

3. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

3.1. Operaciones previas

3.2. Medida del nivel del agua

3.3. Purga de sondeos

3.4. Descontaminación de los equipos

3.5. Envases

3.6. Metodología de muestreo

3.7. Conservación, transporte y almacenamiento

3. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

La toma de muestra de aguas subterráneas presenta una especial dificultad condicionada por las características constructivas de la captación y la técnica de muestreo, que pueden ser resumidas en:

- ✓ La necesidad de que el agua recogida sea representativa de un único nivel acuífero.
- ✓ La conveniencia de que dicha agua provenga directamente de la formación acuífera y no de la almacenada en el interior de la captación, donde habrá permanecido un tiempo más o menos prolongado y donde probablemente haya sufrido procesos de alteración.
- ✓ La necesidad de evitar que el propio sistema de toma de muestra sea causa de contaminación o alteración de la muestra por fenómenos de desgasificación, mezcla con el aire atmosférico, volatilización, adsorción, desorción, etc.

En el caso de captaciones instaladas, en las cuales no sea posible la introducción de equipos tomamuestras, habrá que recurrir a la descripción del sondeo y la instalación (profundidad, situación de las rejillas, tramos cementados y empaques de gravas, situación de la bomba) para poder prever la procedencia del agua.

Se recomienda utilizar muestras diferentes para los análisis químicos y microbiológicos a causa de la diferencia en el procedimiento de toma de muestra, así como en los equipos y manipulación.

La naturaleza de las muestras que pueden ser tomadas en un sondeo son muy variadas, pero

pueden ser agrupadas en cinco casos principales:

1.- Un único nivel acuífero de cierta potencia.

1.1.- Rejilla o tubería ranurada en toda su longitud o en gran parte de ella: el agua procederá de todo el sistema no siendo posible obtener muestras selectivas en profundidad.

1.2.- Rejilla o tubería ranurada en un tramo. El agua procederá del tramo enrejillado y de los superiores.

2.- La perforación atraviesa varios niveles acuíferos.

2.1.- Rejillas en todos los tramos acuíferos que no se aíslan mediante cementación. El agua, al circular en el espacio anular entre el entubado de la captación y la formación, es mezcla de todos los niveles captados.

2.2.- Rejillas en todos los tramos del acuífero que se aíslan mediante cementación. El agua procede de los diferentes niveles pero pueden ser aislados mediante obturadores y obtener de esta manera muestras selectivas en profundidad.

2.3.- Rejillas en un único tramo que está aislado del resto. El agua procederá de un único nivel acuífero.

3.1.- OPERACIONES PREVIAS A LA RECOGIDA DE MUESTRAS.

El primer paso previo a una campaña de muestreo de aguas subterráneas consiste en realizar una serie de operaciones de puesta a punto de los materiales y equipos toma de muestras.

Entre las citadas operaciones se ha de preparar convenientemente (previa limpieza y descontaminación cuando convenga) el material siguiente:

- ◆ Documentación de campo: protocolo de muestreo, cartografía, manuales de uso y calibración de los equipos de campo, normas de seguridad e higiene, libreta y hojas de campo (inventario, muestreo, etc.). Es importante disponer de una lista de comprobación de material que ha de ser revisada antes del inicio de la campaña.
- ◆ Dispositivos tomamuestras y de medida de niveles.
- ◆ Medidores portátiles de pH, conductividad, potencial redox, oxígeno disuelto, termómetros, y su correspondiente material de repuesto, cables, baterías y patrones de calibración.
- ◆ Equipo de filtrado de muestras.
- ◆ Recipientes para el envasado y transporte de las muestras y, en su caso, para el almacenamiento del agua procedente de las purgas.
- ◆ Material de seguridad e higiene (guantes, gafas, etc.)
- ◆ Material auxiliar (rollos de papel, cinta adhesiva, cuerdas, bolsas de plástico, etc.)

3.2.- MEDIDA DEL NIVEL DEL AGUA.

Siempre que se tome una muestra para el análisis químico conviene realizar simultáneamente una medida del nivel del agua en la captación. Estas medidas permiten evaluar las fluctuaciones temporales de la piezometría y el sistema de flujo subterráneo y determinar su relación con la

composición del agua facilitando en muchas ocasiones la correcta interpretación de resultados. Además permite calcular el volumen de aguas a desalojar del pozo en la purga, conociendo la profundidad del mismo.

Las sondas de nivel más utilizadas son las de sistemas acústicos o luminosos. El cable graduado permite realizar la lectura de profundidad del agua.

3.3.- PURGA DE SONDEOS.

El objetivo de la purga de los sondeos es desalojar el agua estancada en el pozo con el fin de obtener muestras representativas del acuífero. La operación se realiza después de la medida del nivel, y el volumen a extraer es variable, si bien es frecuente evacuar entre tres y diez veces el volumen del pozo.

Como indicativo de que el agua es representativa del acuífero puede determinarse la estabilidad de parámetros fáciles de medir como pH, conductividad o temperatura.

Si el proceso de purga no se realiza o se hace incorrectamente las muestras pierden representatividad, por lo que se debe incluir en la ficha de campo una anotación sobre el tiempo de purga y el volumen de agua extraído.

3.4.- DESCONTAMINACIÓN DE LOS EQUIPOS

Todo el material deberá ser limpiado tras su uso, prestándose una atención especial a aquel que haya estado en contacto con aguas contaminadas. La descontaminación es una limpieza con

vapor y/o lavado con detergente (fosfato trisódico o Alconox), aclarado con agua, aclarado con acetona o metanol y por último con agua destilada, en función de la naturaleza de los contaminantes. La función que ejercen estos productos es neutralizar los contaminantes. Todos los residuos de la descontaminación deben ser recogidos en recipientes al efecto.

Precauciones especiales con las bombas.

