



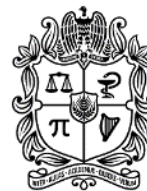
# GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ



1. Información General del Documento	
Objetivo:	Establecer las pautas de acción y recomendaciones para desarrollar un muestreo representativo de aguas subterráneas en pozos y piezómetros.
Alcance:	Comprende el proceso de purga y muestreo de aguas subterráneas en pozos y piezómetros en la Ciudad Universitaria y los predios externos que conforman la Sede Bogotá.
Justificación (Opcional):	Antes de desarrollar cualquier tipo de interpretación hidroquímica, el hidrogeólogo debe tener en cuenta si las muestras de agua subterráneas a analizar son representativas de las condiciones del subsuelo. Por tal motivo es necesario contar con muestras tomadas bajo un estándar de forma que estas sean comparables en el tiempo y los recursos invertidos sean optimizados.
Definiciones:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Abatimiento:</b> descenso del nivel freático en un acuífero libre o de la superficie potenciométrica en un acuífero confinado debido por el bombeo de agua subterránea a través de pozos o piezómetros (Tomado de Fetter, 2014).</li> <li>2. <b>Acuífero:</b> roca o sedimento de una formación, grupo o formación, o parte de una formación que se encuentra saturada y que es suficientemente permeable para transmitir de forma económicamente viable cantidades de agua a través de pozos y manantiales. (Tomado de Fetter, 2014)</li> <li>3. <b>Agua subterránea:</b> El agua contenida en los poros interconectados de materiales que se encuentran por debajo del nivel freático en acuíferos libres o que se encuentra en acuíferos confinados. (Tomado de Fetter, 2014).</li> <li>4. <b>Bailer:</b> Un dispositivo usado para la extracción de muestras de agua de un pozo de pequeño diámetro o piezómetro. Un bailer comúnmente es una sección de tubería atada a una cuerda con una válvula cheque en su fondo. (Tomado de Fetter, 2014)</li> <li>5. <b>Bomba inercial:</b> Mecanismo de bombeo que consiste de un tramo de tubo equipado con una válvula de retención en el extremo inferior. El tubo se baja por el pozo hasta la profundidad requerida y luego se opera levantando y bajando el tubo a una distancia corta (entre 0.3 y 0.5 m). El movimiento se puede lograr manualmente o mediante un dispositivo de elevación mecánico (ICONTEC, 2021).</li> <li>6. <b>Bomba peristáltica:</b> Bomba autocebante de bajo flujo que funciona mediante succión, compuesta por un rotor con rodillos. Las tasas de bombeo pueden controlarse variando la velocidad del rotor (ASTM, 2011).</li> <li>7. <b>Bomba sumergible:</b> Consiste de un motor eléctrico sellado que alimenta un pistón o impulsor que lleva el agua desde el fondo de la tubería en la que se encuentra sumergido el equipo hasta la superficie (ASTM, 2011)</li> </ol>



8. **Bomba vejiga:** Comprende una cámara de muestra que tiene una válvula de retención en su entrada, otra válvula de retención en su salida y una vejiga inflable a gas en su interior. La vejiga es inflada desinflada usando gas comprimido que llena el muestreador y eleva la muestra hacia la superficie, a través de una manguera de suministro (ICONTEC, 2021).
9. **NAPL:** Sigla de Non aqueous phase liquid, líquidos en fase no acuosa, son compuestos orgánicos de baja solubilidad que pueden ser más densos (DNAPL) o menos densos que el agua (LNAPL) (Tomado de Fetter, 2014).
10. **NORM:** Del inglés *Naturally occurring radioactive material*, materiales radioactivos naturales. Incluyen a todos los materiales naturalmente radioactivos para los que las actividades humanas han aumentado su potencial de exposición comparado con situaciones normales.
11. **Parámetros físicos:** Entiéndase todos aquellas mediciones que pueden ser realizadas en campo para monitorear el desarrollo del procedimiento de purga. Incluyen, pero no se limitan a conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, potencial óxido reducción (Eh), temperatura y turbidez.
12. **Piezómetro:** Pozo perforado que no es usado para la extracción de aguas subterráneas, de pequeño diámetro y que se emplea para la medición de niveles piezométricos o para la toma de muestras de calidad de las aguas subterráneas (Tomado de Fetter, 2014)
13. **Potencial redox u óxido reducción (Eh):** Medida de la energía necesaria para arrancar electrones de los iones de un cierto medio químico. En el agua natural la presencia o ausencia de oxígeno libre es una de las causas principales de la variación de este parámetro. Se expresa en milivoltios (mV) (Tomado de Davis, 1971).
14. **Pozo:** Captación vertical de agua subterránea construida mediante perforación mecánica de considerable profundidad en comparación con su diámetro. Se encuentran revestidos con tubería en PVC o acero, que en alguno de sus tramos cuentan con rejillas (tubería con ranuras) para permitir el acceso de agua desde los acuíferos. Comúnmente cuentan con un sistema de bombeo para elevar el agua hasta superficie.
15. **Purga:** Proceso que se realiza inmediatamente antes del muestreo, en el que se remueve el agua estancada al interior del punto de agua, causando el reemplazo del agua proveniente de la formación de interés, que es representativa de las condiciones del subsuelo (Tomado de U.S EPA, 2017)
16. **Turbidez:** Propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. A mayor intensidad de dispersión de la luz, la turbiedad será mayor. Como unidades se emplean las unidades de turbiedad nefelométrica (NTU). (Tomado de IDEAM, 2007)



	<p><b>17. U.S EPA:</b> Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos por sus siglas en inglés Environmental Protection Agency.</p>
<p>Documentos de Referencia (Opcional):</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells (D4448-01). American Society for Testing and Materials (ASTM), 2011.</li> <li>2. Protocolo de Monitoreo del Agua - Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE), