

## **8. LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION POR PLAGUICIDAS**

**8.1. *Prevención y control de la contaminación***

**8.2. *Delimitación de zonas de control***

**8.3. *Diseño de redes de vigilancia***

**8.4. *Técnicas de muestreo***

8.4.1. *Muestreo de la zona no saturada*

8.4.2. *Muestreo en la zona saturada*

**8.5. *Depuración de aguas contaminadas por plaguicidas***

**8.6. *Métodos alternativos al uso de plaguicidas***

## 8. LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION POR PLAGUICIDAS

### 8.1. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION

La vigilancia de la calidad del agua subterránea es un proceso que requiere el establecimiento de programas a corto y largo plazo. Los propósitos y objetivos de la vigilancia son determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua subterránea, identificar los efectos espaciales y temporales de los procesos naturales y de las actividades humanas sobre los sistemas hidrogeológicos, prevenir los cambios en la calidad del agua y establecer criterios y tratamientos para eliminar la contaminación en aguas que ya están contaminadas.

En el caso de los plaguicidas, en general cuando se aplican en dosis normales y racionalmente teniendo en cuenta todos los aspectos incluido el de la posible influencia sobre las aguas subterráneas, en raras ocasiones se encuentran en cantidades anormalmente altas en las aguas subterráneas. Sin embargo, un manejo inadecuado de estos compuestos durante su almacenamiento, vertidos accidentales, o aplicaciones inadecuadas, pueden producir importantes contaminaciones locales del agua subterránea. En dichos casos es recomendable que el sistema de vigilancia continúe funcionando incluso después de que se haya realizado la rehabilitación completa del sistema hidrogeológico debido fundamentalmente a la persistencia y adsorción de estos productos.

La contaminación del agua subterránea por plaguicidas se puede producir en dos situaciones bastante diferentes: por su utilización en prácticas agrícolas o por vertidos específicos puntuales.

Los casos de contaminación dispersa se pueden producir cuando se aplican cantidades importantes de plaguicidas a zonas donde el nivel freático está poco profundo, en suelos muy porosos o cerca de fracturas o diaclasas que conectan los acuíferos con la superficie. En estos casos, el muestreo de los pozos ya existentes es el punto de partida del sistema de vigilancia cuando la contaminación por plaguicidas procede de la aplicación de éstos a amplias extensiones de terreno, la red de vigilancia del agua subterránea debe diseñarse para identificar las fuentes potables "limpias" más que la extensión de la contaminación.

La investigación hidrogeológica sobre la contaminación por plaguicidas es en esencia idéntica a la aplicada a otros compuestos químicos tóxicos y peligrosos. Su propósito es identificar la extensión horizontal y vertical de la contaminación con el fin de aislar el contaminante y remediar la contaminación del acuífero.

### 8.2. DELIMITACION DE ZONAS DE CONTROL

La naturaleza de las fuentes potenciales de contaminación agrícola y el grado de vulnerabilidad del sistema acuífero son factores decisivos para delimitar las áreas que deben ser preferentemente vigiladas, así como para establecer la densidad de puntos de control, los parámetros a considerar y el tiempo durante el cual se debe realizar la misma.

Las fuentes puntuales de contaminación, como depósitos de plaguicidas, son fáciles de identificar y evaluar, siendo en este caso suficiente un sistema de vigilancia local que opere temporalmente.

Las fuentes de contaminación no puntuales, como la aplicación de plaguicidas a una extensión grande de terreno, requieren sistemas de vigilancia a escala regional coordinados con otros a escala regional o nacional en programas a largo plazo, siendo además deseable que estén integrados en otras redes hidrogeológicas e hidrológicas.

Antes de establecer un programa de vigilancia de la calidad del agua subterránea, es preciso determinar diversos aspectos:

- Extensión de la zona a vigilar.
- Condiciones naturales (hidrogeología, hidrología, geología y climatología).
- Actividades agrícolas prevaletentes (tipo de cultivos).
- Tipo y número de fuentes de contaminación provenientes de prácticas agrícolas u otras actividades.

- Utilización del agua subterránea para abastecimiento a poblaciones, agricultura u otros usos.
- Recursos de agua subterránea, disponibilidad y vulnerabilidad.
- Recursos financieros, profesionales y medios técnicos disponibles para la actividad de vigilancia.

Es de especial importancia identificar y evaluar las fuentes potenciales de contaminación, así como conocer la cantidad y tipo de plaguicidas utilizados, duración de las aplicaciones y métodos. En las zonas de riego, es importante saber el volumen de agua utilizado en el riego, la cantidad que se infiltra y el agua de retorno (calculada como la diferencia entre la recarga -precipitaciones- y la descarga -evaporación, consumo, fuentes, etc.-).

Antes de diseñar el sistema de vigilancia para cada caso concreto, se deben conocer las características y el comportamiento geométrico e hidráulico de la zona no saturada y del sistema acuífero (niveles piezométricos, características del flujo de agua subterránea). También se deben determinar los coeficientes de dispersión hidrodinámica, coeficiente de sorción, constantes de reacción, así como los procesos de recarga y descarga de contaminantes. Se pueden incluir en la red de control los pozos y sondeos existentes, siempre que se disponga de sus datos geológicos, hidrogeológicos y características constructivas.

Debido a que en las zonas saturada y no saturada existe una estratificación hidroquímica vertical de los contaminantes, los pozos utilizados en las redes de vigilancia deben permitir examinar segmentos diferentes de dicho perfil hidrodinámico vertical. Además, es preciso incluir en la red de control manantiales significativos, como indicadores de la actividad natural del sistema acuífero. Se deben incluir también otras variables, como precipitaciones, aguas superficiales y suelo.

En áreas donde exista actividad agrícola, hay que considerar las características químicas del suelo junto con las relacionadas con la calidad del agua subterránea. Es importante vigilar regularmente variables como pH, iones en solución, cationes intercambiables, nivel de nitrificación del suelo, fósforo, boro, triazinas, organofosfatos y metales pesados, entre otros. También debe realizarse observaciones sobre las variaciones de las características físicas del suelo (conductividad hidráulica, contenido en agua, porosidad, etc.).

### **8.3. DISEÑO DE REDES DE VIGILANCIA**

Antes de proceder a instalar una red de puntos de control del agua subterránea y definir su ubicación, número y dimensiones, hay que concretar los objetivos de la vigilancia. El diseño final que se elija dependerá entre otros factores, de las características químicas y dimensiones del frente de contaminantes y de la hidrogeología del lugar.

– Número y localización de los pozos. La localización de los pozos de vigilancia debe referirse tanto a su ubicación espacial en relación con las fuentes potenciales de contaminación, como a su profundidad en el sentido de que permitan el muestreo de los distintos niveles acuíferos que existan. El número y situación de los pozos depende de diversos factores, entre los que se incluyen las limitaciones impuestas por la hidrología del lugar y la calidad del agua. En general se debe instalar un número mínimo de puntos en las inmediaciones de los focos de contaminación, tanto aguas arriba como aguas abajo, en la dirección del flujo subterráneo y a diferentes profundidades que permitan disponer de un sistema tridimensional de muestreo. Generalmente, es preciso instalar pozos adicionales para caracterizar la hidrogeología del lugar. Los pozos para la vigilancia de distintos acuíferos o de distintas zonas dentro de un mismo acuífero se instalan por dos razones diferentes:

- 1.– Para identificar las características hidráulicas y la relación entre zonas distintas o acuíferos.
- 2.– Para caracterizar la calidad del agua subterránea a diferentes profundidades.

En general, no se pueden definir criterios estándar respecto al número y densidad de los puntos de control por unidad de área. La densidad de puntos en una red de vigilancia para fuentes puntuales debe ser mayor que cuando se trate de una contaminación dispersa. Los puntos de muestreo se suelen situar cercanos a las fuentes puntuales de contaminación.

La vulnerabilidad de los acuíferos libres someros, con el nivel freático muy alto, es mucho mayor que la de los confinados.

En el caso de acuíferos confinados protegidos de forma natural por una capa impermeable, la perforación de los pozos de muestreo debe evitar la interconexión entre la fuente de contaminación y el acuífero a través del pozo.

Quando se va a establecer un sistema de vigilancia en un acuífero contaminado en el que se ubica una red de abastecimiento, hay que observar unos principios especiales. La red de vigilancia debe cubrir las áreas vulnerables y de recarga del acuífero, así como las fuentes reales o potenciales de contaminación.

Por otra parte, se deben localizar algunos puntos de muestreo en áreas que no estén afectadas por actividades humanas.

– Dimensiones y materiales. Las dimensiones del pozo se adecuarán al volumen de muestra a tomar, la profundidad a la que se realizan los muestreos, el tipo de terreno en el que se instala, etc. En cuanto a los materiales, para los entubados y tabiques se debe evitar el PVC, puesto que a veces no es compatible con el tipo de contaminantes a muestrear.

– Frecuencia de muestreo. En las etapas iniciales del programa de vigilancia, el muestreo suele ser bastante frecuente (semanal, diario, horario e incluso algunos componentes de forma continua). Cuando ya se han determinado los mecanismos de transporte del contaminante y la variabilidad de la calidad del agua subterránea, se adoptan otros criterios para la frecuencia del muestreo. En sistemas de control a escala nacional puede ser suficiente una frecuencia bianual. El muestreo se suele llevar a cabo simultáneamente en varias secciones verticales del acuífero. En redes de vigilancia regionales y locales la frecuencia de muestreo ha de ser mayor (semestral, trimestral, mensual).

En general, al determinar la frecuencia de muestreo hay que tener en cuenta las condiciones hidrogeológicas que regulan el movimiento de los contaminantes. La frecuencia también depende del tipo de contaminación: aislada (vertidos accidentales), contaminaciones incontroladas de residuos líquidos inyectados en el subsuelo (fosas sépticas) o contaminación sistemática regional o local (aplicación de plaguicidas y fertilizantes). Es recomendable además el muestreo del suelo para evaluar el impacto de las actividades agrícolas.

## **8.4. TECNICAS DE MUESTREO**

La selección de los procedimientos y técnicas de muestreo depende de las características del sistema hidrogeológico y del tipo de contaminante.

Para realizar un estudio de la contaminación por plaguicidas de un sistema acuífero, se requieren muestras tomadas a diferentes profundidades, tanto en la zona no saturada como en la saturada.

### **8.4.1. Muestreo de la zona no saturada**

#### Material sólido

Los puntos de muestreo deben estar regularmente distribuidos, por ejemplo en diagonal o en forma de S. Deben evitarse las zonas limítrofes y los lugares próximos a almacenamientos de plaguicidas. En campos grandes, la distancia entre los puntos de muestreo y la periferia o los puntos de manejo de plaguicidas debe ser de al menos 5 m, aunque en terrenos experimentales puede ser inferior.

El número de lugares de muestreo depende del tamaño del campo y de la uniformidad del terreno. A continuación se dan algunas indicaciones en relación a estos aspectos:

– En terrenos grandes (aproximadamente 1 ha), deben tomarse unas 30 muestras por ha. Si el campo es homogéneo con respecto al terreno y la textura del suelo, deben recogerse más de dos muestras por unidad de área. En casos difíciles, se debe dividir el campo en secciones y tomarse muestras separadas en cada una de ellas.

– En campos pequeños (aproximadamente 1 área) y terrenos experimentales, se toman por unidad de área un gran número de muestras, de forma que se tenga un tamaño mínimo de muestra que pese de 1 a 2 kg.

Las muestras de suelo se toman mediante sistemas de barrena (normales o mecánicos), equipados con un taladro que, introducido en el suelo hasta la profundidad deseada, extraen una porción del material a analizar.

Las muestras se recogen a profundidades por debajo de la parte de suelo cultivado; en suelos con césped se toman por debajo de 10 cm, y en bosques y suelos no cultivados es necesario muestrear por debajo de 20 cm. En suelos con cultivos

hortícolas se toman muestras en dos capas de suelo (0-25 cm y 25-50 cm). Donde se quiera estudiar el movimiento vertical de un plaguicida en el suelo las muestras se recogen a distintas profundidades, por ejemplo 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-20 cm.

#### Solución acuosa

El muestreo del agua contenida en la zona no saturada se puede realizar por diversos métodos:

- a) Lisímetros. Es el sistema más conveniente para muestrear la parte superior de esta zona.
- b) Extracción por centrifugación del agua intersticial en muestras tomadas a diferentes profundidades durante la perforación de pozos. Estas muestras de suelo se deben transportar al laboratorio en bolsas de material inerte al análisis de plaguicidas y selladas para prevenir la evaporación del agua. Cuando se utiliza esta método hay que realizar una nueva perforación en cada período de muestreo.
- c) Muestreo por inyección de gas comprimido. Esta técnica requiere la realización de perforaciones separadas para cada sector de la zona no saturada donde se van a tomar las muestras. Al final de cada tramo perforado se coloca un entubado cerrado en su fondo, conectado en la parte inferior del tubo se fija a una botella donde se recoge la muestra. Hasta el interior de la botella se hacen llegar los tubos de extracción desde la superficie del terreno.