Los equipos de bombeo son frecuentemente una fuente de contaminación cruzada entre captaciones de agua, por ello deberán limpiarse perfectamente antes de introducirse en un nuevo sondeo siguiendo el siguiente protocolo propuesto por la EPA:

- ✓ Lavado con agua potable (dos volúmenes).
- ✓ Alconox (dos volúmenes).
- ✓ Agua potable (tres volúmenes).
- ✓ Agua desionizada (dos volúmenes).
- ✓ Metanol (un volumen).
- ✓ Agua desionizada (tres volúmenes).
- ✓ Secado con aire caliente.

3.5.- ENVASES.

Características generales.

Los envases deben mantener la muestra en idénticas condiciones a las que tenían cuando fueron recogidas, sin añadir ni sustraer componentes ni modificar el estado físico o químico de los existentes, en especial deben cumplir las siguientes condiciones:

- ◆ No desprender materia orgánica, elementos alcalinos, boro, sílice y otros que contaminen el agua.
- ◆ La adsorción ejercida por las paredes sobre los componentes presentes en la muestra debe ser mínima.
- ◆ El material del recipiente no debe reaccionar químicamente con los constituyentes de la muestra.
- ◆ Los recipientes para muestras en las que se vayan a determinar parámetros microbiológicos deben ser estériles y no contener residuos del agente empleado en su esterilización ni liberar sustancias inhibitoras o potenciadoras del crecimiento bacteriano.
- ◆ El sistema de cierre debe ser hermético.

La elección del material del envase reviste una gran importancia, pues en algunas ocasiones puede interaccionar con la muestra alterando sensiblemente sus características.

El vidrio sódico normal tiende a disolverse, aumentando la concentración de sodio y sílice en el agua. Los envases de vidrio borosilicatado (pirex) tienden a lixiviar lentamente cantidades apreciables de manganeso, plomo, cinc y arsénico. Por último, los fosfatos se adsorben y desorben de determinados tipos de vidrio.

La mayoría de los recipientes plásticos pueden ceder al agua sustancias orgánicas que interfieren con el análisis de plaguicidas y otros compuestos, además, los envases de propileno son porosos por lo que pueden producirse pérdidas por evaporación. Muchos plásticos son permeables a los gases y la mayoría al CO₂.

Material de los envases.

En vista de lo anteriormente expuesto, el mate-

rial de los envases para la toma de muestras será:

- ◆ De preferencia se usará el polipropileno, que deberá ser empleado para las determinaciones que requieran un especial cuidado o precisión.
- ◆ Para la toma rutinaria de muestras, o en general cuando no se requiera una especial precisión, podrán emplearse envases de polietileno.
- ◆ En casos especiales, como es la determinación precisa de metales traza, se emplearán envases de Teflón.
- ◆ Para el análisis de compuestos orgánicos (PCB, plaguicidas, etc), se emplearán envases de vidrio.
- ◆ Para el análisis de compuestos fotosensibles se emplearán envases de material opaco o de vidrio inactínico.
- ◆ En los envases para el control microbiológico se considerarán como materiales de elección el vidrio borosilicatado o el polipropileno (que resiste elevada temperatura y puede ser esterilizado en autoclave). En su defecto pueden emplearse envases de polietileno de un solo uso destinados a la toma de muestras de este tipo.

Tapones.

Los tapones de los envases deben asegurar un cierre hermético y no reaccionar con los componentes del agua. Los tapones metálicos son inadecuados, pues muchos componentes del agua pueden reaccionar con ellos contaminando la muestra. Por otro lado, los tapones de goma pueden ser alterados por muestras que contengan hidrocarburos o contaminar muestras para la determinación de metales o elementos orgánicos traza.

Se emplearán tapones de material similar al de

las botellas, teniendo en cuenta que los de vidrio no deben ser empleados con materiales muy alcalinos pues se adhieren con facilidad.

Lavado y reutilización.

Como norma general debe emplearse envases nuevos para cada toma de muestra, sin embargo podrán ser reutilizados si se observan las siguientes normas:

- ◆ La reutilización se refiere a envases comprados nuevos y destinados exclusivamente a la toma de muestras de agua, en ningún caso a envases que hayan contenido anteriormente cualquier otro tipo de sustancia.
- ◆ No se reutilizarán envases de polietileno, pues su bajo costo y facilidad de aprovisionamiento hace que no compense el gasto en tiempo y productos químicos empleados en el proceso de acondicionamiento.
- ◆ No se reutilizarán los envases fabricados específicamente para su empleo como desechables o de un solo uso, este es el caso de algunos recipientes estériles que se emplean para la toma de muestras de análisis microbiológico.
- ◆ Los envases de plásticos especiales (polipropileno, teflón) o de vidrio, para ser reutilizados, deberán ser previamente reacondicionados de la siguiente manera:

Se descartarán aquellos que presenten cualquier tipo de imperfección que permita la salida de líquido o la entrada de aire en su interior.

Así mismo se descartarán los envases de vidrio desconchados o con fracturas, aún cuando no presenten pérdida de líquido.

Las *botellas de vidrio* se lavan, salvo que vayan a utilizarse para el análisis de cromo o de manganeso por uno de los procedimientos siguientes:

a) Con una mezcla limpiadora compuesta por 1 litro de H_2SO_4 concentrado, que se mezcla muy lentamente y agitándolo con 35 ml de solución saturada de dicromato de sodio.

b) Con $KMnO_4$ al 2% en una solución de KOH al 5% seguida de una solución de ácido oxálico.

c) También pueden emplearse productos comerciales formulados especialmente para la limpieza de material de laboratorio, debiendo asegurar en todo caso de que no queda resto alguno del producto en el interior del recipiente.

d) Para eliminar la materia orgánica se enjuagará el envase con otros ácidos minerales (sulfúrico, clorhídrico, nítrico, etc.) concentrados.

Los envases de plástico se limpiarán con HCl (1 mol / litro).

Después de la limpieza se enjuagará abundantemente el envase con agua de calidad para reactivos (agua desionizada) hasta asegurar la total eliminación del agente limpiador.

En el caso de que en la superficie interna del envase se observe la presencia de cualquier tipo de concreción, depósito, adherencia o coloración será descartado.

d) Los envases para el análisis microbiológico previamente a su esterilización, se limpiarán de igual manera a los de determinaciones químicas.

e) Los envases para la determinación de pesticidas, herbicidas u otros residuos se lavan con detergentes especialmente formulados y se enjuagan con abundante agua desionizada, se secan en estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ durante dos horas y tras enfriado se enjuagan con el disolvente extractor utilizado en el análisis, por último se secan en corriente de aire o nitrógeno purificados. En recipientes reutilizados conviene efectuar una extracción con acetona durante 12 horas seguidas de enjuagado con hexano.

Esterilización.

Los envases y tapones que se empleen para la determinación de parámetros microbiológicos deben ser estériles en el momento de la toma de muestras. Pueden emplearse los envases comerciales fabricados específicamente para la toma de muestras microbiológicas y que están esterilizados mediante óxido de etileno, radiaciones gamma u otros sistemas adecuados, o envases de vidrio neutro con tapón esmerilado, esterilizados mediante calor (en autoclave a 120° , 20 minutos o en horno Pasteur a 180° , 2 horas).

Hay que evitar tocar el interior de los tapones durante la manipulación de los envases al coger las muestras.

3.6.- METODOLOGÍA DE MUESTREO.

Los procedimientos para la toma de muestras y análisis químicos deben ser uniformes a fin de garantizar la posibilidad de comparar los resultados de análisis procedentes de puntos control muy distantes, que habrán sido muestreados por diferentes personas y mediante diversos sistemas de toma de muestra, además de analizados en laboratorios distintos.

Método de toma.

Los métodos de toma existentes son, como se verá más adelante, numerosos. El principal condicionante que debe imponerse al método elegido es que altere lo menos posible las características físico-químicas del agua. Estas alteraciones se deben fundamentalmente a tres causas: *la aireación, la desgasificación y la mezcla de aguas correspondientes a diversos niveles*. En general, las limitaciones respecto a la elección de un sistema u otro se refieren a consideraciones relativas al caudal mínimo necesario y al

tamaño del equipo. A la hora de seleccionar un equipo u otro debe tenerse en consideración:

✓ Construcción a base de componentes inertes, de fácil desmontaje y limpieza, es decir los equipos deberán:

◆ No adsorber contaminantes ni lixiviar sustancias hacia las muestras.

◆ No alterar las condiciones redox y pH de la muestra.

◆ Ser capaces de preservar los compuestos orgánicos volátiles existentes en la muestra, evitando su aireación, desgasificación y cambios de presión.

Los materiales que cumplen estas condiciones más frecuentemente utilizados son el Teflón, propileno y cloruro de polivinilo (PVC) entre los sintéticos y el acero inoxidable entre los metálicos. Una vez extraída la muestra, deberá almacenarse en recipientes que garanticen la preservación de los requisitos mencionados.

✓ Sondeos equipados: cuando el sondeo ya esté equipado con una bomba, lo normal será emplearla, aunque en ocasiones, conviene extraer el agua a profundidad conocida mediante botellas tomamuestras.

✓ Diámetro de la captación: las bombas sumergibles que se emplean normalmente requieren un sondeo con un diámetro mínimo de 100 mm. Aunque existen dispositivos con un diámetro muy reducido (menos de 2") su capacidad de bombeo es limitada y funcionan satisfactoriamente sólo a pequeña profundidad.

✓ Capacidad de tomar muestras a una profundidad concreta, sin que se produzca contaminación con otros niveles, ni alterar sus características químicas ni físicas, tanto en el acto de la recogida como en la extracción de la misma hasta la superficie. Las bombas de succión no pueden funcionar a profundidades mayores de 7

a 10 metros. A grandes profundidades, las elevadas presiones dificultan seriamente la extracción de muestras con equipos portátiles.

✓ Representatividad de la muestra. El sistema de muestreo debe ser capaz de suministrar una muestra representativa de la formación, sin modificación de equilibrios químicos, evitando bruscas alteraciones de la presión y turbulencias.

✓ Coste inicial: si el precio de los equipos es reducido, permitirá emplear un mayor número de muestreadores, lo que reduce la posibilidad de contaminación cruzada.

✓ Portabilidad y capacidad de adaptarse a sondeos de cualquier diámetro y profundidad. La necesidad de una fuente de alimentación externa (motogenerador en las bombas sumergibles, botellas de gas en las bombas impulsadas por gas, etc.) pueden hacer inviable el muestreo en lugares inaccesibles o hacer demasiado lento el traslado e instalación del equipo. Además constituyen componentes con sus gastos de mantenimiento y reparación propios.

✓ Volumen de muestra. No sólo debe tomarse muestra suficiente para el análisis, sino también para las necesarias operaciones de enjuague de muestreadores y contenedores.

✓ Relación coste-rendimiento satisfactoria.

Existen diversos tipos de sistemas de muestreo, cada uno con ventajas y desventajas, de acuerdo con su capacidad de adaptación a las condiciones de campo: botellas tomamuestras, jeringas, métodos de desplazamiento negativo (succión) mediante bombas centrífugas y peristálticas, y métodos de desplazamiento positivo (impulsión) mediante transporte por gas y bombas eléctricas sumergibles.

Los sistemas menos aconsejables en cuanto a preservar las características químicas de las muestras son los que introducen aire o gases no

inertes en las muestras y los que generan grandes diferencias de presión entre la superficie y la profundidad de muestreo. También los mecanismos en los que existen estrechamientos en su estructura (p.e. válvulas complejas), pueden alterar el pH debido a cambios en la presión parcial de CO₂.

