

Modelado espacial a través de un SIG del balance de plaguicidas aplicados en invernadero de cultivos de flor

Spatial modeling through a GIS of the balance of pesticides applied in flower-growing greenhouse

DOI: 10.34188/bjaerv6n1-040

Recebimento dos originais: 20/12/2022

Aceitação para publicação: 02/01/2023

Héctor Martínez Valdés

Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, Centro Interamericano de Recursos del Agua

Institución: Universidad Autónoma del Estado de México/Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

Dirección: carretera Toluca-Ixtlahuaca km 14.5, San Cayetano Morelos C.P. 50120, Toluca, Estado de México, México

Correo electrónico: mavahiq04@yahoo.com.mx

Diana Rocio Villarreal Hernández

Doctora en Ciencias del Agua por la Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, Centro Interamericano de Recursos del Agua

Institución: Universidades para el Bienestar Benito Juárez García/ Sede Villa de Allende

Dirección: Álvaro Obregón s/n casi esquina Acercamiento Nacional Centro, San José Villa de Allende C.P. 51000, Villa de Allende, Estado de México, México

Correo electrónico: dianasmile_villarreal@hotmail.com

Carlos Díaz Delgado

Doctor en Ingeniería Civil por la Université Laval, Quebec, Canadá

Institución: Universidad Autónoma del Estado de México/Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

Dirección: carretera Toluca-Ixtlahuaca km 14.5, San Cayetano Morelos C.P. 50120, Toluca, Estado de México, México

Correo electrónico: cdiazd@uaemex.mx

Miguel Angel Gómez Albores

Doctor en Ciencias del Agua por la Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

Institución: Universidad Autónoma del Estado de México/Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

Dirección: carretera Toluca-Ixtlahuaca km 14.5, San Cayetano Morelos C.P. 50120, Toluca, Estado de México, México

Correo electrónico: magomez@uaemex.mx

Carlos Alberto Mastachi Loza

Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Querétaro, México

Institución: Universidad Autónoma del Estado de México/Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

Dirección: carretera Toluca-Ixtlahuaca km 14.5, San Cayetano Morelos C.P. 50120, Toluca, Estado de México, México

Correo electrónico: camastachil@uaemex.mx

RESUMEN

Conservar el agua limpia en el ambiente, garantiza disponer de ecosistemas aptos para la flora, fauna y los seres humanos, además de que, el agua dulce continental es la principal fuente de suministro de agua potable, de ahí la importancia de proteger este recurso de la contaminación. En cuanto a la contaminación por plaguicidas al ambiente, es bien sabido que su destino ambiental depende en gran parte de sus propiedades físicoquímicas, así como de las condiciones ambientales del lugar de donde se aplican, que al final son los dos factores primordiales que determinan el grado de su retención, degradación o movilidad a través del suelo, que tan soluble es en el agua y volátil para ser transportado por el aire. Por mencionar un ejemplo al respecto, el parámetro de vida media de un plaguicida puede ser una medida útil de cuánto tiempo puede permanecer este en el medio aplicado, sin embargo, estudios realizados han encontrado una amplia variedad de valores de vidas medias para el mismo plaguicida bajo diferentes condiciones ambientales. Por otro lado, el creciente desarrollo en años recientes de los softwares en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su uso frecuente para el procesamiento de información espacial y temporal, en las diferentes disciplinas de la investigación, aquí es empleado. En base a lo anteriormente expuesto, la presente investigación tuvo como objetivo establecer un balance de plaguicidas en la superficie del suelo de un invernadero de cultivo de flor de forma espacial a través del software de SIG TerrSet aplicando modelos matemáticos, cuyas variables de retroalimentación fueron obtenidas experimentalmente en campo y de bibliografía, para realizar estimaciones del destino ambiental de los plaguicidas aplicados a nivel de invernadero. La zona de aplicación del estudio, se realizó en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México, México.

Palabras clave: ambiente, agua, contaminación, plaguicidas, SIG, modelación hidroneumática

ABSTRACT

Keeping clean water in the environment, assure ecosystems suitable for flora, fauna and humans, besides that, fresh continental water is the main source of drinking water supply, hence the importance of protecting this contamination resource. As far as pesticide pollution to the environment is concerned, it is well known that its environmental fate depends largely on its physical and chemical properties, as well as the environmental conditions of the place from which they are applied, which in the end are the two primary factors that determine the degree of retention, degradation or mobility through the soil, which so soluble is in water and volatile to be transported by air. As an example, the half-life parameter of a pesticide may be a useful measure of how long it can remain in the applied medium, however, studies have found a wide variety of half-lives for the same pesticide under different environmental conditions. On the other hand, the growing development in recent years of software in Geographic Information Systems (GIS) and its frequent use for the processing of spatial and temporal information, in the different disciplines of research, is used here. Based on the above, the present research aimed to establish a balance of pesticides on the soil surface of a flower-growing greenhouse in a spatial way through the TerrSet SIG software applying mathematical models, whose feedback variables were obtained experimentally in the field and bibliography, to make estimates of the environmental fate of pesticides applied at greenhouse level. The application area of the study was carried out in the municipio de Villa Guerrero, Estado de México, México.

Keywords: environment, water, pollution, pesticides, GIS, hydrogeomatic modeling

1 INTRODUCCIÓN

Con el transcurso de los años, el crecimiento demográfico de la población a nivel mundial ha ido en aumento llegando a una cifra aproximada de 8,000 millones hasta noviembre del 2022 (ONU, 2022), esto ha generado a la par una enorme presión sobre los recursos naturales y una gran demanda en los productos de origen agrícola como: alimentos y ornamentales, por mencionar algunos. Para satisfacer la alta demanda de estos productos agrícolas, a lo largo de la historia, el ser humano ha recurrido a aplicar productos químicos (plaguicidas) para eliminar agentes nocivos que inhiben y mitigan el desarrollo adecuado de los cultivos y así, poder incrementar la producción que satisfaga de manera temporal la demanda requerida por la población.

Se ha identificado por medio de trabajos en laboratorio y campo que, los productos más recurrentes a ser empleados en los cultivos para eliminar plagas y malezas son: herbicidas, insecticidas, fungicidas y desinfectantes (Villarreal, 2018). La cantidad empleada y las veces de aplicación de éstos, siempre dependen en gran medida del tipo de cultivo. Los plaguicidas han sido hasta la actualidad, uno de los elementos principales del crecimiento de los sistemas de producción agrícolas. Sin embargo, desde hace años, el incremento de su uso ha dado origen a una creciente preocupación para algún sector de la población (Educativas) sobre el efecto que ocasionan éstos en el ambiente, ya que se han identificado residuos de plaguicidas en los componentes ambientales (aire, agua y suelo) en diversas regiones geográficas del mundo, incluyendo lugares muy remotos al sitio original de su aplicación o liberación (Gevao y Jones, 2002). Situación que ha originado que sean considerados como uno de los constituyentes principales de fuente de contaminación no puntual del agua subterránea debido a la lixiviación tanto desde suelos de áreas agrícolas como de los no cultivados y habiendo sido ampliamente detectados en el mundo, tanto en agua superficial como subterránea (Jesssen *et al.*, 2012; Larsen *et al.*, 2013).

La forma de propagación del destino de los plaguicidas en el ambiente constituyen un proceso muy complejo que se ven influenciados debido a sus propiedades fisicoquímicas, las prácticas de aplicación, uso y manejo, las condiciones climáticas, las propiedades del suelo y del agua (Spadotto *et al.*, 2002). Por consiguiente, la parte de plaguicida lixiviado que podría llegar al agua subterránea dependerá del tiempo de flujo a través de la zona no saturada (ZNS) y de las propiedades fisicoquímicas de los suelos para retener, retardar o atenuar el movimiento de los plaguicidas (Sanderson y Lowe, 2002). El grado de lixiviación de un elemento químico puede determinarse directamente (a través de análisis de muestras en el laboratorio) o estimarse indirectamente mediante el uso de modelos matemáticos implementados en algún software (Oliveira *et al.*, 2001). Con el transcurso del tiempo algunos investigadores se han dado y, continúan la tarea de desarrollar y mejorar dichos modelos.

Por ejemplo, Rao *et al.* (1985) desarrollaron un modelo para estimar el grado de contaminación del agua subterránea basados en el riesgo de lixiviación de los plaguicidas a través del perfil del suelo. Método que consistió en establecer la determinación de dos índices: factor de atenuación (AF) y de retardo (RF), que consideran las propiedades del suelo (densidad aparente, contenido de carbono orgánico, contenido de humedad y capacidad de campo), características hidrológicas y climáticas del lugar de estudio (profundidad del perfil, recarga neta de agua subterránea) y propiedades de los plaguicidas en estudio (tiempo de vida media y el coeficiente de partición del carbono orgánico). Determinando los índices AF y RF, se puede estimar el posible riesgo potencial de lixiviación de algún plaguicida hacia el agua subterránea y así, poder establecer un cuadro de peligrosidad de los mismos (Bernard *et al.*, 2005).

Por otro lado, el creciente desarrollo en años recientes de los softwares en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su uso frecuente para el procesamiento de información espacial y temporal, hacen posible su empleo cada vez más en las diferentes disciplinas de la investigación a nivel global ahora. En América Latina, suele emplearse con muy poca frecuencia los índices AF y RF. Sin embargo, los modelos implementados en algún software de SIG y los métodos establecidos a través de ecuaciones matemáticas, con objeto de poder estudiar a 26 plaguicidas de los más frecuentemente usados en las actividades agrícolas son de los más empleados, para así, poder determinar la vulnerabilidad del agua subterránea constituyentes de los mantos freáticos. A diferencia de otros métodos, que se basan solamente en las características fisicoquímicas de los plaguicidas, algunos índices RF y AF, los modelos implementados en SIG y métodos matemáticos, también toman en cuenta las características del medio (propiedades del suelo, las prácticas agrícolas y las condiciones climáticas e hidrológicas), por lo que sus resultados dependerán del lugar donde se apliquen. Particularidad que hace posible la generación de imágenes que permiten visualizar las áreas de mayor riesgo de contaminación potencial de la zona de estudio (CRI, 2017).

Ubicación geográfica y características climatológicas de la zona de estudio

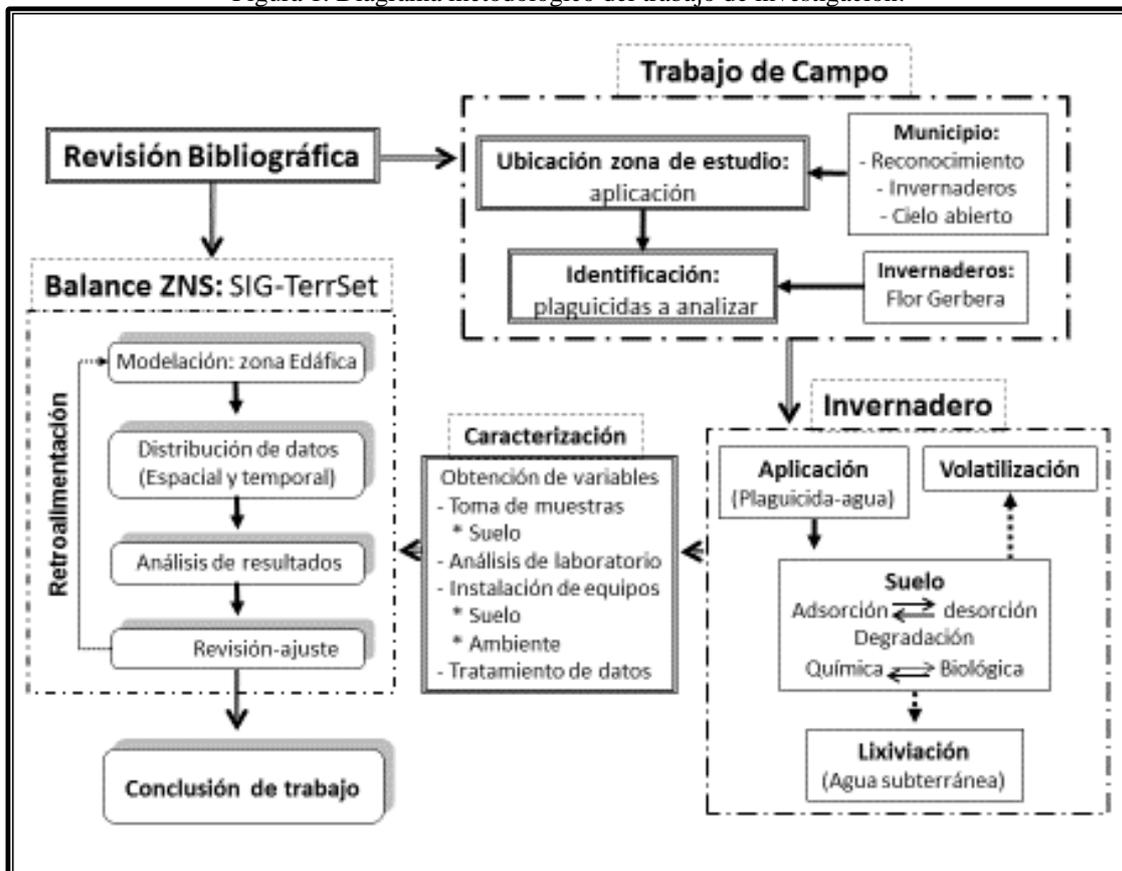
La zona de estudio se localiza en San Mateo Coapexco, población perteneciente al municipio de Villa Guerrero ubicado en la región sur del Estado de México, México. Se encuentra entre los paralelos 18° 49' y 19° 03' de latitud norte; los meridianos 99° 36' y 99° 45' de longitud oeste, con una altitud de entre 1,400 y 3,800 metros sobre el nivel del mar (msnm). Ocupa el 0.94% de la superficie del Estado. Cuenta con 5 pueblos y 35 rancherías y una población de 59,991 habitantes según el censo de población y vivienda 2010 (INEGI, 2010).

El clima predominante en el municipio de Villa Guerrero es de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano y una humedad de 80.42%, semicálido subhúmedo con lluvias en verano y una humedad media (10.73%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano con una humedad de 8.85%. En la zona se presenta una precipitación pluvial anual de entre 1,000 y 1,500 mm y una temperatura media anual que oscila entre 6 y 22 °C (INEGI, 2009). Según datos de INEGI (2009), la zona está conformada principalmente por los siguientes tipos de suelo: Andosol (37.35%), Vertisol (20.39%), Cambisol (15.44%), Feozem (7.97%), Regosol (6.43%), Luvisol (6.3%) y Leptosol (2.31%). Basados en información obtenida de INEGI (2009), la geología presente en la zona está conformada por los siguientes tipos de rocas: sedimentaria: arenisca-conglomerado (39.5%), brecha sedimentaria (27.65%) y caliza (0.01%). Ígnea extrusiva: andesita (13.09%), volcanoclástico (5.3%), toba ácida (4.86%) y basalto (1.45%). Metamórfica: metasedimentaria (2.67%). Suelo: aluvial (1.66%).

2 METODOLOGÍA

Con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo planteado en la investigación se realizaron diferentes etapas que se muestran en el diagrama metodológico general de la figura 1.

Figura 1. Diagrama metodológico del trabajo de investigación.



Principales procesos de movilidad de plaguicidas en la ZNS

Se determinó esta zona de estudio porque: es la primera barrera a la que se enfrentan los contaminantes antes de dirigirse hacia zonas más profundas del suelo hasta alcanzar los acuíferos (agua subterránea). Además, por ser la zona más activa en retención, degradación (transformación) y de movilidad de estos. La profundidad determinada para el estudio se debe al alcance radicular de la planta de Gerbera, que es de alrededor de los 60 cm. El trabajo se realizó en la ZNS debido a que, el estudio de movilidad de los plaguicidas se ubicó específicamente en la zona edáfica (ZE), partiendo de la capa superficial del suelo, que para cuestiones del análisis se subdividió en capas. Donde, se le llamó capa 1 a la que va de 0 a 5 cm de profundidad, las siguientes capas fueron a 10, 15, 30 y 60 cm (capas 2, 3, 4 y 5 respectivamente) posteriores a la capa 1.

Balance de plaguicidas en el suelo

Describir a través de dos modelos dinámicos: hídrico y químico, es necesario para ejemplificar la movilidad de los plaguicidas en el suelo y de los parámetros que intervienen durante el proceso, explicando de forma separada y simplificada como es que se da cada uno de ellos, aunque bien se sabe que, estos procesos se dan de forma paralela en la realidad. Sin embargo, la forma de cuantificar la movilidad de los plaguicidas en la ZE, es a través de la aplicación de un balance de estos después de ser empleados en un cultivo. Las ecuaciones 1 y 2 representan una forma de cálculo del balance de plaguicidas en las distintas capas del suelo (Caballero, 1986):

Para la capa 1 (superficie del suelo):