El agua que se mueve verticalmente a través de la zona no saturada es interceptada por la botella acumulándose en su interior, del cual es evacuada mediante la inyección de un gas inerte comprimido, por ejemplo nitrógeno. De esta forma, utilizando varios pozos de diferentes profundidades en un mismo punto, es posible conocer el movimiento de agua y contaminantes a través del perfil vertical de la zona no saturada (figura 8.1).

- d) Succión en vacío del agua intersticial. El fundamento de este sistema es la creación de una diferencia de tensión entre el suelo y el interior de un recipiente cerámico poroso instalado a una determinada profundidad, capaz de provocar la entrada del agua del suelo a la cápsula. La cápsula, conectada con la superficie mediante un entubado adecuado, retiene el líquido, que posteriormente es extraído bien mediante la inyección de aire o gas, de forma semejante al método anterior, o más sencillamente, por succión (figura 8.2 y 8.3).

#### **8.4.2. Muestreo en la zona saturada**

Los métodos utilizados para muestrear la zona saturada dependen de la complejidad y tipo de acuífero. Los principales factores objeto de control son la distribución horizontal y vertical del contaminante y la velocidad del flujo del agua subterránea. En el caso de los plaguicidas, el grado de contaminación disminuye normalmente con la profundidad del acuífero, y por lo tanto, la vigilancia se suele restringir a las zonas someras y fácilmente vulnerables del mismo. Una buena técnica de muestreo de la zona saturada permite determinar parámetros del transporte de contaminantes, en particular dispersión y difusión, así como los procesos que afectan a la concentración y movilidad de los contaminantes en el sistema acuífero.

Las técnicas de muestreo más frecuentes para el estudio del perfil hidroquímico de los acuíferos son:

- a) Muestreo multicapa a diferentes profundidades. Dentro del pozo existen dos o más tubos de pequeño diámetro que alcanzan diferentes profundidades. Estos tubos se aíslan de forma permanente mediante arcillas impermeables. El agua se extrae por bombeo, inyección de gas comprimido o succión. Este método no proporciona muestra representativas cuando existen flujos verticales dentro del acuífero.
- b) Muestreo de las partes superior e inferior del acuífero. Dentro de un mismo pozo se bombea por separado agua de las dos partes, mediante dos bombas. Esta técnica es útil en acuíferos anisótropos con flujo horizontal del agua.
- c) Muestreo del agua de varios pozos situados en la misma zona y a diferentes profundidades. El muestreo puede ser simultáneo, cuando se bombean todos los pozos al mismo tiempo, o secuencial, cuando se hace de forma consecutiva.
- d) Muestreo a diferentes profundidades mediante muestreadores. Estos aparatos se abren selectivamente a valores prefijados de profundidad. El método sólo es recomendable para acuíferos de elevada transmisividad y con flujo horizontal de agua.