La despresurización y turbulencias que ocurren en el transporte de las muestras a través de la columna de agua y en el trasvase a los recipientes de almacenamiento puede alterar su composición. Así, la presencia de oxígeno puede provocar la oxidación del ión ferroso a férrico, dando lugar a cambios de especiación y concentración de constituyentes.

La capacidad de elevación de la bomba determina el límite de profundidad al que puede adaptarse.

Los sistemas de muestreo elegidos deben ser robustos, resistentes a la corrosión y de fácil transporte y mantenimiento, que evite costosas reparaciones. Tampoco es aconsejable que los equipos permanezcan fuera de servicio durante largo tiempo.

Llenado de los envases.

Como norma general los envases se llenarán hasta el borde procurando no dejar una cámara de aire entre el agua y el tapón de cierre.

Sin embargo en los envases que contengan muestras para el análisis microbiológico deberá dejarse una cámara de aire suficiente para poder agitar y homogenizar la muestra evitando contaminaciones accidentales.

TOMA DE MUESTRAS EN CONTENEDORES.

Botellas tomamuestras. Se incluyen bajo este

epígrafe aquellos sistemas que recogen el agua directamente en un contenedor sin necesidad de hacerlo pasar por una conducción. Son sistemas sencillos, poco costosos, de fácil empleo y adecuados para sondeos de pequeño diámetro además no precisan de una fuente de alimentación exterior.

Existen numerosos sistemas de este tipo. El más sencillo y barato consiste en hacer descender un recipiente cilíndrico lastrado, preferiblemente graduado, abierto en su parte superior y sujeto mediante un cordel. El agua obtenida pertenece a la zona superior de la captación (la más alterada), no es selectiva en profundidad y al entrar en el recipiente se airea intensamente. La representatividad de una muestra recogida en estas condiciones suele ser deficiente, constituyendo un procedimiento poco recomendable. Otros sistemas más elaborados tienen una válvula de retención en el fondo del cilindro, que se abre al entrar en contacto con el agua, y se cierra al salir por el peso de la columna de agua contenida en su interior, mediante este sistema se evita la aireación de la muestra.

Otros sistemas incluyen una doble válvula de retención que permite muestrear a intervalos discretos en el pozo. En este método la segunda válvula está situada en la parte superior del cilindro, abriéndose simultáneamente a la inferior, permitiendo de esta manera muestrear un intervalo específico del sondeo.

Estos dispositivos pueden estar contruidos de materiales plásticos como el PVC o el Teflón, de acero o de una combinación de ellos, la línea de bajada suele estar contruida de hilo de polipropileno o nylón, o de cable de acero o hilo recubierto de teflón.

Existen sistemas más elaborados, que permiten introducir el tomamuestras hasta una profundidad conocida, abriendo el paso del agua una vez alcanzado el nivel que se pretende monitorizar, la apertura se suele realizar mediante el envío de

mensajeros pesados. Los dispositivos de apertura única no evitan el problema del borboteo.

Un tipo de tomamuestras muy sencillo que evita por completo el borboteo es el llamado Sistema del Dr. Blasy. Consiste en un cilindro, abierto por ambos extremos, que se hace descender a través de la captación. Desde su entrada en el agua, ésta circula a su través libremente; cuando llega a la profundidad adecuada, se deja caer un mensajero a lo largo de la cuerda de bajada que cierra el dispositivo. Este equipo, con algunas modificaciones es adecuado para recoger sustancias inmiscibles que flotan en el agua.

Debe tenerse un cuidado especial en el manejo de las aguas recogidas mediante botellas. En primer lugar, las líneas de bajada han de ser limpiadas cuidadosamente después de cada muestreo para evitar contaminación cruzada. Estos sistemas no permiten purgar la captación como se hace cuando se bombea. El manejo de las botellas y el cable de bajada resulta engorroso, sobre todo porque puede causar contaminación, por ejemplo por contacto con el suelo. Se necesita un cuidado especial para contaminantes orgánicos volátiles. El usuario puede estar expuesto a la contaminación.

Dispositivos tipo jeringa. Se trata de un dispositivo de tipo neumático que está siendo rápidamente desplazado por las botellas. Consiste en una jeringa plástica (también pueden ser de acero o teflón) modificada, en la cual se ha cortado el émbolo y el asidero de los dedos, conectada a una línea de gas. El dispositivo es sumergido en el sondeo a la profundidad deseada y entonces despresurizado, la muestra de agua es colectada a través de la aguja de acero. Las ventajas de este sistema son: la jeringa puede ser lavada en el sondeo con el agua que va a ser muestreada, es barata, fácilmente transportable y además si se sella la entrada justo después de la toma de muestra, puede ser empleada para su transporte disminuyendo las posibilidades de contaminación e impidiendo la desgasificación.

Las jeringas de acero son bastante más caras, pero deben ser empleadas cuando se muestrea a gran profundidad, resultando de fácil limpieza entre puntos de muestreo. Una ventaja adicional es que pueden ser empleadas para el muestreo de sondeos de diámetro muy pequeño (a partir de 4 cm.). Sin embargo no permiten la purga del sondeo y el volumen de muestra que se obtiene es limitado. La entrada a la jeringa se obtura cuando el agua contiene materia en suspensión.

DISPOSITIVOS DE PRESIÓN NEGATIVA (SUCCIÓN).

Los dispositivos de succión funcionan aplicando una presión negativa al agua o a la fase gaseosa que hay sobre ella. Consisten generalmente en un largo tubo conectado a una bomba de vacío. El tubo puede ser una parte integral del sondeo de control o ser instalado cada vez que se vaya a tomar una muestra. Las bombas de vacío pueden ser de muchas clases, como bombas manuales, peristálticas, de pistón, etc.

