	2	35	135	27/05/94	sorgo	1	26	210	11/05/94	sorgo	1	35
75	13/02/94	sandia	1	23	137	23/03/94	sandia	0.5	6	213	6/06/94	maíz	1	35
80	8/06/94	maíz	1	25	137	26/05/94	sorgo	2	52	215	22/02/94	frijol	1.5	35
80	6/06/94	sorgo	5	165	139	16/05/94	sorgo	4	113	217	10/04/94	frijol	1	26
82	21/04/94	maíz	2	69	139	7/06/94	sorgo	2	70	217	26/04/94	sorgo	1	35
83	3/02/94	frijol	2	58	140	8/02/94	frijol	1.5	52	222	24/05/94	sorgo	1	35

## **ANEXO IV**

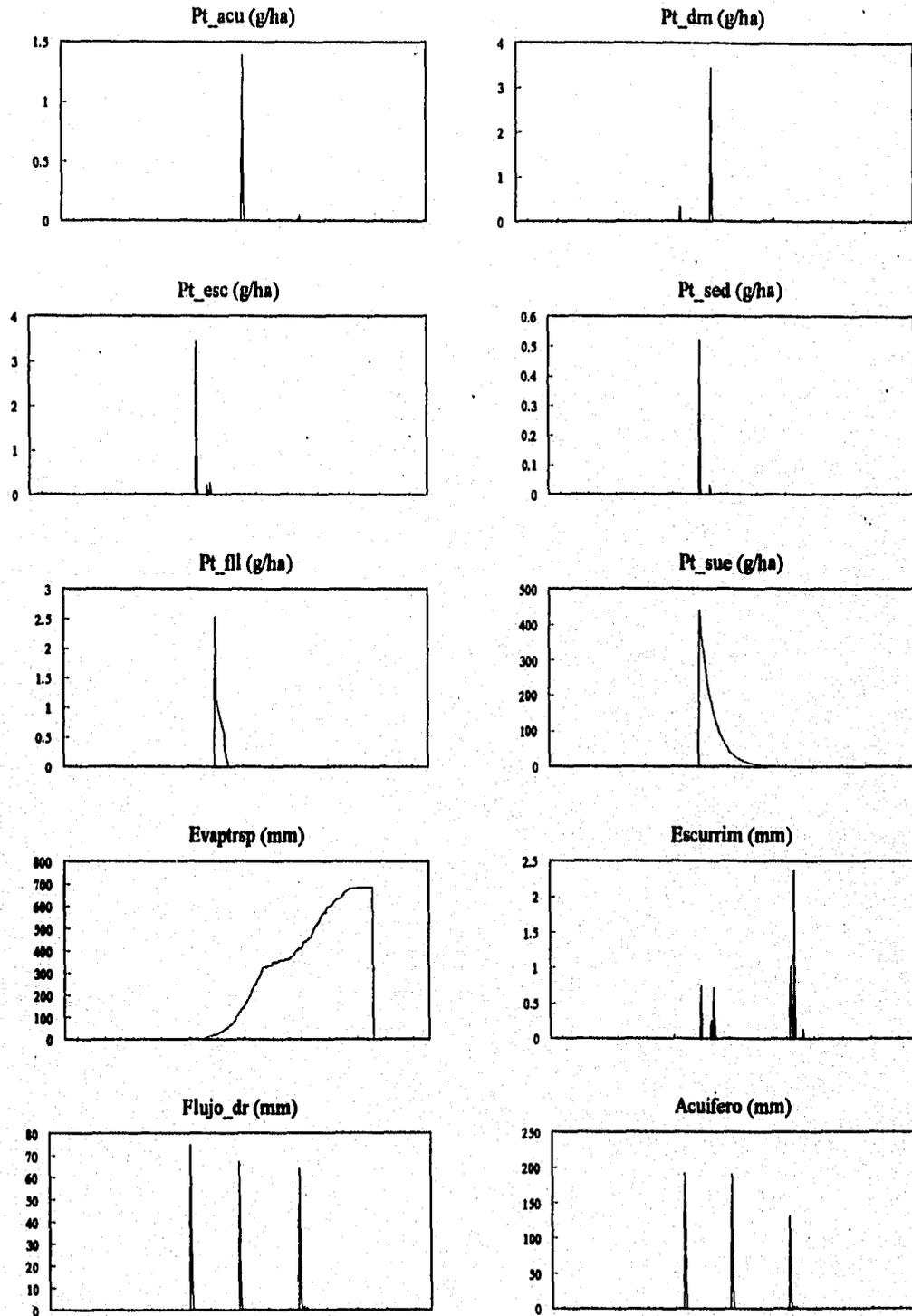
**Resultados gráficos y numéricos de las  
simulaciones para los diferentes escenarios**



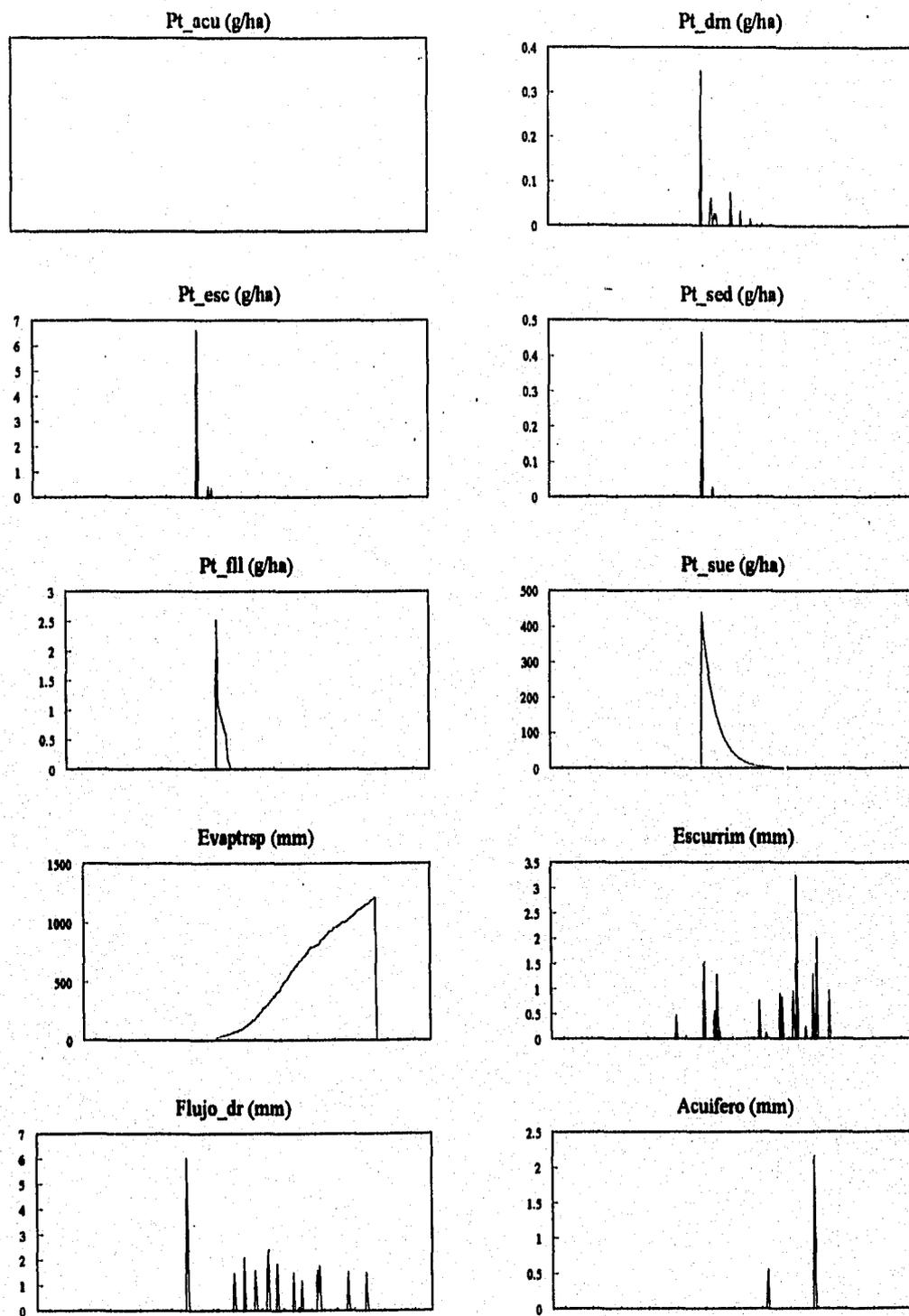
**Figura 1.** Cultivo de maíz. Clima normal. Migración del 2,4-D, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



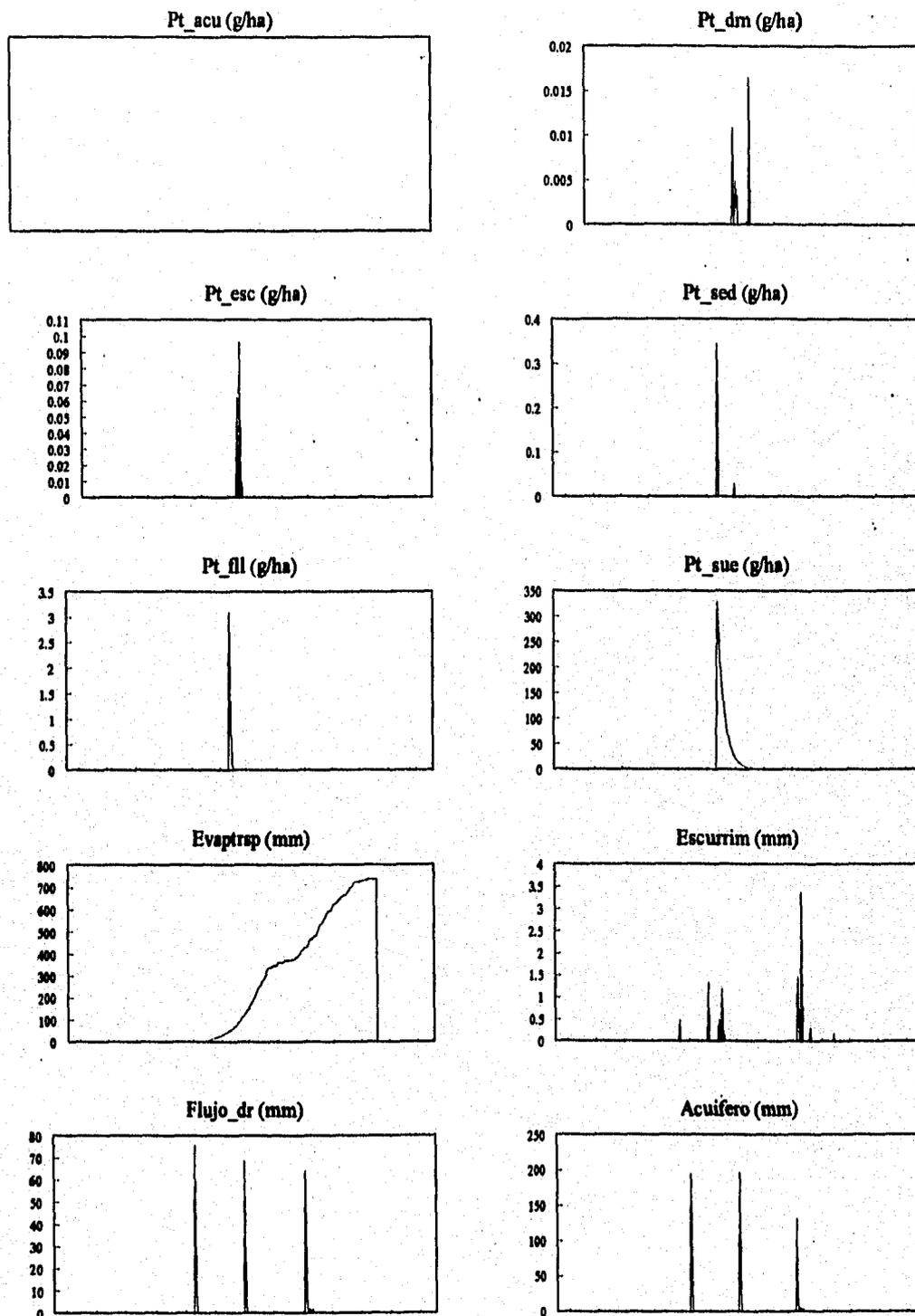
**Figura 2.** Cultivo de maíz. Clima lluvioso. Migración del 2,4-D, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