$$C(t) = C(t-1) + C_X(t) - C_d(t) - C_v(t) - C_a(t) - R_s(t) \quad (1)$$

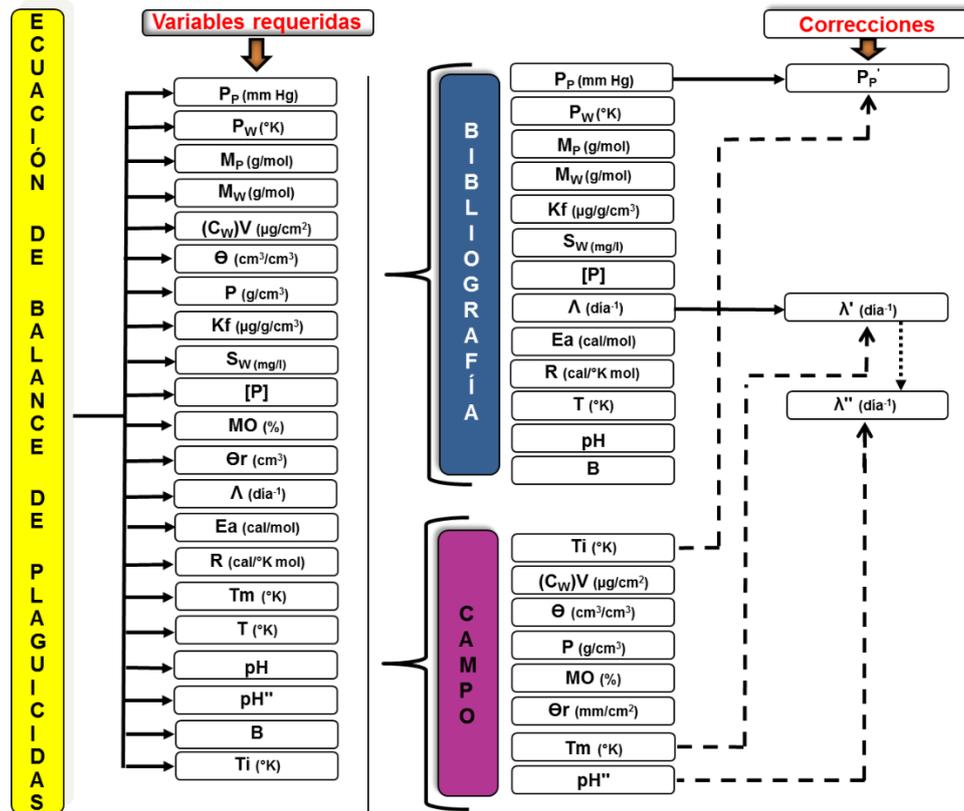
Para las capas subsecuentes (2 a 5) a través de la ecuación 2:

$$C(t) = C(t-1) + C_X(t) - C_d(t) - C_a(t) - R_s(t) \quad (2)$$

Dónde: $C(t)$ = Concentración total de plaguicida en la capa el día t ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$). $C(t-1)$ = Concentración de plaguicida en el suelo antes de otra aplicación el día t ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$). $C_X(t)$ = Cantidad de plaguicida agregado el día t ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$). $C_d(t)$ = Cantidad de plaguicida degradado el día t ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$). $C_v(t)$ = Cantidad de plaguicida volatilizado el día t (capa 1) ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$). $C_a(t)$ = Cantidad de plaguicida adsorbido por el suelo el día t ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$). $R_s(t)$ = Cantidad de plaguicida disuelto perdido por infiltración (lixiviado) ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$).

Con base en el modelo descrito anteriormente, se efectuó el balance de plaguicidas en la ZE, debido a que integra los principales procesos que tienen lugar en el suelo de aplicación de plaguicidas: retención, volatilización, transporte por percolación y degradación del producto. Además, de los parámetros fisicoquímicos requeridos en cada uno de estos procesos. Las variables requeridas para el modelado permitieron hacer una clasificación de las que serían obtenidas a través de revisión bibliográfica y cuales a través del trabajo de campo (Figura 2).

Figura 2. Variables requeridas para la movilidad de los plaguicidas en la ZNS.



Modelación hidroegeomática de plaguicidas en la ZE

Una vez obtenidos los datos de la bibliografía y la corrección realizada pertinente de los datos que así lo requirieron. Además de la información analizada y obtenida de la zona de estudio a través de los equipos instalados y de los obtenidos por los análisis de laboratorio, se generó la modelación hidroegeomática del balance de plaguicidas en la ZE de la ZNS. El plaguicida a modelar fue el endosulfán.

En la realización del balance en la capa 1, que corresponde a la capa superficial del suelo que va de 0 a los 5 cm de profundidad de la ZE, se aplicó la ecuación 1. Para ello fue necesario en un principio, ir transformando a cada una de las variables que integran la ecuación en imágenes de forma espacial y temporal, a través del software de SIG TerrSet (Eastman, 2015). Todo lo anterior se hizo con el fin de poder generar y representar la modelación en forma de macromodelos.

La generación de la imagen espacial y temporal de la concentración de plaguicida ($C(t-1) = C(i)E1$) que había en el suelo antes de realizarse otra aplicación de éste al cultivo el día t ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$), se realizó a través de la liga de la imagen de la zona de estudio con el valor de la concentración de plaguicida en la capa (Figura 3). Dónde t es igual a 1. Este proceso se repitió en la generación de cada una de las variables empleadas en las macromodelos generados del estudio.

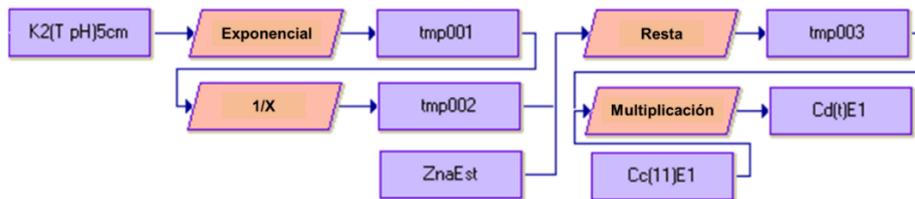
Figura 3. Macromodelo de generación de $C(i)E1$.



Plaguicida degradado

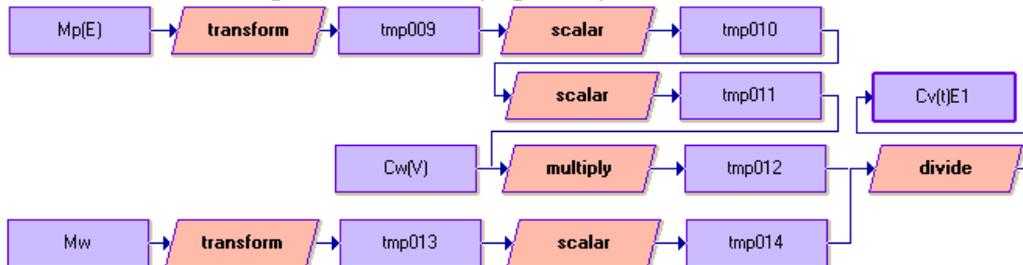
Antes de calcular el plaguicida degradado se realizó primero la corrección de la constante de velocidad de degradación de éste por temperatura y pH. Así, el macromodelo de cálculo de la cantidad de plaguicida degradado fue:

Figura 4. Cálculo del plaguicida degradado.