La muestra es recogida en un frasco de vacío (no son adecuados para el muestreo de componentes volátiles) o tomada directamente de la salida de la bomba (en cuyo caso se corre el riesgo de contaminación por contacto con sus partes metálicas) o con una jeringa o dispositivo similar conectado a una válvula de tres vías instalado en el tubo del frasco de vacío (este sistema tiene como ventaja una aireación o desgasificación limitadas y poder adicionar aditivos a la jeringa antes del muestreo, pero se trata de un sistema inadecuado para grandes volúmenes de muestreo).

Estos sistemas no son adecuados para profundidades mayores de 6-8 metros debido a la limitación en la succión de las bombas. Tiene como ventaja que es fácil de emplear, adecuada para sondeos no entubados, relativamente barata, transportable, y además puede proporcionar un caudal continuo y fácilmente variable. Debe prestarse una especial atención a la elección de

los componentes del sistema, bomba, tubo, botella de vacío, etc, en especial cuando se van a determinar metales traza o compuestos orgánicos.

DISPOSITIVOS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

Los métodos de recogida de muestras mediante presión positiva incluyen las bombas sumergibles de pistón, las bombas centrífugas sumergibles, las bombas de turbina impulsadas por gas, las bombas de gas a presión y los muestreadores de gas. Los dos últimos métodos ponen en contacto el gas con el agua que va a ser muestreada, los otros, o no usan gas o no se pone en contacto con la muestra. Son los métodos de elección para obtener muestras a grandes profundidades pues los dispositivos de succión tienen el límite en los 7-8 metros y las botellas y muestreadores similares son complicados de usar a grandes profundidades. Otra ventaja de los métodos de desplazamiento es la posibilidad de regular el caudal de bombeo. La alteración de la muestra es menor que en el caso de los de succión.

Bombas sumergibles de pistón. Las bombas de pistón pueden funcionar mediante un mecanismo de biela accionado desde la superficie o con gas a presión. En ambos casos, uno o varios pistones, alojados en un cilindro se mueven alternativamente de forma vertical, cuando el cilindro sube, impulsa el agua hacia arriba, forzándola a atravesar una válvula de una vía. Cuando desciende se abre otra válvula colocada en el fondo, similar a la primera cargándose de agua que será expulsada en el siguiente ciclo.

Las bombas de pistón accionadas mecánicamente fueron inicialmente desarrolladas para la producción de agua o petróleo y no son recomendables para el control de calidad del agua pues presentan un gran potencial de contaminar el agua, son difíciles de transportar y precisan de una fuente de energía externa.

A diferencia de las bombas de pistón de biela las bombas de pistón accionadas por gas han sido recientemente modificadas para adaptarlas al muestreo de aguas. Consisten en una fuente de gas a presión en superficie, un tubo para conducir el gas hasta la cámara de la bomba, un pistón, una cámara para la muestra de agua, la línea de descarga del agua y las válvulas asociadas. Aplicando presión positiva y negativa, la fuente de gas a presión mueve el pistón, el principio es similar a las bombas con biela. Un mecanismo de pistón accionado por gas más elaborado, eficiente y muy adecuado para el muestreo de aguas subterráneas son las bombas de doble acción. El principio de funcionamiento es similar a las anteriores pero dispone de dos cámaras de agua, una en cada extremo de la cámara de gas, y dos pistones y una unidad de conmutación para alternar el movimiento del pistón. En este sistema la muestra de agua es continuamente recogida y enviada a superficie, siendo más eficiente en el consumo de gas. Las cámaras de expansión del gas y del agua están aisladas impidiendo el contacto entre fluidos.

Se trata de dispositivos fáciles de manejar y mantener que permiten el muestreo en sondeos de pequeño diámetro y hasta 175 metros de profundidad, pudiendo estar contruidos por materiales inertes. Sin embargo son relativamente caras, de difícil transporte y el haz de tubos puede provocar contaminación cruzada si no se limpian adecuadamente.

Bombas centrífugas sumergibles. Las bombas centrífugas, muy empleadas en la extracción de aguas subterráneas, están constituidas por un impulsor (un conjunto de alabes rotatorios) y un eje que los mueve, una línea de entrada y una línea de salida de agua y algún tipo de motor que mueve el impulsor. En una bomba centrífuga, el impulsor rotatorio comunica energía al agua por medio de la fuerza centrífuga propulsando el agua hacia la periferia a gran velocidad.

Este tipo de bomba debe ser purgada (el sistema

debe ser llenado de agua) antes de ponerla en funcionamiento. No entra aire en el sistema. Las desventajas del empleo de bombas centrífugas son numerosas: como la bomba debe ser purgada, el agua de purga puede ser un foco potencial de contaminación; el agua tiene contacto con el eje de la bomba y los alabes, que normalmente no están contruidos de material inerte no contaminante, por otro lado la muestra se ve sometida a grandes variaciones de presión y turbulencia provocando la desgasificación y pérdida de compuestos volátiles. Estas bombas están limitadas por el esfuerzo de succión a aproximadamente 7 metros y son prácticas sólo para aguas poco profundas. En las bombas que emplean un motor de gasolina, la muestra puede contaminarse por el carburante o los humos de combustión.

Las bombas centrífugas sumergibles han sido diseñadas para extraer grandes cantidades de agua en pozos de producción poco profundos y no para el muestreo de aguas destinadas al control de calidad. Sin embargo existen modelos modificados para este fin, de pequeño diámetro, (se pueden emplear en sondeos de 5 cm o más), contruidas en acero inoxidable y teflón, y optimizadas para minimizar la turbulencia; no obstante siguen siendo útiles únicamente en sondeos poco profundos y cuando la desgasificación de la muestra no es importante.

Existen modelos especialmente diseñados para la toma de muestras para análisis (Johnson-Keck). Sus ventajas son el reducido diámetro (pueden introducirse en sondeos de 5 cm), están contruidas en acero y Teflón y pueden obtener caudales suficientes a profundidades por debajo del límite de succión, minimizando las turbulencias. La principal desventaja es que producen la desgasificación de la muestra en su camino hacia la superficie.