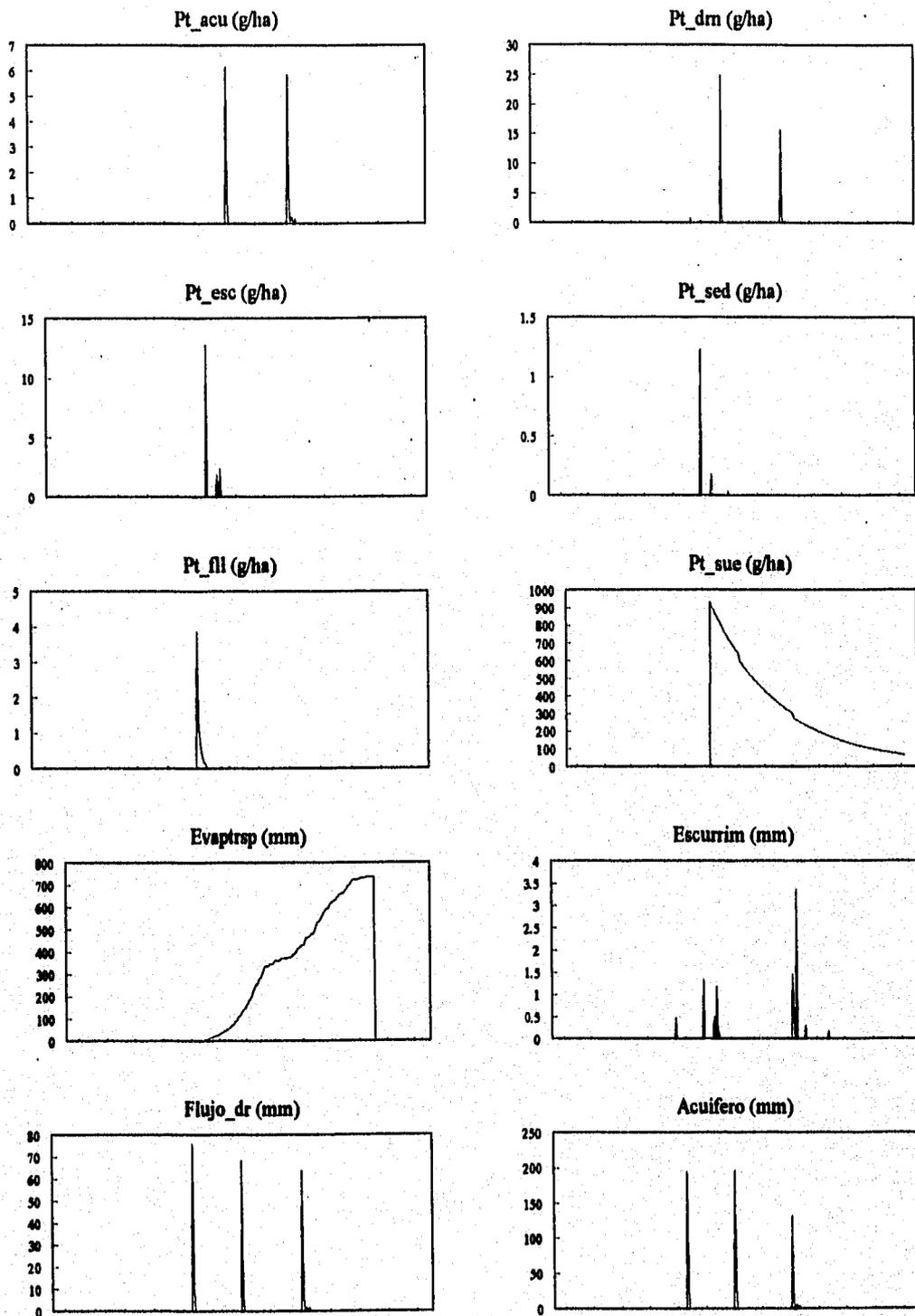
**Figura 3.** Cultivo de maíz. Clima seco. Migración del 2,4-D, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



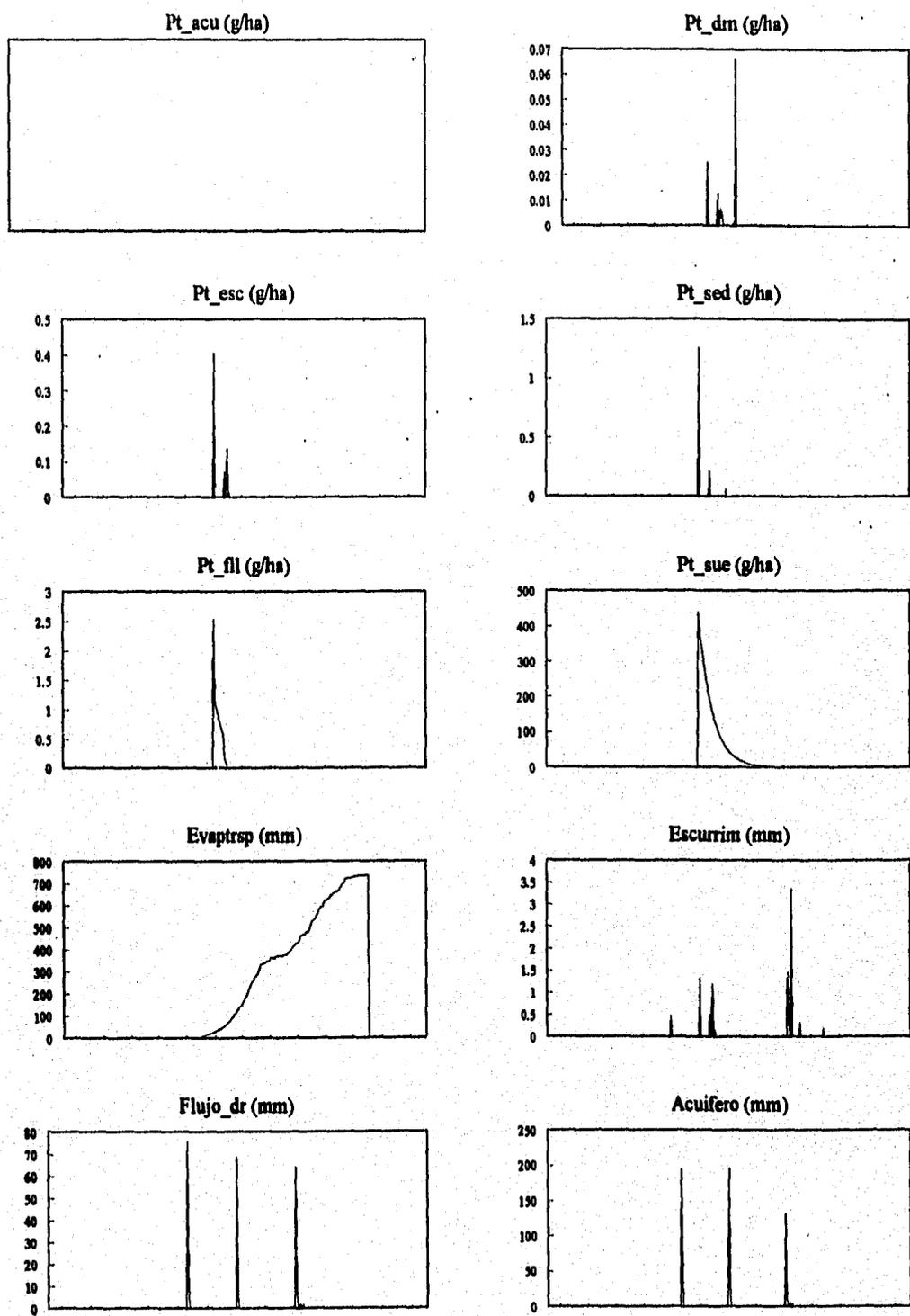
**Figura 4.** Cultivo de maíz. Clima normal con riego oportuno. Migración del 2,4-D, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