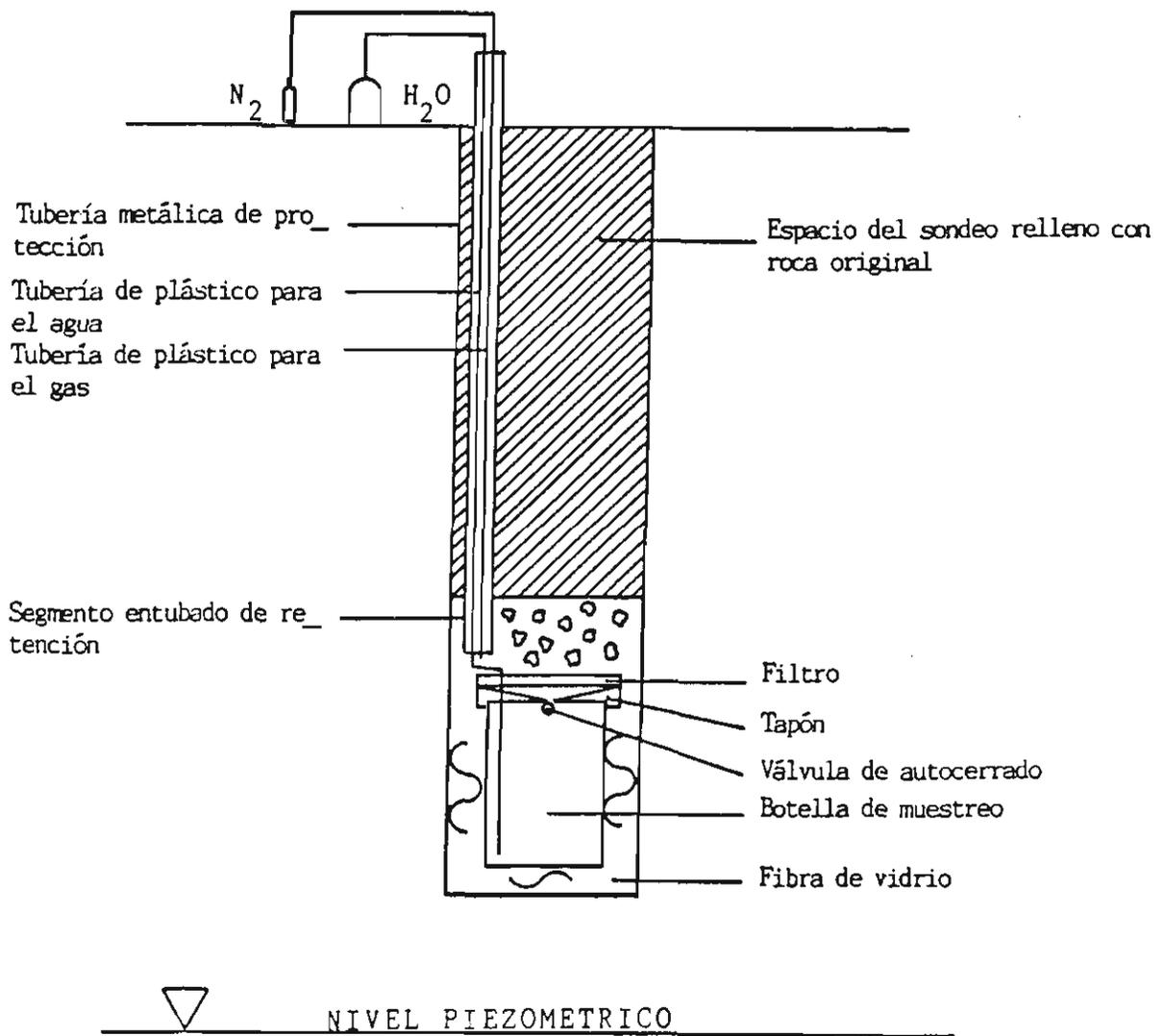


Figura 8.1.- Muestreo de agua en la zona no saturada mediante inyección de gas comprimido.  
(Fuente: Elaboración propia).