Muestreadores de gas transportador. La fase gaseosa sustituye al pistón. El dispositivo de muestreo consiste en una cámara cilíndrica rígi-

da con un tubo de entrada del gas y otro de salida del agua, conectado a la salida del cilindro y que llega hasta la superficie del terreno; en el fondo del dispositivo se sitúa una válvula de entrada de agua y bajo ésta un tubo ranurado. Ambos, la salida de agua y la entrada de gas se introducen en la cámara cilíndrica pero el de descarga de agua llega casi hasta el fondo.

Este sistema es muy adecuado para obtener muestras a gran profundidad limitado sólo por las presiones que pueden soportar los tubos. Por otra parte, pueden montarse con varias etapas de bombeo para aumentar la profundidad de bombeo. Este sistema puede emplearse en sondeos muy estrechos (hasta de 3,5 cm) y pueden ser instalados de forma permanente.

Una variación de este sistema consiste en emplear gas a presión como impulsor. El gas es aplicado directamente al agua, que no tiene por qué estar contenida en un dispositivo de muestreo como un pistón. Funciona aplicando gas, (normalmente aire, aunque a veces algún gas inerte como el nitrógeno) al agua del sondeo para forzarla a salir por la línea de descarga, que puede ser la propia instalación del sondeo. El equipo necesario es muy simple: una bomba de aire y tubo flexible para la entrada de aire. No es un sistema adecuado para la recogida de muestras de agua para análisis físico-químicos pues provoca una intensa mezcla del gas transportador con el agua, pero es muy empleado para el desarrollo de pozos (desarrollo con gas comprimido)

Bombas de fuelle. Funcionan de forma semejante a las de pistón excepto porque la presión del gas se aplica a un fuelle flexible, en lugar de a un pistón, para llevar el agua hasta la superficie. Pueden ser empleadas hasta profundidades de 65 m. en sondeos estrechos (5 cm) y debido a la facilidad de controlar el flujo de agua son útiles para muestrear compuestos orgánicos.

Se han desarrollado sistemas de bajo costo para

su instalación permanente. Como principal ventaja cabe destacar la posibilidad de construirlas con materiales inertes, son fáciles de desmontar y limpiar y son adecuadas para sondeos de diámetro reducido. Como inconvenientes pueden citarse: el coste relativamente alto, los componentes accesorios son engorrosos y los caudales de bombeo no pueden ser muy elevados. Además el sistema de válvulas se deteriora con cierta facilidad si hay sólidos en suspensión y el precio es elevado. No son adecuadas para grandes profundidades debido al gran volumen de gas requerido.

Bombas tipo "JET" Consisten en la combinación de un aspirador y de una bomba centrífuga. La bomba centrífuga impulsa en primer lugar el agua e inicia el flujo, el aspirador, situado en el interior del sistema, consiste en una boquilla, un tubo de admisión desde el pozo y un tubo venturi. El agua es bombeada a través de la boquilla, estrechándose abruptamente el diámetro de paso, de forma que la velocidad del fluido aumenta y la presión del agua en el tubo disminuye en relación directa con el aumento de velocidad. Si el descenso de presión es suficiente el agua penetra en el sistema desde el tubo de admisión. El agua mezclada continúa entonces a través del tubo venturi hacia el sistema.

La principal ventaja de este sistema de bombeo es la posibilidad de introducirlo en sondeos de diámetro reducido, su simplicidad y costo de compra y mantenimiento relativamente bajos. Las desventajas son muchas, entre las principales puede destacarse: son inadecuadas para grandes volúmenes de agua, el sistema debe purgarse antes de entrar en funcionamiento, la bomba y el agua de purgado tiene contacto con la muestra, el agua tiene contacto con los materiales del sistema y por último los cambios de presión a que se ve sometida.

Bombas peristálticas. Su funcionamiento se basa en un cilindro excéntrico que aprisiona un tubo empujando el agua en su recorrido. El agua

sólo tiene contacto con el tubo flexible que suele estar construido de caucho o silicona. Para su funcionamiento requieren la presencia de una toma eléctrica. Son adecuadas para bajos volúmenes de muestra y pequeña profundidad de bombeo. Rara vez se emplean en el muestreo de las aguas subterráneas.

Bombas eléctricas sumergibles. Las bombas eléctricas sumergibles son sin duda las más empleadas en las captaciones de aguas subterráneas dedicadas a la producción, tanto para riego o usos industriales como para abastecimiento. Consisten básicamente en un motor eléctrico que mueve un grupo de rodets provisto de álabes, los cuales impulsan el agua a través de la línea de salida. Se trata de equipos compactos que se fabrican en una amplia gama de tamaños y potencias.

Son adecuadas para el muestreo de aguas subterráneas si no se trata de sondeos demasiado profundos pues resultan difíciles de transportar e introducir en la captación y debido a su peso es necesario llevar un equipo auxiliar para introducir las en la captación y suministrarles energía eléctrica. Sin embargo pueden bombear volúmenes importantes de agua facilitando la purga del sondeo.

ELECCIÓN DEL SISTEMA DE MUESTREO.

La elección de un sistema u otro dependerá de los condicionantes propios de la campaña de muestreo y de los requerimientos de selectividad de la muestra. En general las muestras más representativas se obtienen mediante el bombeo de tramos aislados mediante packers, seguido por el bombeo sin aislar, empleo de botellas especiales y por último el empleo de botellas lastradas. Como ya se ha comentado anteriormente se deben seleccionar aquellos dispositivos que alteren las muestras lo menos posible.