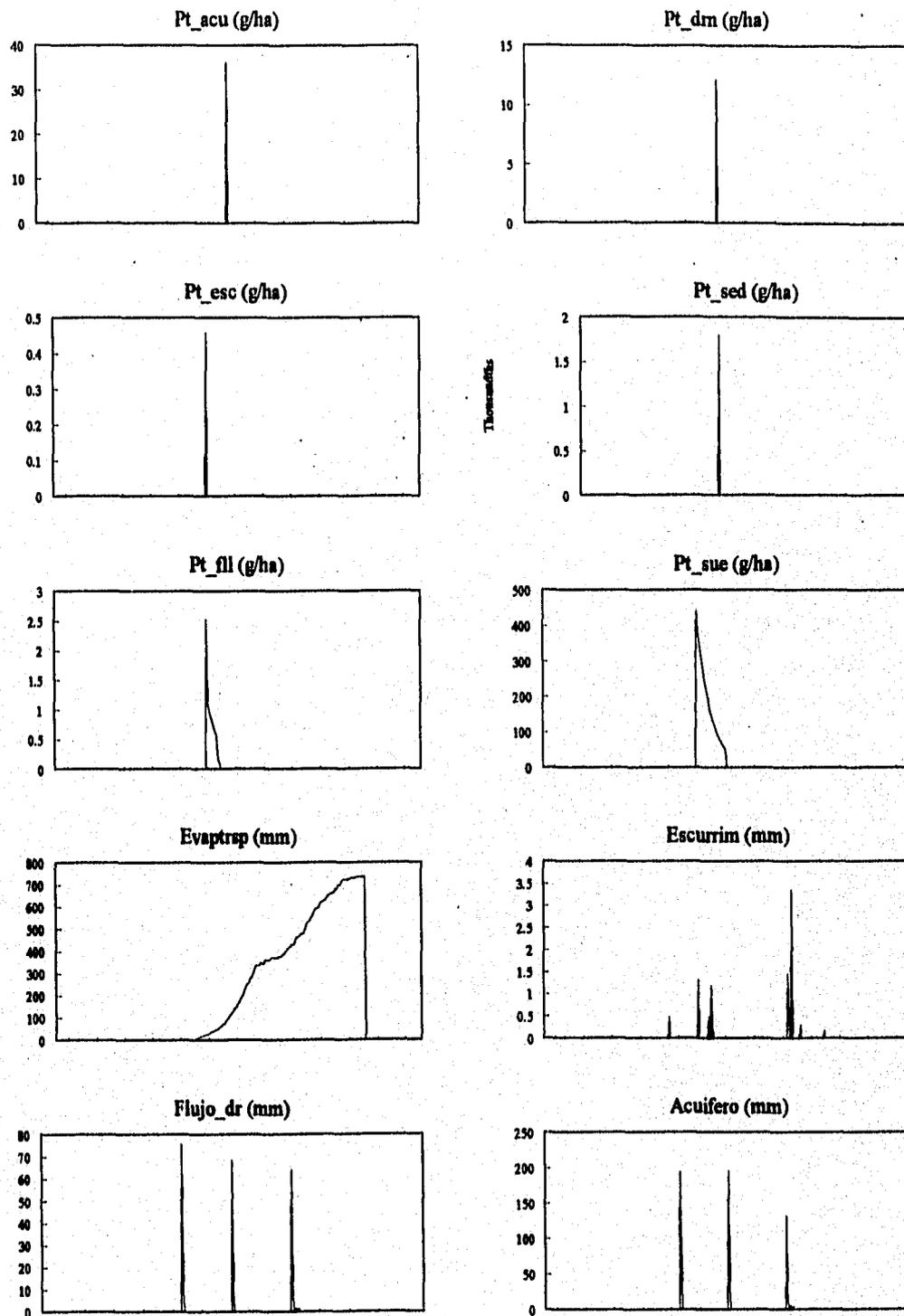
**Figura 5.** Cultivo de maíz. Clima normal. Migración del Parathion Metilico, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 6.** Cultivo de maíz. Clima normal. Migración del Gesaprim, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 7.** Cultivo de maíz. Clima normal. Migración del 2,4-D ( $K_d$  100 veces mayor), hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 8.** Cultivo de maíz. Clima normal. Migración del 2,4-D ( $K_d$  100 veces menor), hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).

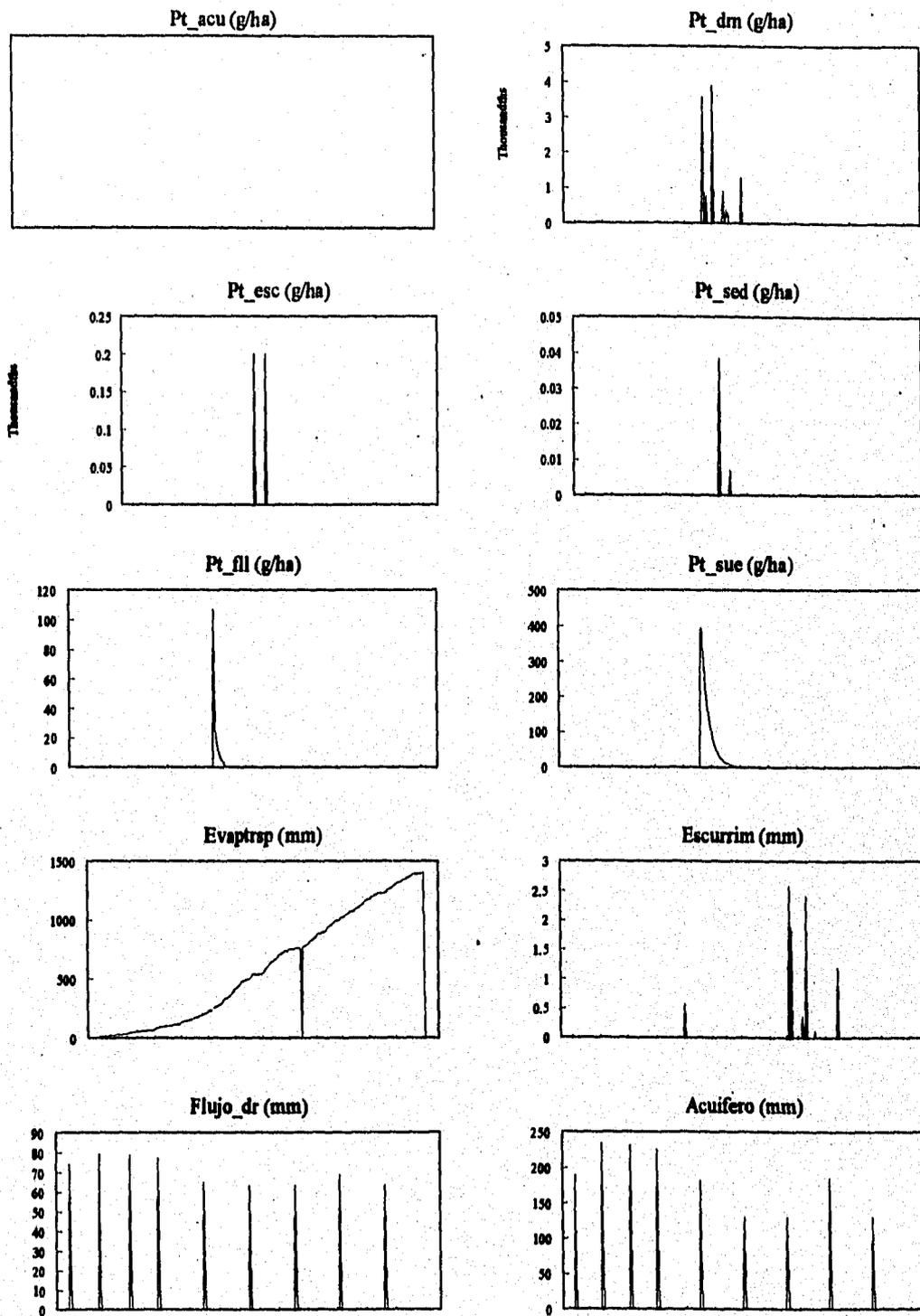
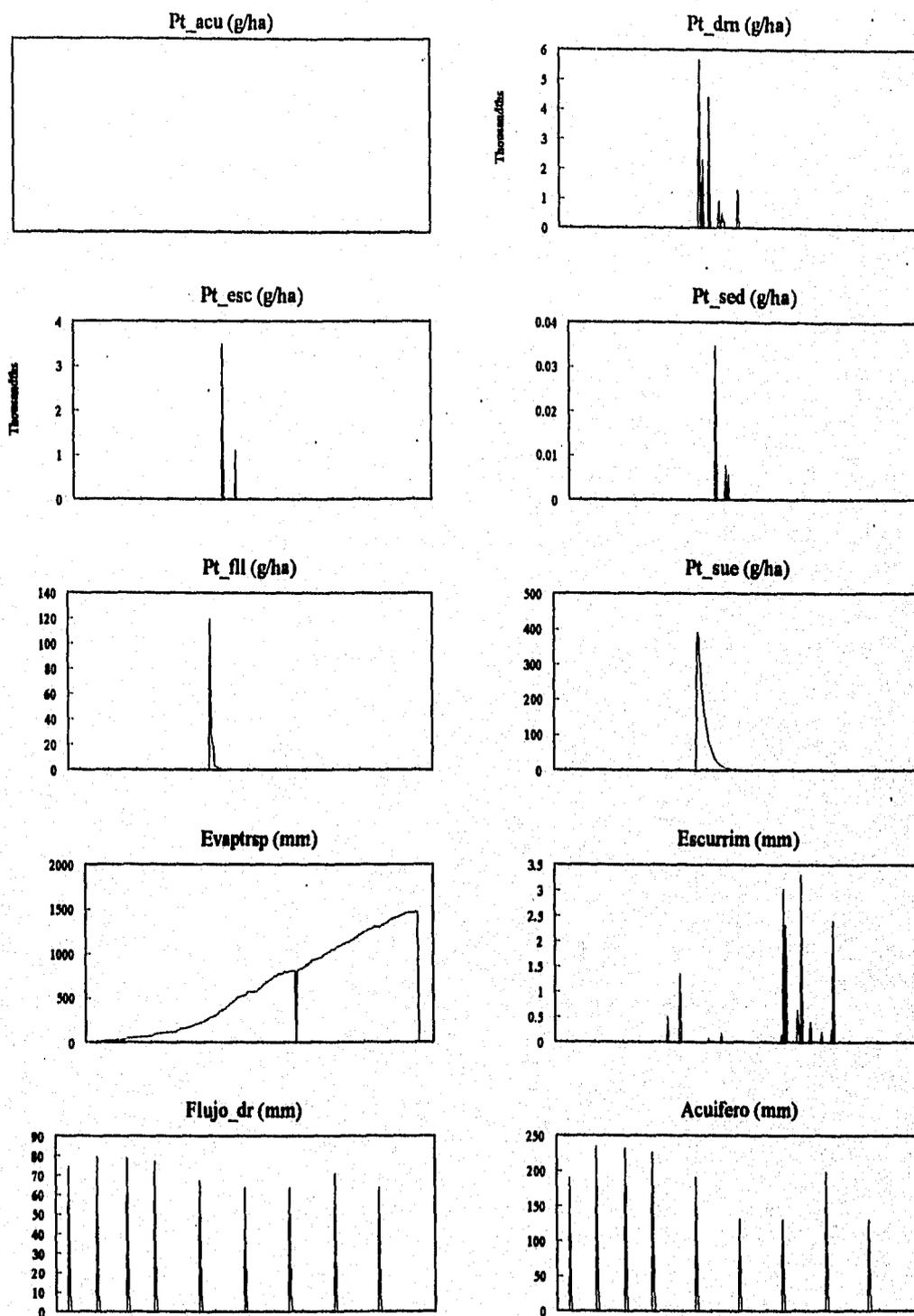
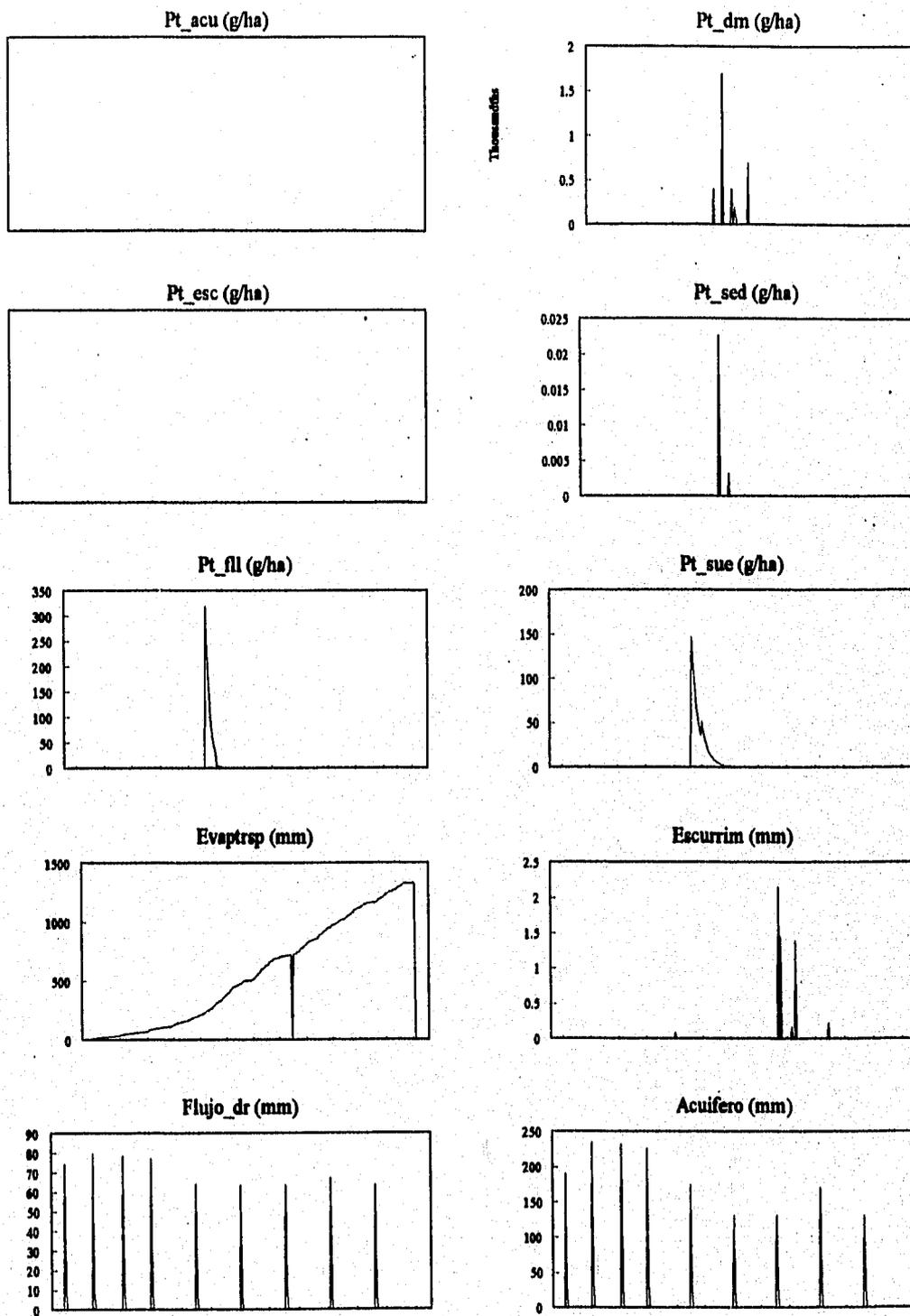


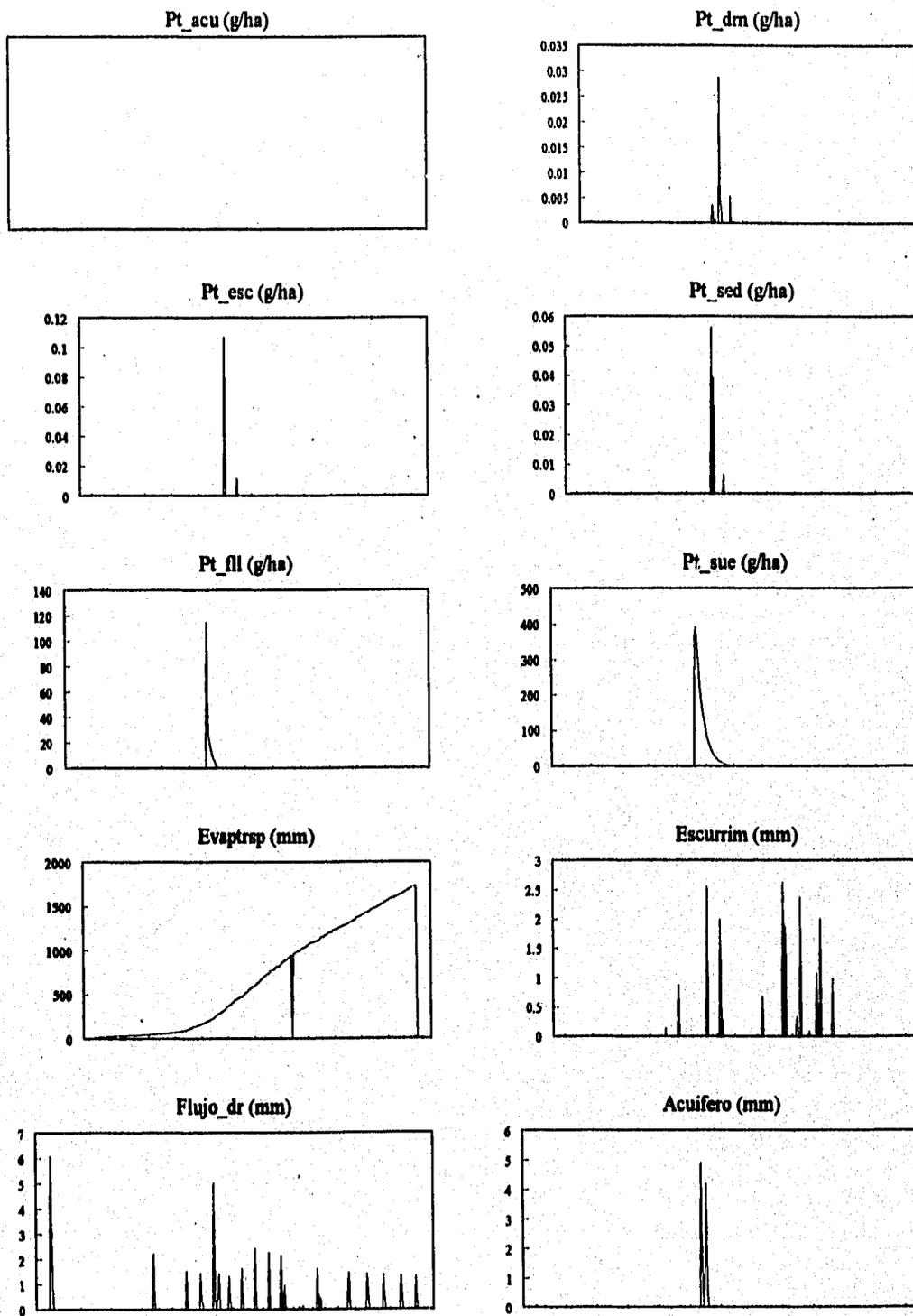
Figura 9. Cultivo de alfalfa. Clima normal. Migración del Parathion Metilico, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



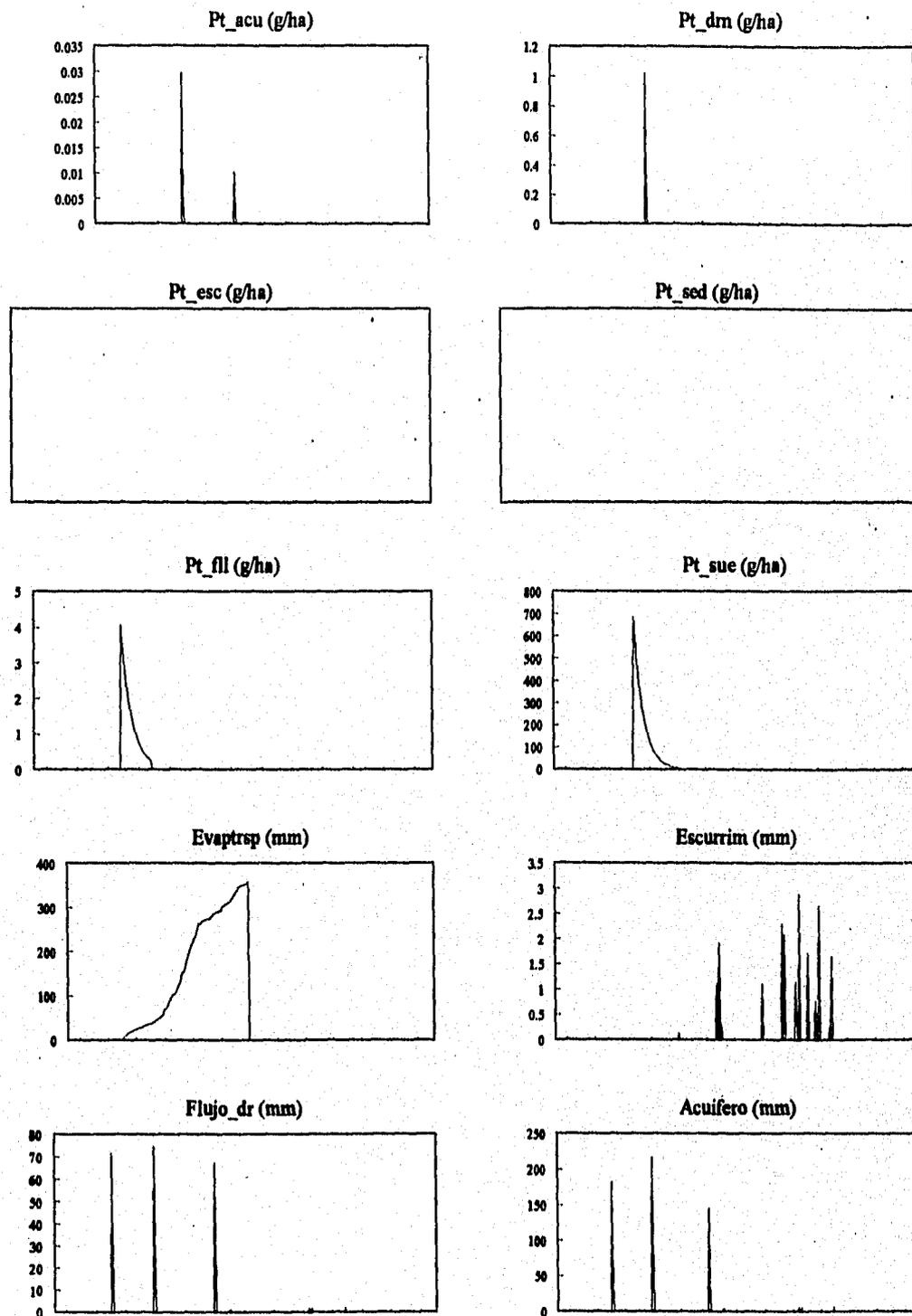
**Figura 10.** Cultivo de alfalfa. Clima lluvioso. Migración del Parathion Metilico, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 11.** Cultivo de alfalfa. Clima seco. Migración del Parathion Metílico, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 12.** Cultivo de alfalfa. Clima normal con riegos oportunos. Migración del Parathion Metilico, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 13.** Cultivo de frijol. Clima normal. Migración del Sevin, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).

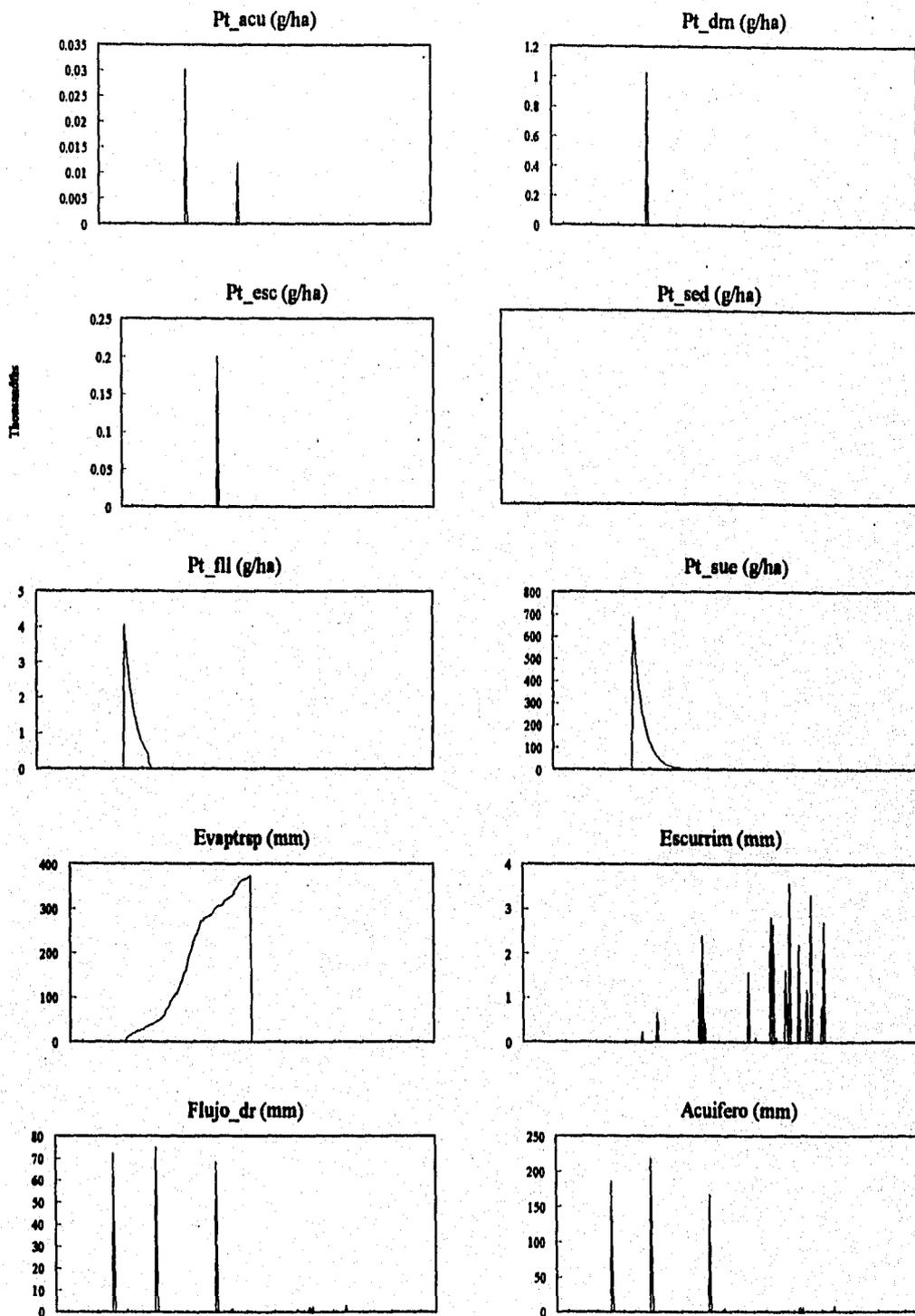


Figura 14. Cultivo de frijol. Clima lluvioso. Migración del Sevin, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).

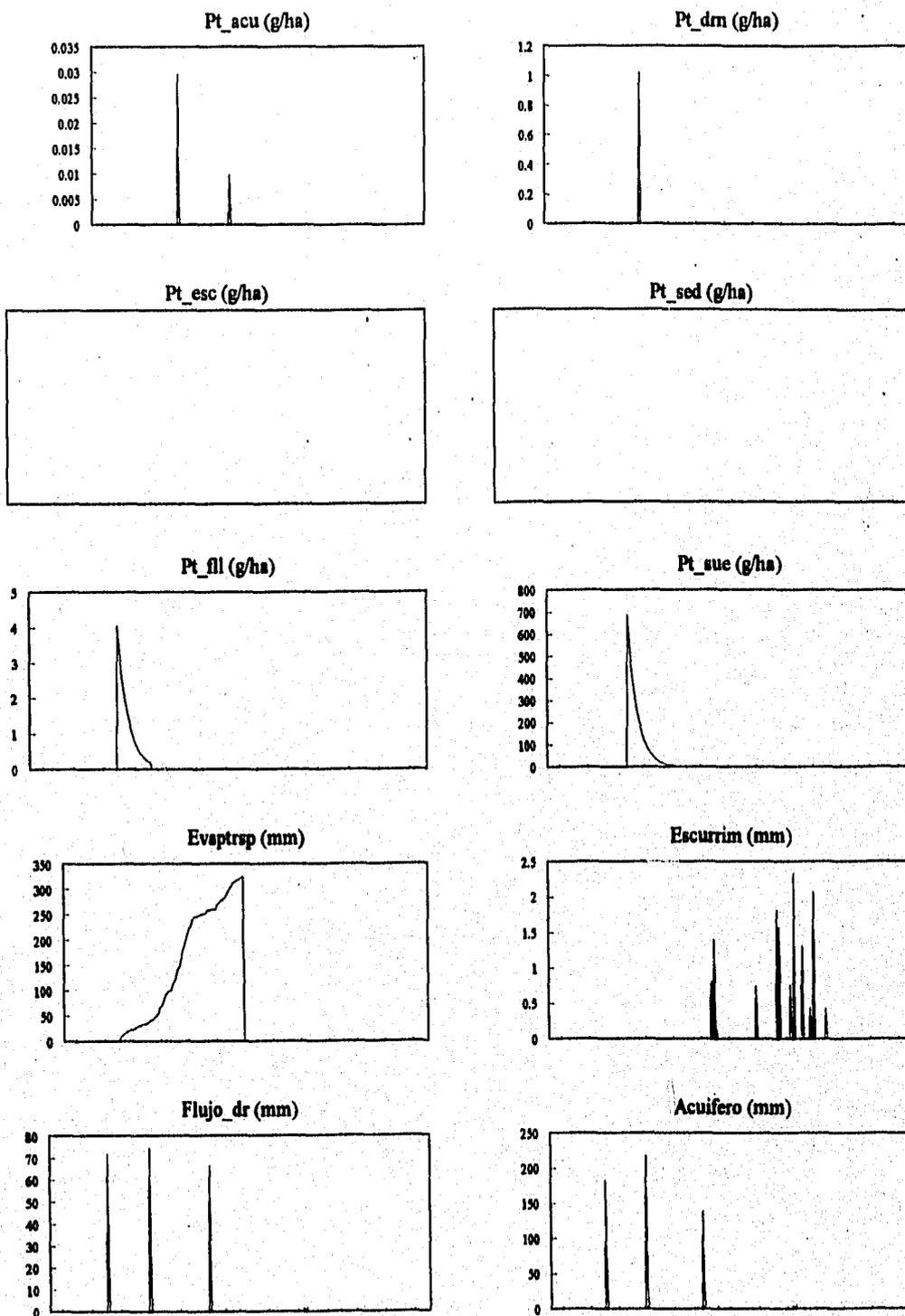
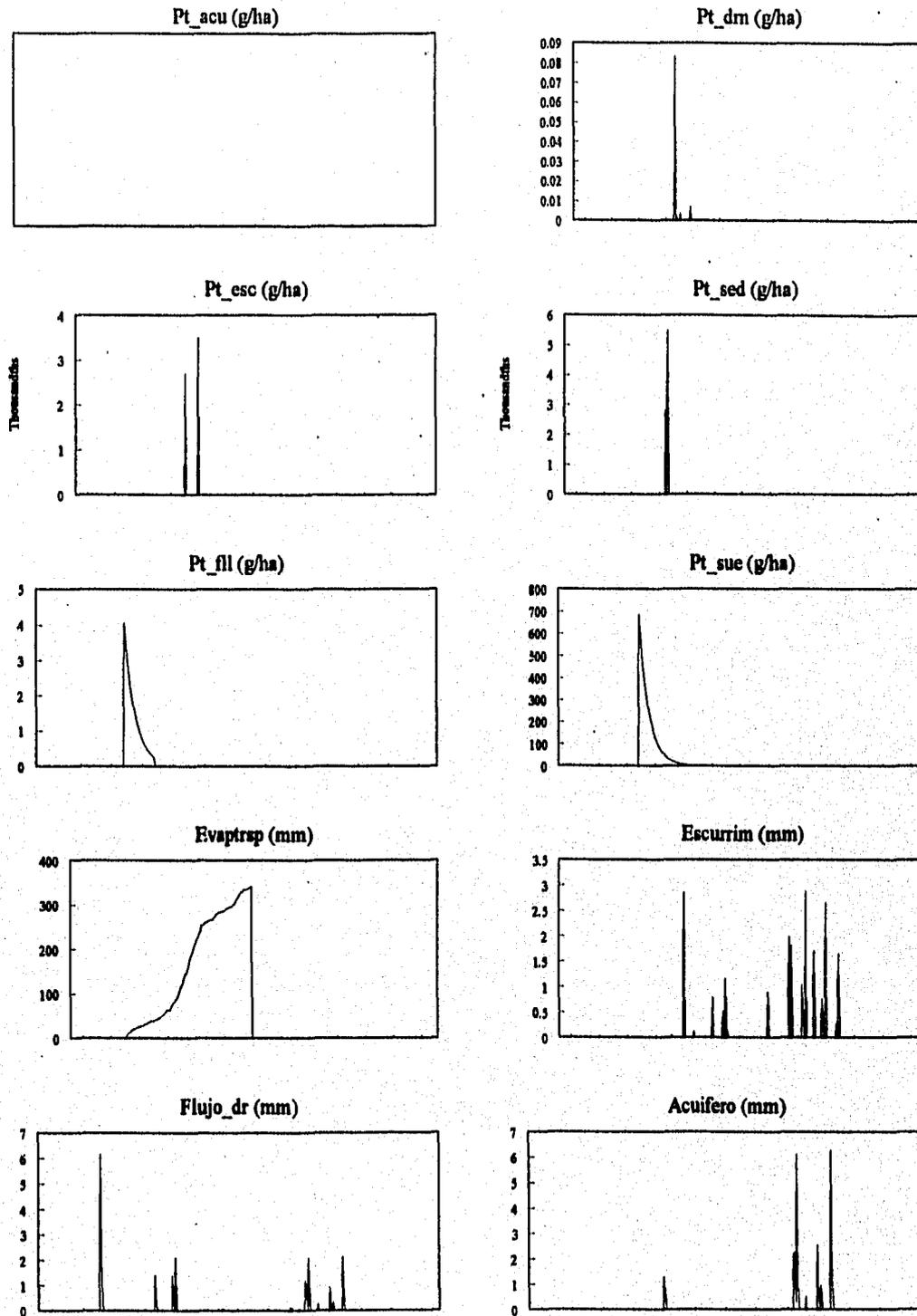
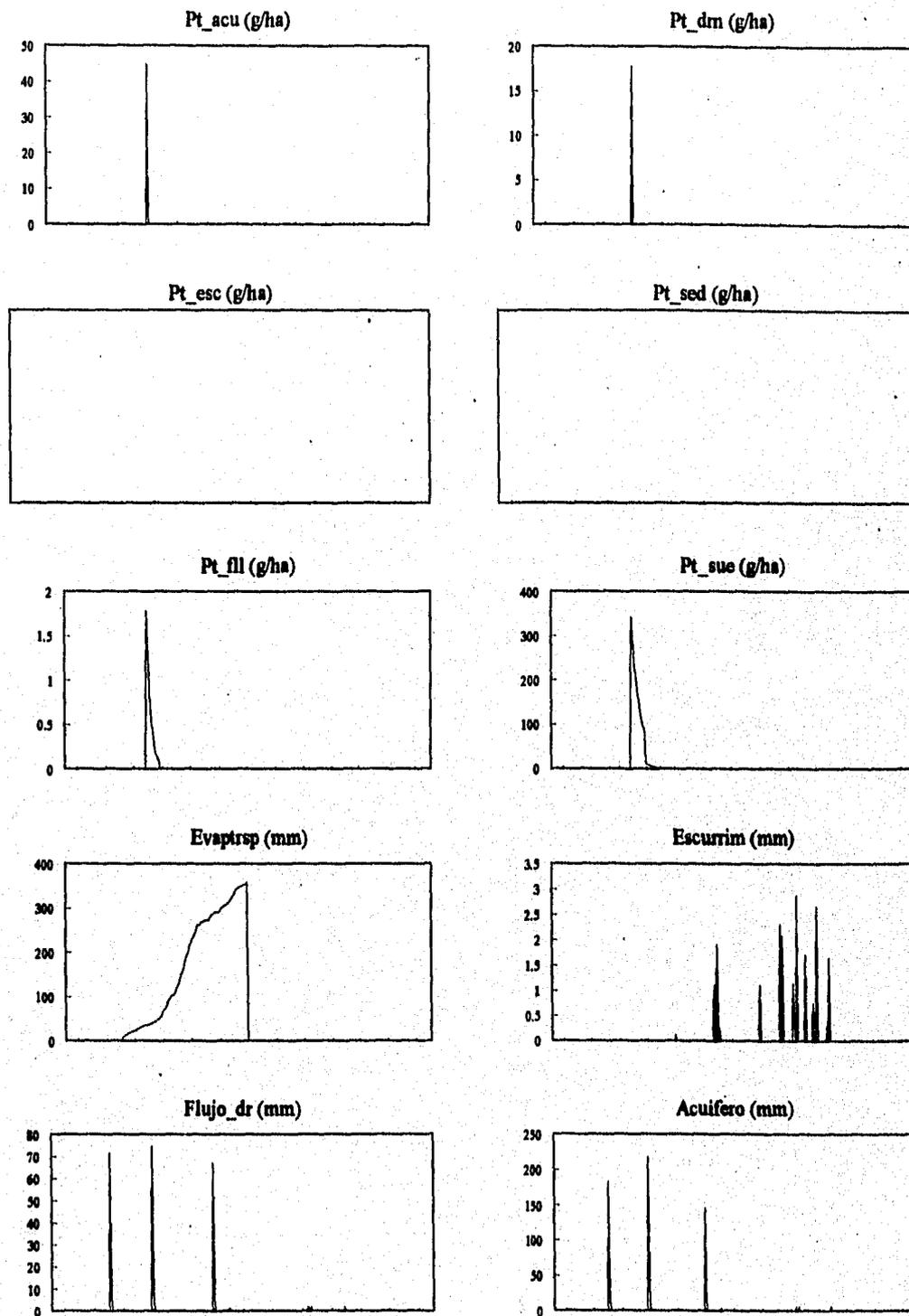