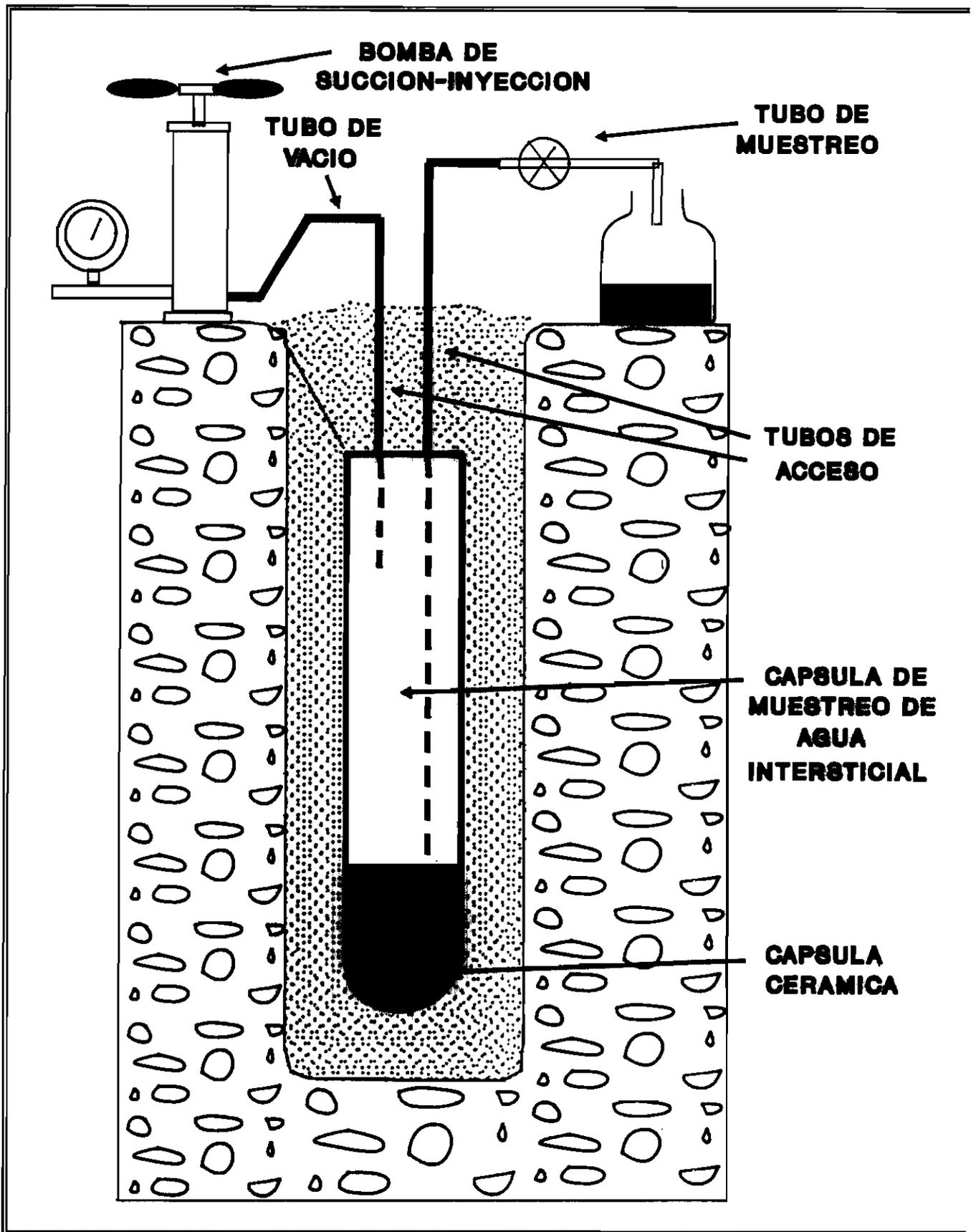


Figura 8.2 – Muestreo de agua en la zona no saturada mediante succión en vacío. Tomamuestras de PVC.  
 (Fuente: Elaboración propia).