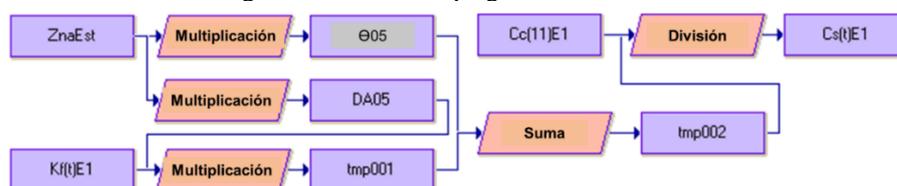
El plaguicida volatilizado se calculó como:

Figura 5. Pérdida del plaguicida por volatilización.

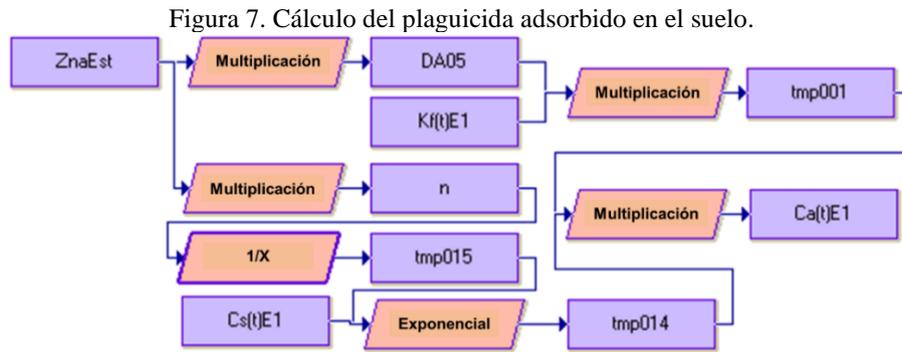


La concentración de plaguicida en solución por medio de:

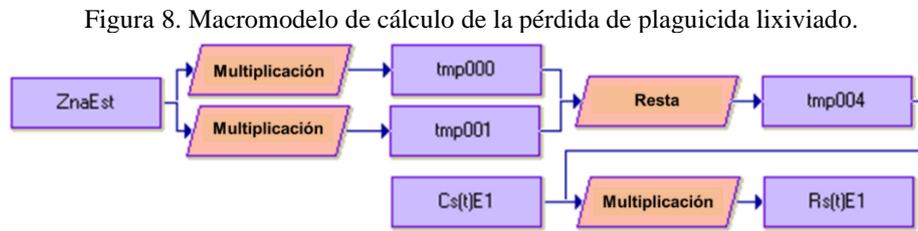
Figura 6. Cálculo del plaguicida en solución.



Mientras que, el plaguicida adsorbido en el suelo se calculó a través de:

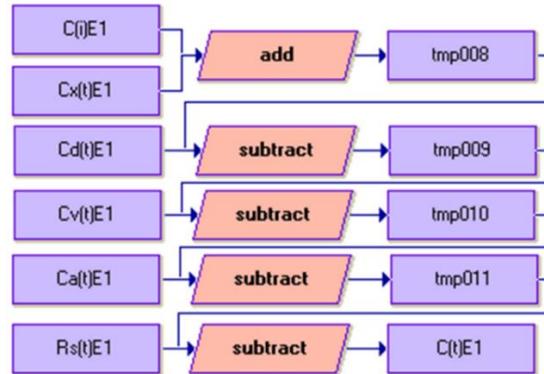


Por otro lado, la cantidad de plaguicida lixiviado se calculó como:



Y el balance del plaguicida en la capa 1 del suelo en base a la ecuación 1 es:

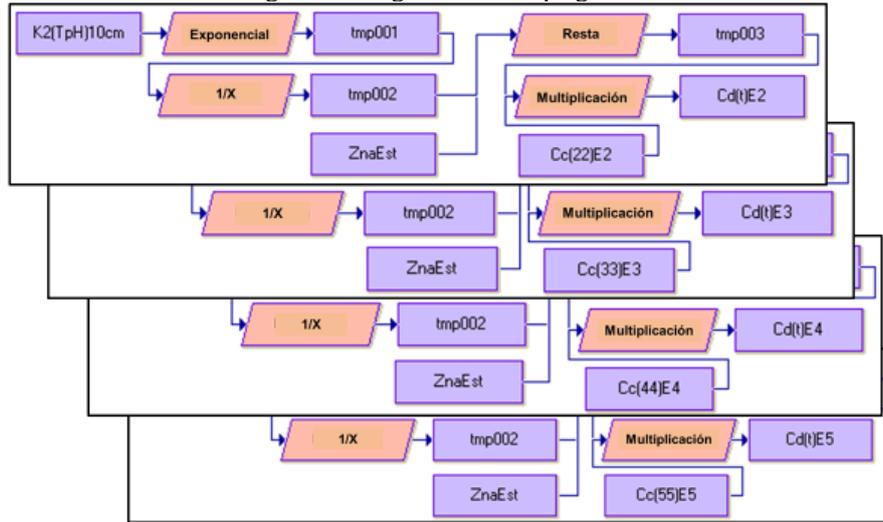
Figura 9. Balance del plaguicida en la capa 1 del suelo.



Balance del plaguicida en las capas subsecuentes del suelo con base a la ecuación 2

Como las ecuaciones de la modelación de las siguientes capas del suelo (2 a 5) tienen las mismas variables de cálculo, los macromodelos de cada una de ellos se muestran agrupados en las siguientes figuras. Esto se hizo con el fin de no repetir cada etapa en cada una de las capas. Para la cantidad de plaguicida degradado en cada una de las capas:

Figura 10. Degradación del plaguicida.



En la concentración de plaguicida en solución que se encuentra disuelto en cada una de las capas del suelo.