Tabla 1.- Características de los principales métodos de muestreo de las aguas subterráneas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
COSTE	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto	Bajo	Alto
PORTABILIDAD	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Media	Si	Si
FACILIDAD DE USO	Si	Si	Si	Si	Si	Medio	Si	Si	Medio	Si	Si
PROFUNDIDAD	Media	Media	Media	<10 m	175 m	<7 m	Alta	Media	65 m	Baja	Alta
AIREACIÓN	Elevada	No	No	No	No	No	Depende	Si	No	No	No
ALTERACIÓN DE LA MUESTRA	No	No	No	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No
DIÁMETRO MÍNIMO SONDEO	5 cm	5 cm	3,5 cm	2,5 cm	3,5 cm	>5 cm	3,5 cm	5 cm	5 cm	2,5 cm	5 cm
FACILIDAD DE LIMPIEZA	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Media	Media	Si	Media
FUENTE ALIMENTACIÓN	No	No	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	Si
CONTAMINANTES VOLÁTILES	Regular	Si	Si	No	No	No	No	No	Si	Si	Si
SELECTIVAS EN PROFUNDIDAD	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
INSTALACIÓN PERMANENTE	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
VACIAR SONDEO	No	No	No	No	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
RIESGO DE CONT. CRUZADA	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	Si
1.- Botella abierta por gas.	5.- Bombas de doble pistón accionadas por gas					9.- Bombas impulsadas					
2.- Botella apertura controlada peristálticas.	6.- Bombas centrífugas					10.- Bombas					
3.- Dispositivo tipo jeringa sumergibles.	7.- Muestreadores de gas transportador					11.- Bombas eléctricas					
4.- Mecanismos de succión	8.- Bombas Jet										

Será en cada caso el responsable de la campaña de muestreo, en función de los objetivos del estudio, quien determine el procedimiento más adecuado para la toma de muestra, es preciso seguir las siguientes *recomendaciones de carácter general*:

- ◆ En la ficha de campo siempre se reflejará el método de toma de muestra.
- ◆ Los recipientes para la toma de muestras se guardarán limpios (ver normas al respecto) pues una limpieza inadecuada puede provocar la contaminación de la muestra y secos, siendo recomendable el empleo de envases nuevos en cada muestreo.
- ◆ Si se emplean botellas, se extraerá agua varias veces con el fin de enjuagarlas arrastrando cualquier impureza; si se emplea una bomba portátil se bombeará el tiempo suficiente para renovar al menos 3-4 veces el contenido de la bomba y conducciones.
- ◆ Las bombas para la toma de muestras deben ser revisadas antes de cada campaña para comprobar su correcto funcionamiento y no pierdan aceite que puede contaminar la muestra.
- ◆ Es preferible que la bomba no disponga de sistema de filtro, si es así deberá ser limpiado antes de cada toma de muestra con el fin de que las partículas retenidas no contaminen el agua.
- ◆ Las botellas para la toma de muestras destinadas al análisis microbiológico deben ser estériles.
- ◆ Cuando se empleen botellas lastradas, serán de boca ancha para disminuir la aireación de la muestra.

En términos generales, para la realización de una campaña de muestreo se pueden establecer una serie de normas, aplicables a la mayoría de los casos:

- ◆ Las campañas de muestreo se deben iniciar siempre por los puntos que se crean menos contaminados y progresar hasta los más afectados.
- ◆ Cuando los muestreos se realicen mediante bombas, el agua se deberá recoger en el punto de descarga, a baja velocidad y evitando la agitación.
- ◆ Los recipientes de almacenamiento de muestras deben enjuagarse con el agua del sondeo antes del llenado y cierre. El orden de llenado cuando se trate de análisis múltiples deberá ser el siguiente:
 1. Compuestos orgánicos volátiles
 2. Compuestos orgánicos no volátiles
 3. Metales
 4. Compuestos mayoritarios
- ◆ Una vez finalizado el muestreo, el material debe ser limpiado según lo mencionado anteriormente.

Si la captación a muestrear se encuentra *instalada* y es imposible la introducción de un sistema tomamuestras, el agua deberá recogerse del grifo más cercano a la boca del sondeo. La muestra será representativa del agua extraída de la captación pero no necesariamente de la perteneciente a un determinado nivel acuífero o profundidad de toma.

Se seguirá la norma general de dejar la bomba en funcionamiento un tiempo suficiente para renovar 3-4 veces el agua contenida en el interior de la entubación y la de enjuagar repetidas veces la botella en la que se va a guardar la muestra con el agua que sale por el grifo. Si el grifo dispone de algún sistema de filtro debe ser desmontado antes de iniciar el bombeo.

En la etiqueta, así como en la ficha de campo, se anotará "Muestra tomada de grifo"

Cuando la muestra se destine al análisis micro-

biológico el punto de salida del agua deberá flamearse con la llama obtenida con un algodón empapado en alcohol y sostenido por unas pinzas o con un mechero.

En la ficha de campo se debe anotar el tiempo de bombeo con el fin de bombear el mismo período en posteriores tomas. Si la bomba está en funcionamiento cuando se va a tomar la muestra, bastará con dejar correr el agua por el grifo 5-10 minutos para desplazar la contenida en la tubería.

3.7.- CONSERVACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.

El transporte de las muestras debe realizarse en envases cerrados herméticamente resguardados de la luz y evitando que la muestra se caliente.

La entrega en el laboratorio se realizará, como norma general, dentro de las 24 horas posteriores a la toma; no obstante, este período puede variar en función de las condiciones de conservación del agua y del tipo de determinaciones que se vayan a realizar. En la tabla 2 se muestran los conservadores, volumen de muestra y tiempos máximos de almacenamiento recomendados para cada determinación. Estos datos deberán adaptarse a cada caso particular, siendo los métodos descritos en el apartado anterior los adecuados para campañas rutinarias. Estas indicaciones se hacen sin perjuicio de que el laboratorio que realice los análisis las modifique en función de la técnica analítica empleada.

Las muestras para análisis microbiológico deben ser analizadas en el menor tiempo posible, preferiblemente antes de 1 hora desde el momento del muestreo y siempre antes de 6 horas. Las muestras deben guardarse refrigeradas y en la oscuridad pero nunca han de ser congeladas.