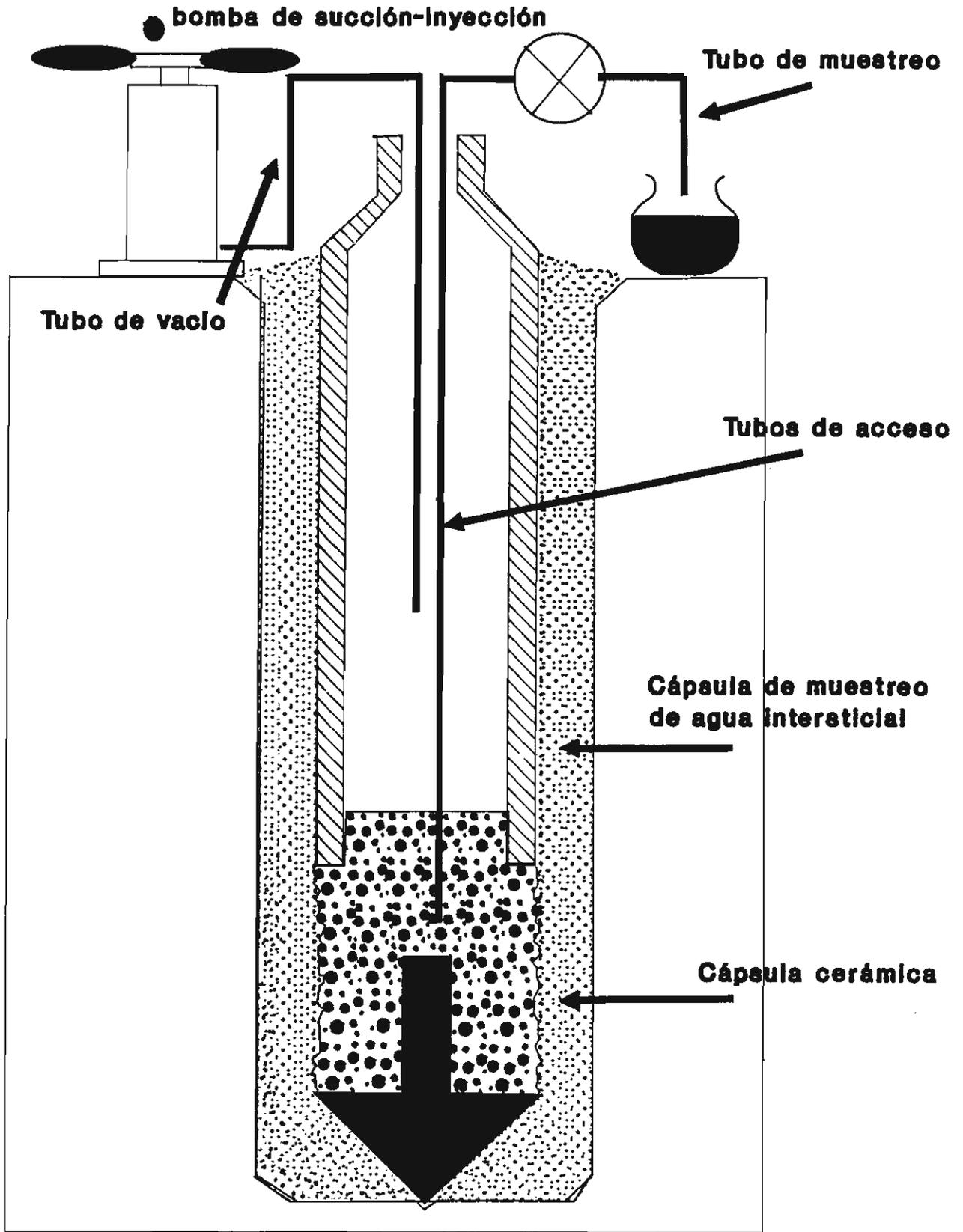


Figura 8.3. Muestreo de agua en la zona no saturada mediante succión en vacío. Tomamuestras de acero-teflón. (Fuente: Elaboración propia).

Para la toma de muestras de agua en pozos para determinar plaguicidas deberán tomarse ciertas precauciones:

- \* Realizar un bombeo previo en el pozo para extraer el agua estancada, no representativa del acuífero.
- \* Extraer la muestra de agua, bien mediante el empleo de bombas de teflón o tomamuestras de vidrio o teflón, a través de los que se ha dejado pasar al menos 1 litro del agua a muestrear.
- \* Los recipientes de muestreo y conservación de las muestras deben aclararse 3 veces con el agua a analizar.
- \* Evitar la entrada de aire en los tomamuestras y a través de las bombas.

## **8.5. DEPURACION DE AGUAS CONTAMINADAS POR PLAGUICIDAS**

Aunque la recuperación de un acuífero contaminado es un proceso costoso económicamente y con ciertas dificultades técnicas, debe incluirse entre los métodos de lucha contra a contaminación.

Entre todas las soluciones técnicas para eliminar los plaguicidas de las aguas subterráneas, están la captación y tratamiento de las aguas subterráneas, en especial aquellas con mayor contaminación, las más próximas al foco de contaminación y con concentraciones más altas, lo que constituye la solución más económica y adecuada para depurar las aguas contaminadas y devolverlas al acuífero.

El tratamiento clásico de floculación-decantación y filtración del agua contaminada es ineficaz para el conjunto de plaguicidas, a excepción del DDT, que se elimina parcialmente. También la filtración lenta tiene un efecto limitado sobre algunos productos.

La elección de un método concreto de tratamiento de aguas contaminadas precisa en primer lugar determinar los plaguicidas presentes y conocer la localización y variabilidad espacial y temporal de la contaminación.

En general existen diversas alternativas para el tratamiento de acuíferos contaminados:

- 1.– Bombeo y tratamiento físico (filtración física y oxigenación).
- 2.– Filtración a través de carbón activo.
- 3.– Clausura de pozos de suministro de agua potable.
- 4.– Perforaciones más profundas por debajo del nivel acuífero contaminado.
- 5.– Suplir temporalmente el abastecimiento mediante otras fuentes no contaminadas, o suministrar agua embotellada para la bebida y agua no contaminada para el ganado.

Los tratamientos para la eliminación de plaguicidas de aguas de abastecimiento se basan en las técnicas de destrucción de las moléculas y de retención física. Entre ellos cabe destacar:

\* Acción del cloro, dióxido de cloro y del permanganato potásico: el cloro y los peróxidos no actúan sobre los insecticidas clorados. El permanganato ataca parcialmente a algunos (como el lindano). Por el contrario, los herbicidas orgánicos se degradan fácilmente con el cloro, el dióxido de cloro y el permanganato. Estos oxidantes no son suficientemente eficaces frente al conjunto de plaguicidas presentes en las aguas superficiales y subterráneas.

