

6. EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUIFEROS A LA CONTAMINACION POR PLAGUICIDAS

6.1. Vulnerabilidad a la contaminación

6.2. Evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por plaguicidas. Sistema criptas

6.2.1. Factores CRIPTAS

6.2.2. Patrones de cuantificación de los factores criptas

6. EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUIFEROS A LA CONTAMINACION POR PLAGUICIDAS

6.1. VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION

La vulnerabilidad o susceptibilidad de un acuífero a la contaminación indica el riesgo previsible de alteración de la calidad natural del agua subterránea como consecuencia de actividades y/o instalaciones generadoras de sustancias y agentes contaminantes.

Generalmente los contaminantes se introducen hacia las aguas subterráneas por tres vías:

- a) Vertido de líquidos o productos solubles en agua en la superficie del terreno.
- b) Enterramiento de sustancias en el suelo, por encima del nivel freático.
- c) Emplazamiento o inyección en el suelo por debajo del nivel freático.

Los productos contaminantes se mueven desde la superficie a través del suelo, la zona no saturada, y pueden alcanzar el acuífero. El movimiento de los contaminantes en el agua subterránea depende de sus características físico-químicas y generalmente son transportados por aquellos en la dirección del flujo.

Durante el transporte las sustancias contaminantes pueden sufrir procesos de atenuación que reducen tanto la velocidad de movimiento como su poder contaminante (dilución, dispersión, filtración, precipitación, sorción, intercambio iónico, asimilación biológica, oxidación-reducción, neutralización, etc.).

El grado de atenuación de la contaminación depende de varios aspectos:

- * Tiempo de contacto del contaminante con los materiales que atraviesa.
- * Tamaño de grano y características físico-químicas de los materiales atravesados, tanto de la zona no saturada como del acuífero.
- * Distancia recorrida por los contaminantes.
- * Condiciones hidrogeológicas del área.

En general, los factores que controlan la contaminación potencial de las aguas subterráneas son:

- Cantidad de vertidos.
- Características de los contaminantes.
- Características físicas del medio receptor.

6.2. EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUIFEROS A LA CONTAMINACION POR PLAGUICIDAS. SISTEMA CRIPTAS

La contaminación de un acuífero por plaguicidas depende de un gran número de factores que incluyen, tanto las características del producto como las del acuífero. El comportamiento, transporte y destino final de los plaguicidas en y hacia las aguas subterráneas depende de factores de tipo físico, químico y biológico.

Entre las características del plaguicida que es preciso tener en cuenta, se incluyen su solubilidad en agua, punto de fusión, presión de vapor, constante de Henry, coeficiente de partición agua/octanol, coeficiente de sorción y vida media de degradación, mientras que la información específica del medio acuífero que se requiere incluye datos climatológicos (lluvias, evapotranspiración, temperatura y radiación), irrigación, cultivos, distribución de plaguicidas, características de los perfiles del suelo (profundidad del nivel del agua, porosidad total, contenido volumétrico de agua, densidad, contenido en arcillas y carbono orgánico y recarga neta del acuífero). Por último, se requieren datos relacionados con los cultivos y aprovechamiento del suelo, como profundidad de la zona radicular.

Debido a que no es práctico ni tampoco posible obtener una evaluación cuantitativa de todos los mecanismos citados anteriormente y que influyen en mayor o menor grado en la contaminación por plaguicidas de las aguas subterráneas, es preciso fijar unos factores más generales que engloben a varios de estos procesos.

Por ello se ha seleccionado un sistema estándar para evaluar la contaminación potencial mediante la utilización de criterios hidrogeológico, elaborado por EPA (USA), denominado DRASTIC. Este sistema fue adaptado para su utilización en los procesos agrícolas y en concreto en la contaminación por plaguicidas.

La consideración de la importancia relativa del amplio rango de datos influyentes puso de manifiesto que los factores más relevantes que controlan la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por plaguicidas son:

- Conductividad hidráulica del acuífero (C).
- Recarga neta del acuífero (R).
- Impacto de la zona no saturada (I).
- Profundidad del nivel del agua (P).
- Topografía (pendiente) (T).
- Roca del acuífero (A).
- Tipo de suelo (S).

Las iniciales de estos términos agrupadas dan lugar a las siglas CRIPTAS, con las que se denomina al índice global de impacto utilizado para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos españoles a la contaminación por plaguicidas.

6.2.1. Factores CRIPTAS

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DEL ACUIFERO (C): Se refiere a la capacidad de los materiales del acuífero para transmitir agua, lo que a su vez controla la velocidad a la que fluye el agua, bajo la acción de un gradiente hidráulico. En general, conductividades elevadas están asociadas a una vulnerabilidad alta, debido a que el contaminante se puede mover más fácilmente de un punto a otro una vez que ha sido introducido en el acuífero.

RECARGA NETA (R): Indica la cantidad de agua por unidad de área que penetra en el interior de la tierra y alcanza el nivel freático, considerando tanto el agua de lluvia como la procedente del riego. El agua de recarga arrastra contaminantes en su camino y, por lo tanto, cuanto mayor sea aquella, mayor será la cantidad de posibles contaminantes hacia el acuífero, hasta que el volumen de agua de recarga es suficientemente grande como para provocar la dilución del contaminante.

Este factor controla la cantidad de agua disponible para la dispersión y dilución de contaminantes en las zonas saturada y no saturada.

IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA (I): La zona no saturada es aquella que se encuentra por encima de la superficie del agua subterránea y por debajo del nivel del suelo propiamente dicho. Esta definición se puede aplicar tanto a los acuíferos libres como a los confinados. Sin embargo, cuando se evalúa un acuífero confinado, el "impacto" de la zona no saturada se debe extender tanto a la zona no saturada propiamente dicha como a cualquier otra zona saturada de agua y que se encuentre en la parte superior del acuífero en cuestión.

El tipo de zona no saturada determina las características que van a condicionar la atenuación de los contaminantes en el espacio comprendido entre el suelo y el nivel freático. En esta zona pueden ocurrir procesos tales como biodegradación, neutralización, filtración mecánica, reacción química y dispersión; la biodegradación y volatilización disminuyen al aumentar la profundidad. El espesor de esta zona también controla el tiempo disponible para la atenuación del contaminante.

PROFUNDIDAD DEL AGUA (P): El nivel del agua subterránea, nivel pizométrico o freático, marca la profundidad por debajo del suelo, a partir de la cual todos los espacios porosos están completamente llenos de agua. Por encima de este nivel, los poros están llenos de aire y agua. Este nivel puede presentarse en cualquier tipo de estructura o medio y puede ser permanente o temporal.

Este concepto de profundidad del nivel freático se refiere a la profundidad a la que se encuentra la superficie del agua en un acuífero libre, o al techo de un acuífero confinado, y no incluye aquellas zonas saturadas que tienen una permeabilidad insuficiente como para brindar cantidades significativas de agua y, por lo tanto, para poderse considerar como un acuífero.

La importancia de este factor radica en que determina el espesor de material que un contaminante tiene que atravesar antes de alcanzar el acuífero, y puede ayudar a determinar el tiempo durante el cual el plaguicida va a estar en contacto con el medio que le rodea. La profundidad a la que se encuentra el agua también es importante porque, si es suficientemente grande, es más probable que los compuestos se oxiden al entrar en contacto con el oxígeno atmosférico. En general, cuanto mayor es esta profundidad, mayor es la posibilidad de atenuación de la actividad del plaguicida antes de llegar al agua.

TOPOGRAFIA (T): El término topografía se utiliza aquí referido a la pendiente y a la variación de la pendiente del terreno. Según sea la pendiente del terreno así será la probabilidad de que un contaminante permanezca en el sitio donde ha sido depositado o se aleje del lugar por efecto de la escorrentía superficial, y por consiguiente no se infiltre a través del terreno en una zona donde podría alcanzar el nivel de agua de un acuífero. Por otra parte, la topografía también influye en el desarrollo del suelo, por lo que afecta indirectamente a la posibilidad de atenuación de los contaminantes. En general, el gradiente y dirección del flujo del agua subterránea se puede inferir de la pendiente del terreno, y en este sentido se puede decir que cuanto más pronunciada sea la pendiente, mayor será la velocidad del agua subterránea.

ROCA DEL ACUIFERO (A): El concepto roca del acuífero se refiere al medio material, consolidado o no, en el que se asienta el acuífero.

El tipo de roca que constituye el acuífero ejerce un notable control sobre el camino que los contaminantes siguen para llegar al agua subterránea. La distancia recorrida por los contaminantes es un factor importante (junto con la conductividad hidráulica y el gradiente) para determinar el tiempo del que disponen estos para que actúen los procesos de atenuación como la sorción, degradación y dispersión, así como el área superficial efectiva de los materiales que están en contacto con el acuífero.

El camino que un contaminante puede seguir para alcanzar la superficie del agua subterránea está fuertemente influenciado por las fracturas y/o grietas presentes en las rocas que debe atravesar y que muchas veces pueden proporcionar un fácil acceso para que el contaminante alcance el agua subterránea.

En general, cuanto mayor sea el tamaño del grano y más fracturas existan en el medio, mayor será la permeabilidad, menor la capacidad de atenuación del contaminante y mayor la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas.

TIPO DE SUELO (S): El concepto suelo se refiere a la parte superior de la zona no saturada, que se caracteriza por una actividad biológica significativa. El suelo tiene una considerable influencia en la cantidad de agua de recarga que se puede infiltrar hacia el acuífero, y por lo tanto, en la capacidad de un contaminante para moverse verticalmente en la zona no saturada. Por otra parte, todos los procesos de atenuación tales como filtración, biodegradación, sorción y volatilización pueden llegar a ser bastante significativos en función del tipo de suelo.

La textura y estructura del suelo, su contenido en materia orgánica y arcillas y el tipo de estas últimas afecta bastante a la contaminación potencial por plaguicidas. Así, cuanto más arcilloso sea el suelo, más fina su textura y mayor el contenido en materia orgánica, menor será la posibilidad de contaminación del agua subterránea.

6.2.2. Patrones de cuantificación de los factores CRIPTAS

Para cuantificar cada uno de los factores CRIPTAS se aplica un sistema de evaluación en el que se establecen tres parámetros significativos: pesos, rangos y valores.

a) Pesos. Cada factor CRIPTAS se evalúa respecto a los otros para determinar la importancia relativa de cada uno. A cada factor CRIPTAS se le asigna un peso relativo que va de 2 a 5 (tabla 6.1). Los factores más significativos tienen un peso de 5 y los menos significativos de 2. Estos pesos son constantes y no modificables en la estimación de la vulnerabilidad.

b) Rangos. Cada factor CRIPTAS se divide en rangos numéricos o tipos medios significativos con nombres descriptivos, que tienen un impacto en la contaminación potencial de los acuíferos (tablas 5.2 a 5.8).

c) Valores. Cada rango de cada factor CRIPTAS se evalúa con respecto a los otros para determinar su significación relativa en la contaminación potencial. A cada rango de los factores CRIPTAS se le asigna un valor numérico que oscila entre 1 y 10. Los factores C, R, P, T y S tienen asignado un único valor por rango, mientras que para los factores A e I se considera

un valor típico dentro de un intervalo; no obstante, estos intervalos permiten asignar valores a cada rango en función del conocimiento más o menos específico que se tenga del factor:

TABLA 6.1.– PESOS ASIGNADOS A LOS FACTORES CRIPTAS

FACTOR	PESO
(C) Conductividad hidráulica	2
(R) Recarga neta	4
(I) Impacto zona no saturada	4
(P) Profundidad nivel del agua	5
(T) Topografía	3
(A) Roca del Acuífero	3
(S) Tipo de Suelo	5

TABLA 6.2.– RANGOS Y VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Rango (m/día)	Valor
0,04-4	1
4-12	2
12-28	4
28-40	6
40-80	8
> 80	10

TABLA 6.3.– RANGOS Y VALORES DE RECARGA NETA

Rango (mm)	Valor
0-50	1
50-100	3
100-180	6
180-255	8
> 255	10

TABLA 6.4.– RANGOS Y VALORES DEL IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA

Rango	Valor	Valor típico
Limo/arcilla	1-2	1
Pizarras	2-5	3
Calizas	2-7	6
Areniscas	4-8	6
Calizas en capas, Areniscas y Pizarras	4-8	6
Arenas y Gravas con Limo y Arcilla	4-8	6
Metamórficas/Igneas	2-8	4
Arenas y Gravas	6-9	8
Basaltos	2-10	9
Calizas karstificadas	8-10	10

TABLA 6.5.– RANGOS Y VALORES DE PROFUNDIDAD DEL AGUA

Rango (m)	Valor
0-1,5	10
1,5-5	9
5-10	7
10-15	5
15-20	3
20-30	2
> 30	1

TABLA 6.6.– RANGOS Y VALORES DE LA TOPOGRAFIA

Rango (% pendiente)	Valor
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1

TABLA 6.7.– RANGOS Y VALORES DE ROCA DEL ACUIFERO

Rango	Valor	Valor típico
Pizarras masivas	1-3	2
Metamórficas/Igneas	2-5	3
Metamórficas/Igneas alteradas	3-5	4
Capas finas de Areniscas		
Calizas, secuencias de pizarras	5-9	6
Areniscas masivas	4-9	6
Calizas masivas	4-9	6
Arenas y gravas	6-9	8
Basaltos, Igneas/Metamórficas		
muy fracturadas	2-10	9
Calizas karstificadas	9-10	10

TABLA 6.8.– RANGOS Y VALORES DE TIPO DE SUELO

Rango	Valor
Fino o ausente	10
Gravas	10
Arenas	9
Turba	8
Arcillas agregadas	7
Margas arenosas	6
Margas	5
Margas limosas	4
Margas arcillosas	3
Mantillo	2
Arcillas no agregadas	1

El sistema CRIPTAS permite calcular numérica y globalmente, para cada acuífero o unidad hidrogeológica, un índice relacionado con su vulnerabilidad a la contaminación por plaguicidas, utilizando un modelo aditivo.

La ecuación para determinar el índice CRIPTAS es:

$$\text{Contaminación potencial} = a_C P_C + a_R P_R + a_I P_I + a_P P_P + a_T P_T + a_A P_A + a_S P_S$$

donde: a_i = valores dentro de cada rango.

P_i = pesos relativos de cada factor.

Una vez que se ha calculado el índice CRIPTAS, es posible identificar las áreas más susceptibles a la contaminación. Cuanto mayor sea el índice CRIPTAS, mayor es la vulnerabilidad de las aguas subterráneas.

Es evidente que todos los factores CRIPTAS interactúan entre sí, es decir, son variables dependientes. Su selección como variables se ha realizado en base a la accesibilidad de los datos cuantitativos de los acuíferos.

Además es posible considerar otros factores adicionales, tales como la importancia del acuífero en cuanto a su explotación y aprovechamiento a la hora de evaluar la vulnerabilidad frente a la contaminación, o el uso que se de al suelo en función de las prácticas agrícolas y utilización de productos agroquímicos.