Las muestras destinadas al análisis de metales pesados deben ser tratadas de forma diferente según se quieran determinar los metales totales o sólo los disueltos. Si se van a analizar los metales disueltos han de ser filtradas in situ para prevenir la adsorción o desorción y acidificadas con ácido nítrico hasta un pH inferior a 2. Si se quiere determinar el contenido total de metales, la muestra no deberá ser filtrada.

En muestras para determinaciones microbiológicas, cuando se sospeche que el agua haya sido tratada con algún agente desinfectante y contenga restos de cloro, cloraminas u ozono, será necesario neutralizar su efecto bactericida; para ello se añaden a los frascos antes de su esterilización una cantidad suficiente de tiosulfato sódico (0,4 ml de una solución acuosa al 3% de tiosulfato sódico cristalizado en 500 ml de muestra). Esta solución puede añadirse de forma sistemática a todos los frascos para determinación microbiológica ya que en el caso de que el agua no contenga cloro la presencia de tiosulfato a esas concentraciones no posee efectos nocivos sobre la población bacteriana del agua.

La estabilización de los componentes de las muestras de agua mediante la adición de conservantes químicos debe ser realizada con gran cuidado, los conservantes no deben interferir con la determinación analítica, en caso de duda debe llevarse a cabo una prueba para comprobar la compatibilidad. Durante el análisis debe tenerse en cuenta, al realizar el cálculo de los resultados, las posibles diluciones introducidas al añadir los conservantes.

Cuando se determinen elementos a nivel de traza debe realizarse un ensayo en blanco para asegurar que los conservantes no introducen cantidades adicionales de los elementos a determinar.

En la tabla adjunta se muestran, para los parámetros normalmente determinados en las aguas subterráneas, las técnicas de conservación reco-

mendadas y el tiempo que pueden estar guardadas las muestras. Estas recomendaciones no deben ser tomadas en términos absolutos, dependiendo de factores tales como la manipulación a la que se someta la muestra, los recipientes para el transporte y conservación, la precisión y objetivos del muestreo, la técnica analítica, etc. puede ser necesario elegir un conser-

vante u otro o introducir modificaciones a la técnica elegida.

En la tabla sólo se muestran las determinaciones más comunes, para otros parámetros específicos es preciso referirse a la bibliografía especializada que se recoge en el último apartado de este trabajo.

Tabla 2.- Técnicas de conservación de muestras de agua para análisis químicos o físico-químicos.

Parámetro	Recipiente (*)	Conservante	Tiempo máx. (**)	Observaciones
Alcalinidad Acidez	P o V	Refrigeración	24 horas	Preferible determinación in situ
Amonio	P o V	Refrigeración	6 horas	
Arsénico	P o V	pH<2	1 mes	
DBO	P o V. El vidrio es preferible en caso de baja DBO	Refrigeración	24 horas	Almacenar en oscuridad
Calcio	P o V		24 horas	Hasta 48 horas pero debe tenerse cuidado con muestras que presenten un CE>70mS/cm
		pH<2	1 mes	La acidificación (no usar SO ₄ H ₂) permite determinar el calcio en la misma muestra que otros metales.
Cianuros	P	Refrigeración. NaOH a pH>12. 0,6 g ácido ascórbico.	14 días	El método de conservación dependerá del método de análisis utilizado
Cloruros	P o V		1 mes	
Color	P o V	Refrigeración	24 horas	Almacenar en oscuridad
Conductividad	P o V	Refrigerar	24 horas	Almacenar en oscuridad
Dureza	HNO ₃ a pH<2		1 mes	
DQO	P o V. El vidrio es preferible en caso de baja DQO	pH<2 con SO ₄ H ₂ . Refrigerar		Almacenar en oscuridad
Fluoruros	P		1 mes	No emplear PTFE
Metales disueltos	P o V	Filtrar y acidificar a pH<2	1 mes	Excepto mercurio
Metales totales	P o V	Acidificar a pH<2	1 mes	Excepto mercurio
Mercurio total	P o V	pH<2 con HNO ₃ y adición de K ₂ Cr ₂ O ₇ hasta una concentración final del 0,05%	1 mes	Debe tenerse un especial cuidado en que los recipientes para la toma de muestra no estén contaminados

Tabla 2. (Continuación)

Parámetro	Recipiente (*)	Conservante	Tiempo máx. (**)	Observaciones
Nitrato	P o V	pH<2 o refrigeración Filtrado a 0,45µ y refrigeración	24 horas 48 horas	
Nitrito	P o V	Refrigeración	24 horas	
pH	P o V	Guardar a menor T° que la inicial	6 horas	El pH debe determinarse en el momento de la toma de muestra
R.S.	P o V	Refrigeración	24 horas	
R alfa	P o V	HNO ₃ , a pH<2	1 mes	
R beta	P o V	HNO ₃ , a pH<2	1 mes	
Fósforo disuelto	VB o V	Refrigeración tras filtrado inmediato in situ	24 horas	Se recomienda el uso de botellas yodizadas
Fósforo total	VB o V	Refrigeración	24 horas	Se recomienda el uso de botellas yodizadas
		pH<2 con H ₂ SO ₄	1 mes	
Potasio	P		1 mes	
Sodio	P		1 mes	
Sulfatos	P o V	Refrigeración	1 semana	En aguas residuales añadir peróxido de hidrógeno para evitar la formación de sulfuro de hidrógeno
Sulfuros	P o V	Alcalinizar con carbonato de sodio y fijar con acetato de cinc		Analizar lo antes posible
Turbidez	P o V		24 horas	La determinación debe hacerse preferentemente in situ

(*) P= Plástico. V=Vidrio. VB=Vidrio borosilicatado
(**) = La indicación 1 mes significa que la conservación no presenta una dificultad particular.

Fuente AENOR 1997 y US EPA 1986 modificados.