Figura 11. Concentración del plaguicida disuelto en solución en el suelo.

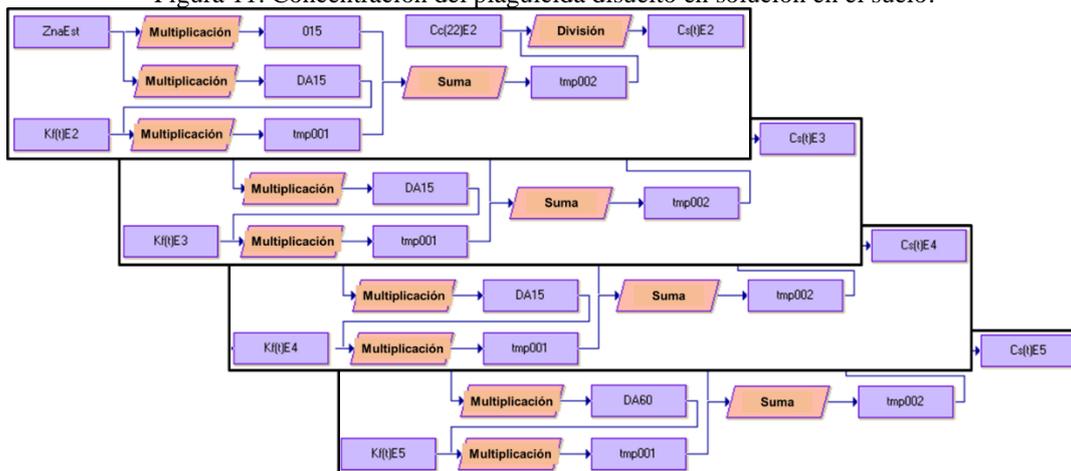
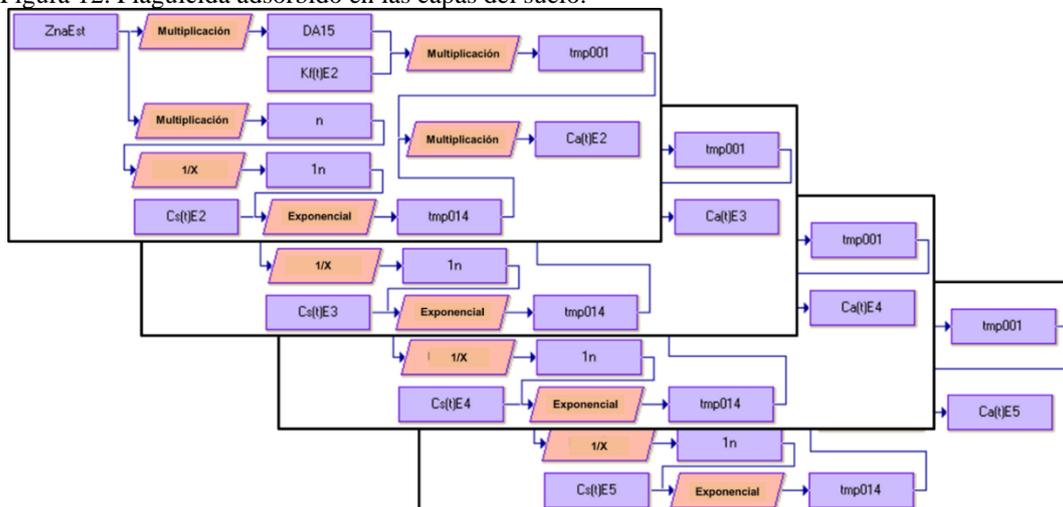
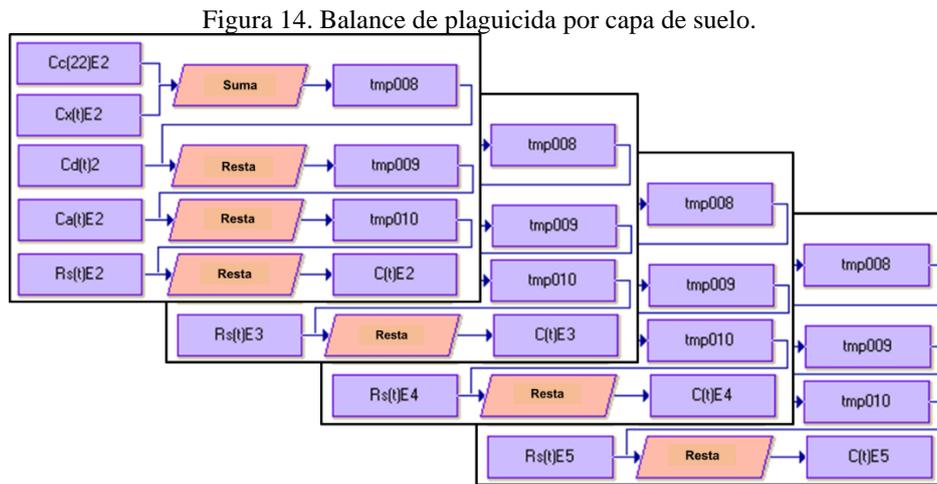
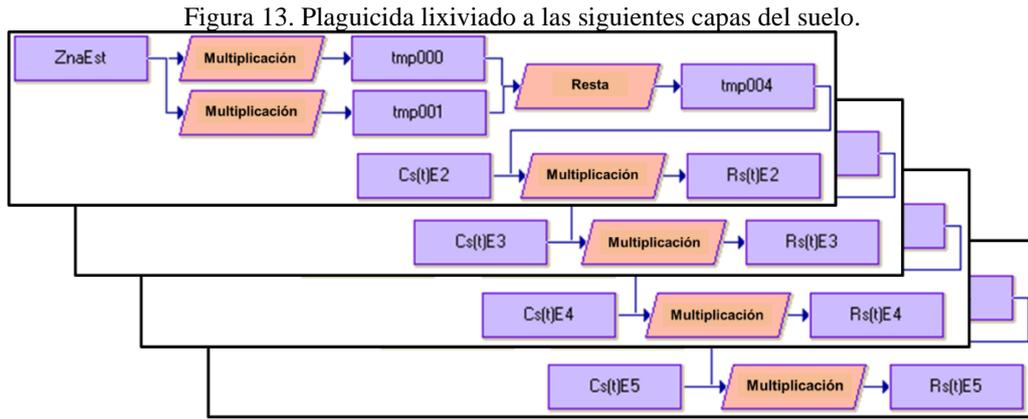


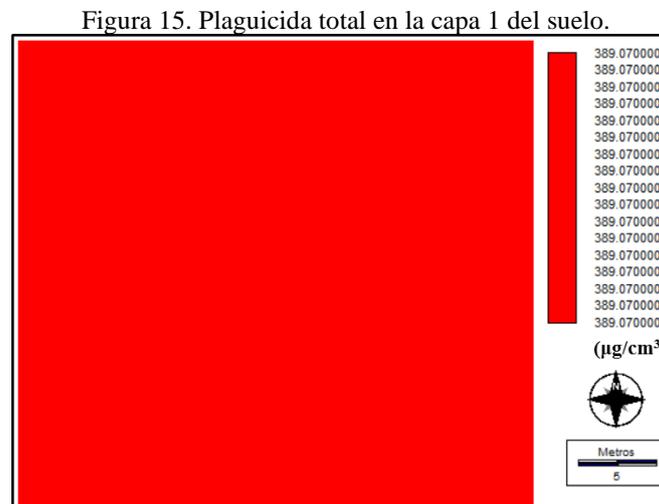
Figura 12. Plaguicida adsorbido en las capas del suelo.





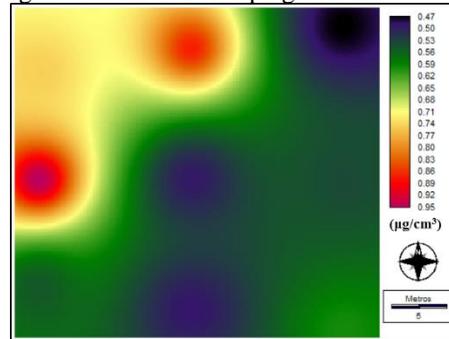
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad total de plaguicida dispuesta en la capa 1 del suelo en el día $t = 1$, es la que se muestra en la figura 15 distribuida espacialmente en el área de cultivo de flor Gerbera en invernadero. Se consideró como plaguicida total la suma de: el agregado el día experimental ($378 \mu\text{g}/\text{cm}^3$) y del que había ya en el suelo ($11.07 \mu\text{g}/\text{cm}^3$).



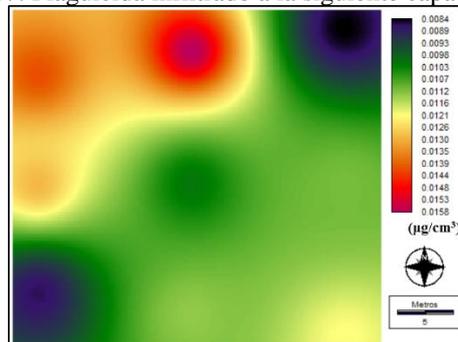
Como resultado del balance en la primera capa, se estimó que la cantidad de plaguicida que llega a infiltrarse ($R_s(t)E_1$) a la siguiente capa (capa 2) es la que se muestra en la siguiente figura. En promedio fue de $0.606 \mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Figura 16. Cantidad de plaguicida infiltrado.



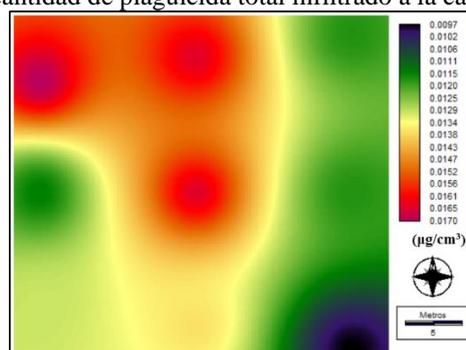
En la capa 2, al inicio la cantidad total de plaguicida se estimó de $8.052 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. Y la cantidad de plaguicida infiltrada a la capa 3 se observa en la figura siguiente. En promedio representa un $0.011 \mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Figura 17. Plaguicida infiltrado a la siguiente capa del suelo.



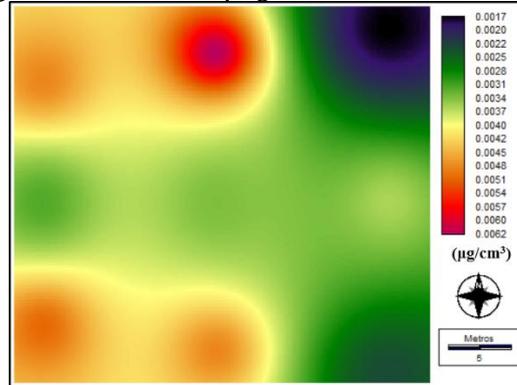
La infiltración estimada de plaguicida a la capa 4 del suelo, se estimó que en promedio es de $0.014 \mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Figura 18. Cantidad de plaguicida total infiltrado a la capa 4 del suelo.



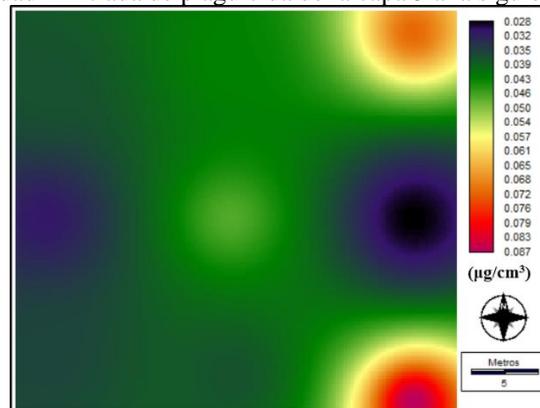
Mientras que, en la capa 4 al inicio la cantidad total de plaguicida se estimó de $4.600 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. Y la cantidad de plaguicida infiltrada a la capa 5 en promedio representó un $0.004 \mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Figura 19. Cantidad de plaguicida infiltrado a la capa 5.