\* Acción del ozono: Algunos plaguicidas son poco sensibles al ozono (Dieldrin y HCH o BHC entre otros); los organoclorados, como el Aldrin, se destruyen con dosis de 1 a 3 g/m<sup>3</sup>, si su contenido corresponde al que generalmente se encuentra en las aguas de superficie.

\* Acción del carbón activo: El procedimiento más efectivo de eliminación de plaguicidas consiste en el empleo de carbón activo, tanto si se utiliza en forma de polvo, como en grano. Ni el pH ni la temperatura, parecen afectar de forma marcada al grado de eliminación.

– Con carbón activo en polvo, utilizado en una dosis máxima de 20 g/m<sup>3</sup>, se eliminan los sabores producidos por la mayoría de los plaguicidas normales. Con algunos productos (DDT), se obtiene ya una buena reducción con una dosis de 5 g/m<sup>3</sup>, y en el caso del Aldrin y el Dieldrin, se obtiene una reducción del 99% con una dosis de 10 g/m<sup>3</sup>.

– Con carbón activo en grano, se llegan a reducir los plaguicidas hasta un contenido de trazas.

Las experiencias en este campo vienen constatando que el método más utilizado y con mejores resultados es el lavado del acuífero y el filtrado con carbón activo.

## 8.6. METODOS ALTERNATIVOS AL USO DE PLAGUICIDAS

Los conocimientos actuales abren un amplio campo de posibilidades de defensa contra las plagas, minimizando el riesgo de degradación del entorno natural.

Entre los métodos alternativos al uso de plaguicidas contaminantes cabe citar:

- \* Uso de plaguicidas degradables (química y biológicamente) con metabolitos o residuos inocuos.
- \* Uso de plaguicidas poco o nada tóxicos para especies distintas contra las que se quiere luchar.
- \* Uso de plaguicidas poco tóxicos y fácilmente eliminables por los organismos vivos.
- \* Utilización sistemática de plaguicidas adsorbidos por el suelo en zonas vulnerables a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.
- \* Evitar la aplicación de plaguicidas de forma granular en zonas vulnerables a la contaminación de las aguas subterráneas, sobre todo de plaguicidas persistentes ya que actúan como focos de contaminación puntuales.
- \* Aplicación más generalizada de plaguicidas del tipo piretroide, al ser fácilmente degradables, selectivos y poco tóxicos.
- \* Utilización de arcillas al fumigar, de tal manera que el plaguicida se deposite en el lugar seleccionado de aplicación y sea retenido por el suelo.
- \* Rotación de cultivos para no favorecer el crecimiento de una plaga determinada.
- \* Evitar el monocultivo en una región o localidad.
- \* Desarrollo de variedades resistentes de plantas. Estas plantas una vez conseguidas representan un método seguro, barato y práctico de evitar las plagas de insectos. La utilización de plantas resistentes presenta dos inconvenientes principales: por lo común, se requieren muchos años para desarrollar una planta comercialmente aceptable, y después de su producción pueden surgir a veces nuevas variedades de insectos o de agentes patógenos para los que las plantas resistentes ya no lo son.
- Empleo de atrayentes. Los atrayentes sexuales químicos son producidos por otros miembros de su especie. Se están utilizando para atraer a los insectos hacia trampas donde pueden ser eliminados. Además la luz y el sonido atraen a algunos tipos de insectos.
- \* Control genético. En este método se liberan insectos sexualmente estériles para que se apareen con insectos normales. La liberación de machos estériles debe realizarse de manera periódica y en cada generación sucesiva.
- \* Manipulación de hormonas. Esta práctica puede interrumpir el ciclo biológico de los insectos y limitar el número de supervivientes.

Estas dos últimas alternativas no son aconsejables por los desequilibrios que pueden introducir a los ecosistemas.

\* Control bioambiental. Mediante la corta de tallos y la eliminación de los restos de cosechas que normalmente se dejan en el campo se logra otro medio para combatir ciertos insectos dañinos. Los insectos sobreviven al invierno en los tallos y atacan a las cosechas del año siguiente, pero mediante esta práctica se ven reducidos de forma eficiente. Algunos insectos pueden controlarse en los cultivos demorando la siembra hasta que hayan superado su fase de desarrollo más destructiva.