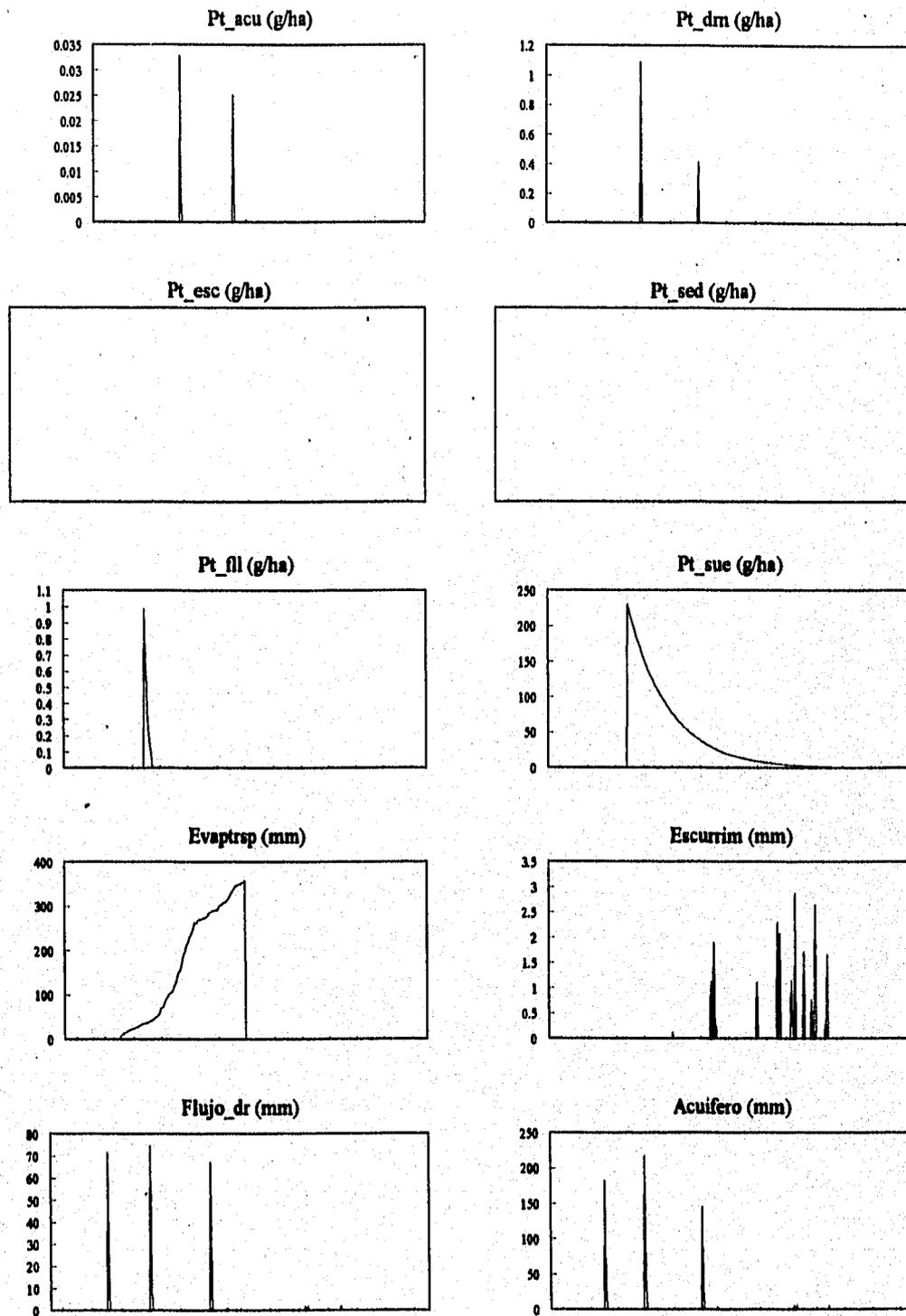
Figura 15. Cultivo de frijol. Clima seco. Migración del Sevin, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 16.** Cultivo de frijol. Clima normal con riego oportuno. Migración del Sevin, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 17.** Cultivo de frijol. Clima normal. Migración del Dimetoato, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).



**Figura 18.** Cultivo de frijol. Clima normal. Migración del Diazinon, hacia el acuífero y drenes, en el escurrimiento y en los sedimentos; residuos en el follaje y en el suelo (g/ha). Evapotranspiración, volumen de escurrimiento, flujo de agua hacia los drenes y hacia el acuífero expresado en lámina (mm).