Por último, en la capa 5 al inicio la cantidad total de plaguicida fue de $4.500 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, del cual en promedio se estimó que se infiltraron a la capa siguiente $0.041 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de plaguicida. Cabe mencionar que, aquí como capa siguiente se considera a la que se encuentra por debajo de los 60 cm de profundidad.

Figura 20. Cantidad infiltrada de plaguicida de la capa 5 a la siguiente capa del suelo.



Como se puede observar, se muestran únicamente como resultados del balance de plaguicidas de cada una de las capas del suelo analizadas (Tablas 1 y 2), enfatizando en la infiltración estimada. Esto se hizo con el fin de ir cuantificando la cantidad de plaguicida que se infiltra a la capa siguiente del suelo, para poder darle un seguimiento al proceso y su posible alcance a los mantos acuíferos y así, provocar su contaminación por estos.

Tabla 1. Balance de plaguicidas en la capa 1 del suelo.

Variable	Concentración ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	%
Cc(11)E1	389.070	100
Cd(t)E1	0.452	0.116
Cv(t)E1	1.683	0.432
Ca(t)E1	372.946	95.855
Rs(t)E1	0.606	0.155
C(t)E1	13.383	3.439

Tabla2. Plaguicida infiltrado en cada una de las capas de la ZE de análisis.

Variable	Concentración ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	%
Cc(11)E1	389.070	100
Rs(t)E1	0.606	0.155
Cc(22)E2	8.052	100
Rs(t)E2	0.011	0.136
Cc(33)E3	9.080	100
Rs(t)E3	0.014	0.154
Cc(44)E4	5.204	100
Rs(t)E4	0.004	0.076
Cc(55)E5	41.864	100
Rs(t)E5	0.041	0.097

4 CONCLUSIONES

La recopilación de la información en el área de estudio, se hizo a través de recorridos exploratorios y visitas a invernaderos que se encuentran dispersos en el municipio de Villa Guerrero, lo que permitió que se contactarán y se entrevistarán a cuatro de los propietarios de invernaderos en los que se producen la flor Gerbera, en las comunidades de Zacango y San Mateo Coapexco, pertenecientes al municipio de Villa Guerrero, Estado de México, México.

En el análisis para identificar, clasificar y seleccionar los plaguicidas que aplican en los invernaderos y el modelado del balance, se consideraron los siguientes factores: peligrosidad, propiedades fisicoquímicas, persistencia y la repetitividad de aplicación. También se decidió que el invernadero donde se realizaría la aplicación de estudio sería el que se ubica en la comunidad de San Mateo Coapexco.

Se identificaron las ecuaciones a emplear para llevar a cabo la modelación hidrogeomática, del balance de plaguicidas en la Zona Edáfica, así como la determinación de las variables requeridas de entrada de estas, para ello, se emplearon variables derivadas tanto de la bibliografía como de

campo, lo que permitió desarrollar los macromodelos para poder determinar el balance de los plaguicidas (Endosulfán).

REFERENCIAS

- Bernard, H.; Chabalier, P.F.; Chopart, J.L.; Legube, B.; Vauclin, M. (2005). Assessment of herbicide leaching risk in two tropical soils of Reunion Island (France). *Journal Environmental Quality* 34: 534-543.
- Caballero, García de Vinuesa. Juan Ignacio (1986). Principales parámetros para el estudio del comportamiento de los plaguicidas. *Bol. San. Veg., Plagas*, 12: 103-114.
- Centro de Recursos Idrisi (2017). Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Facultad de Ingeniería de la UAEMex. México). <http://idrisi.uaemex.mx/>, idrisi.mexico@gmail.com.
- Eastman J. R. (2015). IDRISI TerrSet. Guide to GIS and Image Processing. Manual Versión 16.00 Clark Labs, Clark University. USA. pdf 328
- Gevao B. and K.C. Jones (2002). Pesticides and Persistent Organic Pollutants. En: P.M. Haygarth y S.C. Jarvis (Eds.). *Agriculture, Hidrology and Water Quality*. CAB International.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Villa Guerrero, México. Clave geoestadística 15113. 2009.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Censo de Población y vivienda 2010.
- Jessen, Rasmussen, J.; Peter Wiberg-Larsen; Annette Baattrup-Pedersen; Rikke Juul Monberg and Brian Kronvang (2012). Impacts of pesticides and natural stressors on leaf litter decomposition in agricultural streams. *Science of The Total Environment*, Volume 416, 1 February 2012, Pages 148-155.
- Larsen, M.C.; Hamilton, P.A.; Werkheiser, W.H. (2013). Water quality status and trends in the United States. En: Ahuja, S. (Ed.) *Monitoring Water Quality*, Elsevier, NC, EE. UU., p. 19-57.
- Oliveira Jr., R.S.; Koskinen, W.C. and Ferreira, F.A. (2001). Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. *Weed Research* 41: 97-110.
- Organización de las Naciones Unidas (2022). ONU confirma que la población mundial pasó de 8,000 millones de personas, 15 de noviembre de 2022. www.un.org/es/.
- Roa, P.S.C.; Hornsby, A.G. and Jessup, R.E. (1985). Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. *Proc. Soil Crop. Sci. Soc. Fla.*, 44, pp. 1-8.
- Sanderson, I.D. and Lowe, M. (2002). Ground-Water sensitivity and vulnerability to pesticides, Cache Valley, Cache County, Utah. Miscellaneous publication 02-8. Utah Geological Survey, Salt Lake City UT.
- Spadotto, C. A.; Gómez, M.A.F. and Hornsby, A.G. (2002). Pesticide leaching potential assessment in multilayered soils. *Pesticides, R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, Curitiba 12: 1-12.
- Villarreal, H. D.R. (2018). Movilidad de plaguicidas en la zona radicular del cultivo de *Gerbera Jamesonii* en invernadero: modelación geomática. Tesis, UAEMéx, 11 mayo 2018.