Cuadro 1 Destino del 2,4-D aplicado a cultivo de maíz, en clima normal con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarriamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el cultivo (g/ha, conc.)	2,4-D en los drenes (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 5	475	6	304 PPB	0	<0.5	405 PPT	0.4673	0.3052	60.7682	1.2867	406.2014	
94/ 6	0	1	38 PPB	0	<0.5	46 PPB	0.0296	0.7015	355.1299	0.0787	50.6662	
94/ 7	0	0	0	2	735 PPT	4	5 PPB	0	0	40.0112	0.0787	5.2808
94/ 8	0	0	0	<0.5	39 PPT	<0.5	117 PPT	0	0	4.3595	0.0787	0.7945
94/ 9	0	0	0	<0.5	32 PPT	<0.5	53 PPT	0	0	0.2459	0.0787	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0	0

Cuadro 2 Destino del 2,4-D aplicado al cultivo de maíz, en clima lluvioso con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarriamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el cultivo (g/ha, conc.)	2,4-D en los drenes (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 5	475	8	217 PPB	0	<0.5	395 PPT	0.3523	0.3053	60.5950	1.2870	403.7884	
94/ 6	0	1	31 PPB	0	<0.5	41 PPB	0.0400	0.7017	352.8803	0.0787	50.3128	
94/ 7	0	0	0	2	761 PPT	4	5 PPB	0	0	39.5393	0.0787	5.2210
94/ 8	0	0	0	0	40 PPT	<0.5	116 PPT	0	0	4.2987	0.0787	0.7954
94/ 9	0	0	0	0	32 PPT	<0.5	51 PPT	0	0	0.2465	0.0787	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0	0

Cuadro 3 Destino del 2,4-D aplicado a cultivo de maíz, en clima seco con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarriamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el cultivo (g/ha, conc.)	2,4-D en los drenes (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 5	475	3	433 PPB	0	<0.5	401 PPT	0.5215	0.305	60.9108	1.2858	408.1867	
94/ 6	0	<0.5	48 PPB	0	<0.5	54 PPB	0.0324	0.701	357.0155	0.0786	50.9699	
94/ 7	0	0	0	2	717 PPT	4	5 PPB	0	0	40.3708	0.0786	5.3284
94/ 8	0	0	0	<0.5	39 PPT	<0.5	117 PPT	0	0	4.4063	0.0786	0.7956
94/ 9	0	0	0	<0.5	32 PPT	<0.5	55 PPT	0	0	0.2458	0.0786	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0786	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0786	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0786	0	0

Cuadro 4 Destino del 2,4-D aplicado a cultivo de maíz, en clima normal con riego oportuno

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarriamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el cultivo (g/ha, conc.)	2,4-D en los drenes (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 5	475	6	318 PPB	0	<0.5	4 PPB	0.4646	0.2776	60.7350	1.0975	405.5825	
94/ 6	0	1	38 PPB	0	<0.5	47 PPB	0.0305	0.5912	354.5086	0.0504	50.5600	
94/ 7	0	0	0	0	<0.5	1 PPB	0	0	44.4940	0.0504	5.8712	
94/ 8	0	0	0	0	<0.5	168 PPT	0	0	5.0956	0.0504	0.5425	
94/ 9	0	0	0	0	<0.5	10 PPT	0	0	0.2469	0.0504	0	
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0504	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0504	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0504	0	0

Cuadro 5 Destino del Parathion Metílico 2,4-D aplicado a cultivo de maíz, en clima normal con riego tradicional

Mes	Parath. aplicado (g/ha)	Parathion en el escarriamiento (g/ha, conc.)	Parathion en el acuífero (g/ha, conc.)	Parathion en las drusas (g/ha, conc.)	Parathion en el sedimento (g/ha)	Parathion degradado del follaje (g/ha)	Parathion degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 6	380	<0.5	9 PPB	0	<0.5	7 PPB	0.3714	1.4778	357.3107	0.0614	20.5839
94/ 7	0	0	0	0	<0.5	22 PPT	0.0037	0	20.2079	0.0614	0.2333
94/ 8	0	0	0	0	<0.5	4 PPT	0.0002	0	0.1447	0.0614	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0614	0
94/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0614	0
94/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0614	0
94/12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0614	0

Cuadro 6 Destino del Gesaprim aplicado a cultivo de maíz, en clima normal con riego tradicional

Mes	Gesaprim aplicado (g/ha)	Gesaprim en el escarriamiento (g/ha, conc.)	Gesaprim en el acuífero (g/ha, conc.)	Gesaprim en las drusas (g/ha, conc.)	Gesaprim en el sedimento (g/ha)	Gesaprim degradado del follaje (g/ha)	Gesaprim degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	950	13	690 PPB	0	1	920 PPT	1.2340	2.1634	21.4211	1.3647	910.2537
94/ 6	0	4	243 PPB	0	1	248 PPB	0.2048	1.2793	265.4899	0.0853	639.0824
94/ 7	0	0	0	7	3 PPB	27	32 PPB	0	182.2047	0.0853	423.1247
94/ 8	0	0	0	6	4 PPB	16	24 PPB	0	127.0961	0.0853	274.4556
94/ 9	0	0	0	2	4 PPB	2	15 PPB	0	79.2402	0.0853	191.1718
94/10	0	0	0	0	<0.5	716 PPT	0	0	57.5350	0.0853	133.6350
94/11	0	0	0	0	0	0	0	0	39.1338	0.0853	94.5012
94/12	0	0	0	0	0	0	0	0	28.4412	0.0853	66.0599

Cuadro 7 Destino de 2,4-D (Kd 100 veces mayor) aplicado a cultivo de maíz, en clima normal con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarriamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el acuífero (g/ha, conc.)	2,4-D en las drusas (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	475	<0.5	22 PPB	0	<0.5	29 PPT	1.2556	0.3052	61.0863	1.2867	410.6350
94/ 6	0	<0.5	12 PPB	0	<0.5	9 PPB	0.2713	0.7015	359.3159	0.0787	51.2937
94/ 7	0	0	0	0	4	87 PPT	0.0217	0	45.1739	0.0787	5.9359
94/ 8	0	<0.5	66 PPT	0	<0.5	2 PPT	0.0098	0	5.2423	0.0787	0.7748
94/ 9	0	<0.5	17 PPT	0	<0.5	494 PPT	0.0007	0	0.4852	0.0787	0
94/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0
94/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0
94/12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0

Cuadro 8 Destino de 2,4-D (Kd 100 veces menor) aplicado a cultivo de maíz, en clima normal con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarriamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el acuífero (g/ha, conc.)	2,4-D en las drusas (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	475	<0.5	25 PPB	0	<0.5	33 PPT	0.0018	0.3052	61.1665	1.2867	411.7531
94/ 6	0	<0.5	37 PPT	0	<0.5	53 PPB	0	0.7015	360.4667	0.0787	51.5310
94/ 7	0	0	0	37	16 PPB	12	16 PPB	0	1.8186	0.0787	0.1443
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0491	0.0787	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0
94/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0
94/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0
94/12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0787	0

Cuadro 9 Destino del Parathion Metilico aplicado a cultivo de alfalfa, en clima normal con riego tradicional

Mes	Parat. aplicado (g/ha)	Parathion en el escudero (g/ha, conc.)		Parathion en las drusas (g/ha, conc.)		Parathion en el sedimento (g/ha)	Parathion degradado del follaje (g/ha)	Parathion degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	370	<0.5	29 PPT	0	0	<0.5	14 PPT	0	56.9395	411.5630	0.7590	100.6901
94/ 6	0	<0.5	614 PPT	0	0	<0.5	509 PPT	0.0382	0.6641	99.0314	0.0949	1.5303
94/ 7	0	0	0	0	0	<0.5	2 PPT	0.0071	0	1.4391	0.0949	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0949	0	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0949	0	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0949	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0949	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0949	0	0

Cuadro 10 Destino del Parathion Metilico aplicado a cultivo de alfalfa, en clima lluvioso con riego tradicional

Mes	Parat. aplicado (g/ha)	Parathion en el escudero (g/ha, conc.)		Parathion en las drusas (g/ha, conc.)		Parathion en el sedimento (g/ha)	Parathion degradado del follaje (g/ha)	Parathion degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	370	<0.5	246 PPT	0	0	<0.5	21 PPT	0.0349	53.4257	413.8119	0.2546	102.4533
94/ 6	0	<0.5	622 PPT	0	0	<0.5	491 PPT	0.0138	0.1744	100.7991	0.0802	1.5483
94/ 7	0	0	0	0	0	<0.5	2 PPT	0	0	1.4499	0.0802	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0802	0	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0802	0	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0802	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0802	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0802	0	0

Cuadro 11 Destino del Parathion Metilico aplicado a cultivo de alfalfa, en clima seco con riego tradicional

Mes	Parat. aplicado (g/ha)	Parathion en el escudero (g/ha, conc.)		Parathion en las drusas (g/ha, conc.)		Parathion en el sedimento (g/ha)	Parathion degradado del follaje (g/ha)	Parathion degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	370	0	0	0	0	<0.5	3 PPT	0.0226	372.6922	138.6349	7.5501	51.0981
94/ 6	0	0	0	0	0	<0.5	296 PPT	0.0034	6.6783	90.9892	0.0335	0.8254
94/ 7	0	0	0	0	0	<0.5	949 PPT	0	0	0.7396	0.0335	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0335	0	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0335	0	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0335	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0335	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0335	0	0

Cuadro 12 Destino del Parathion Metilico aplicado a cultivo de alfalfa, en clima normal con riego oportuno

Mes	Parat. aplicado (g/ha)	Parathion en el escudero (g/ha, conc.)		Parathion en las drusas (g/ha, conc.)		Parathion en el sedimento (g/ha)	Parathion degradado del follaje (g/ha)	Parathion degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	370	<0.5	3 PPB	0	0	<0.5	1 PPB	0.0934	59.4630	125.3180	23.9763	29.3061
94/ 6	0	<0.5	566 PPT	0	0	<0.5	73 PPT	0.0066	0	42.0966	0.0995	0.5146
94/ 7	0	0	0	0	0	<0.5	2 PPT	0.0002	0	0.5988	0.0995	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0995	0	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0995	0	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0995	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0995	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0995	0	0

Cuadro 13 Destino del Sevin aplicado a cultivo de frijol, en clima normal con riego tradicional

Mes	Sevin aplicado (g/ha)	Sevin en el escarificamiento (g/ha, conc.)	Sevin en el sembrado (g/ha, conc.)	Sevin en los árboles (g/ha, conc.)	Sevin en el sedimento (g/ha)	Sevin degradado del follaje (g/ha)	Sevin degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	760	0	0	<0.5	14 PPT	1	1 PPB	0	3.6443	615.0366	0.8317	139.4337
94/ 4	0	0	0	<0.5	13 PPT	<0.5	316 PPT	0	0.6675	132.1163	0.0618	7.1080
94/ 5	0	0	0	<0.5	7 PPT	<0.5	27 PPT	0	0	6.4106	0.0618	0.8540
94/ 6	0	0	0	<0.5	5 PPT	<0.5	15 PPT	0	0	0.0643	0.0618	0
94/ 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0

Cuadro 14 Destino del Sevin aplicado a cultivo de frijol, en clima lluvioso con riego tradicional

Mes	Sevin aplicado (g/ha)	Sevin en el escarificamiento (g/ha, conc.)	Sevin en el sembrado (g/ha, conc.)	Sevin en los árboles (g/ha, conc.)	Sevin en el sedimento (g/ha)	Sevin degradado del follaje (g/ha)	Sevin degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	760	0	0	<0.5	14 PPT	1	1 PPB	0	3.6444	615.0361	0.8317	139.4303
94/ 4	0	<0.5	101 PPT	<0.5	13 PPT	<0.5	307 PPT	0	0.4508	132.3461	0.0494	7.1229
94/ 5	0	0	0	<0.5	7 PPT	<0.5	27 PPT	0	0	6.4238	0.0494	0.8558
94/ 6	0	0	0	<0.5	7 PPT	<0.5	13 PPT	0	0	0.0744	0.0494	0
94/ 7	0	0	0	<0.5	4 PPT	0	0	0	0	0	0.0494	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0494	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0494	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0494	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0494	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0494	0

Cuadro 15 Destino del Sevin aplicado a cultivo de frijol, en clima seco con riego tradicional

Mes	Sevin aplicado (g/ha)	Sevin en el escarificamiento (g/ha, conc.)	Sevin en el sembrado (g/ha, conc.)	Sevin en los árboles (g/ha, conc.)	Sevin en el sedimento (g/ha)	Sevin degradado del follaje (g/ha)	Sevin degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	760	0	0	<0.5	14 PPT	1	1 PPB	0	3.6443	615.0366	0.8317	139.4337
94/ 4	0	0	0	<0.5	13 PPT	<0.5	316 PPT	0	0.6675	132.1163	0.0618	7.1080
94/ 5	0	0	0	<0.5	7 PPT	<0.5	27 PPT	0	0	6.4106	0.0618	0.8540
94/ 6	0	0	0	<0.5	5 PPT	<0.5	15 PPT	0	0	0.0643	0.0618	0
94/ 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0618	0

Cuadro 16 Destino del Sevin aplicado a cultivo de frijol, en clima normal con riego oportuno

Mes	Sevin aplicado (g/ha)	Sevin en el escarificamiento (g/ha, conc.)	Sevin en el sembrado (g/ha, conc.)	Sevin en los árboles (g/ha, conc.)	Sevin en el sedimento (g/ha)	Sevin degradado del follaje (g/ha)	Sevin degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo en el fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	760	0	0	0	0	1	12 PPB	0.0083	3.6499	615.1301	0.8330	140.3869
94/ 4	0	<0.5	5 PPB	0	0	<0.5	3 PPB	0.0001	0.5886	133.1602	0.0920	7.2406
94/ 5	0	<0.5	93 PPT	0	0	<0.5	37 PPT	0	0	6.6841	0.0920	0.2755
94/ 6	0	0	0	0	0	<0.5	144 PPT	0	0	0.1828	0.0920	0
94/ 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0920	0
94/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0920	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0920	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0920	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0920	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0920	0

Cuadro 17 Destino del Dimetoato aplicado a cultivo de frijol, en clima normal con riego tradicional

Mes	Dimet. aplicado (g/ha)	Dimetoato en el escarificamiento (g/ha, conc.)	Dimetoato en el acultivo (g/ha, conc.)	Dimetoato en los drenes (g/ha, conc.)	Dimetoato en el sedimento (g/ha)	Dimetoato degradado del follaje (g/ha)	Dimetoato degradado del suelo (g/ha)	residuo en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuo en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 6	380	<0.5	9 PPB	0	<0.5	7 PPB	0.3739	1.0034	357.7937	0.0279	20.5994
94/ 7	0	0	0	0	<0.5	21 PPT	0.0037	0	20.2232	0.0279	0.2335
94/ 8	0	0	0	0	<0.5	4 PPT	0.0002	0	0.1448	0.0279	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0279	0	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0279	0	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0279	0	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0279	0	0

Cuadro 18 Destino del Diazinon aplicado a cultivo de frijol, en clima normal con riego tradicional

Mes	Diaz. aplicado (g/ha)	Diazinon en el escarificamiento (g/ha, conc.)	Diazinon en el acultivo (g/ha, conc.)	Diazinon en los drenes (g/ha, conc.)	Diazinon en el sedimento (g/ha)	Diazinon degradado del follaje (g/ha)	Diazinon degradado del suelo (g/ha)	residuo en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuo en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	237.5	0	<0.5	15 PPT	1	1 PPB	0	1.3113	76.6323	0.0875	158.3195
94/ 4	0	0	<0.5	16 PPT	<0.5	370 PPT	0	0	79.1138	0.0875	79.1369
94/ 5	0	0	<0.5	17 PPT	<0.5	618 PPT	0	0	40.4267	0.0875	38.2681
94/ 6	0	0	<0.5	17 PPT	<0.5	310 PPT	0	0	19.1095	0.0875	19.1109
94/ 7	0	0	0	0	0	0	0	9.7321	0.0875	9.2609	0
94/ 8	0	0	0	0	<0.5	48 PPT	0	0	4.7309	0.0875	4.4305
94/ 9	0	0	<0.5	2 PPT	<0.5	41 PPT	0	0	2.2174	0.0875	2.2094
94/ 10	0	0	0	0	<0.5	19 PPT	0	0	1.0262	0.0875	0.7906
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0.3588	0.0875	0.3333	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0.1351	0.0875	0	0

Cuadro 19 Destino del 2,4-D aplicado a cultivo de sorgo, en clima normal con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarificamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el acultivo (g/ha, conc.)	2,4-D en los drenes (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuo en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuo en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	475	6	314 PPB	0	<0.5	422 PPT	0.4630	0.2771	60.7544	1.0955	405.8477
94/ 6	0	1	38 PPB	0	<0.5	47 PPB	0.0299	0.5901	354.7562	0.0503	50.5991
94/ 7	0	0	0	2	743 PPT	4	5 PPB	0	39.8997	0.0503	5.2661
94/ 8	0	0	<0.5	40 PPT	<0.5	117 PPT	0	0	4.3417	0.0503	0.7969
94/ 9	0	0	<0.5	32 PPT	<0.5	93 PPT	0	0	0.2468	0.0503	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0

Cuadro 20 Destino del 2,4-D aplicado a cultivo de sorgo, en clima lluvioso con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicado (g/ha)	2,4-D en el escarificamiento (g/ha, conc.)	2,4-D en el acultivo (g/ha, conc.)	2,4-D en los drenes (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuo en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuo en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	475	9	224 PPB	0	<0.5	413 PPT	0.3499	0.2771	60.5847	1.0954	403.4831
94/ 6	0	1	31 PPB	0	<0.5	41 PPB	0.0403	0.5900	352.5467	0.0503	50.2481
94/ 7	0	0	0	2	770 PPT	4	5 PPB	0	39.4744	0.0503	5.2097
94/ 8	0	0	0	39 PPT	<0.5	116 PPT	0	0	4.2968	0.0503	0.7882
94/ 9	0	0	0	31 PPT	<0.5	51 PPT	0	0	0.2429	0.0503	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0

Cuadro 21 Destino del 2,4-D aplicado a cultivo de sorgo, en clima seco con riego tradicional

Mes	2,4-D aplicada (g/ha)	2,4-D en el escarificadora (g/ha, conc.)	2,4-D en el sembrado (g/ha, conc.)	2,4-D en los druses (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 5	475	4	438PPB	0	<0.5	415 PPT	0.5201	0.2770	60.9128	1.0953	408.0552	
94/ 6	0	<0.5	49 PPII	0	<0.5	54 PPB	0.0326	0.5900	356.8399	0.0503	50.9318	
94/ 7	0	0	0	2	726 PPT	4	5 PPB	0	0	40.2931	0.0503	5.3181
94/ 8	0	0	0	<0.5	39 PPT	<0.5	116 PPT	0	0	4.3975	0.0503	0.7940
94/ 9	0	0	0	<0.5	32 PPT	<0.5	54 PPT	0	0	0.2453	0.0503	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0503	0

Cuadro 22 Destino del 2,4-D aplicado a cultivo de sorgo, en clima normal con riego oportuno

Mes	2,4-D aplicada (g/ha)	2,4-D en el escarificadora (g/ha, conc.)	2,4-D en el sembrado (g/ha, conc.)	2,4-D en los druses (g/ha, conc.)	2,4-D en el sedimento (g/ha)	2,4-D degradado del follaje (g/ha)	2,4-D degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	475	0	0	0	0	0	0	0.2379	61.2423	1.5489	411.9508
94/ 6	0	0	0	0	0	0	0	1.3951	360.4342	0.1537	51.5166
94/ 7	0	0	0	0	<0.5	29 PPB	0	0.0569	45.4933	0.0969	6.0062
94/ 8	0	0	0	0	<0.5	667 PPT	0.0006	0	5.2753	0.0969	0.6681
94/ 9	0	0	0	0	<0.5	54 PPT	0	0	0.5302	0.0969	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0969	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0969	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0969	0

Cuadro 23 Destino del Parathion Metílico aplicado a cultivo de sorgo, en clima normal con riego tradicional

Mes	Parathion aplicada (g/ha)	Parathion en el escarificadora (g/ha, conc.)	Parathion en el sembrado (g/ha, conc.)	Parathion en los druses (g/ha, conc.)	Parathion en el sedimento (g/ha)	Parathion degradado del follaje (g/ha)	Parathion degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)		
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
94/ 6	380	0	0	0	0	0	0	2.5400	356.8324	0.0614	20.3456
94/ 7	0	0	0	0	<0.5	20 PPT	0	0	20.1700	0.0614	0.2396
94/ 8	0	0	0	0	<0.5	4 PPT	0	0	0.1487	0.0820	0
94/ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0820	0
94/ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0820	0
94/ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0820	0
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0820	0

Cuadro 24 Destino del Gesaprim aplicado a cultivo de sorgo, en clima normal con riego tradicional

Mes	Gesaprim aplicada (g/ha)	Gesaprim en el escarificadora (g/ha, conc.)	Gesaprim en el sembrado (g/ha, conc.)	Gesaprim en los druses (g/ha, conc.)	Gesaprim en el sedimento (g/ha)	Gesaprim degradado del follaje (g/ha)	Gesaprim degradado del suelo (g/ha)	residuos en el follaje al fin de mes (g/ha)	residuos en el suelo al fin de mes (g/ha)			
94/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
94/ 5	930	10	490 PPB	0	0	1	1 PPB	0.8410	1.0169	122.6133	0.0747	814.6652
94/ 6	0	3	169 PPB	0	0	1	181 PPB	0.1448	1.2793	237.7956	0.0747	572.7692
94/ 7	0	0	0	7	3 PPB	24	31 PPB	0	0	163.1871	0.0747	378.9601
94/ 8	0	0	0	6	4 PPB	14	22 PPB	0	0	113.8299	0.0747	245.8039
94/ 9	0	0	0	2	4 PPB	2	13 PPB	0	0	70.8996	0.0747	171.0329
94/ 10	0	0	0	5	4 PPB	1	7 PPB	0	0	51.3445	0.0747	108.4026
94/ 11	0	0	0	1	4 PPB	0	0	0	0	31.2254	0.0747	75.3986
94/ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.6921	0.0747	52.7065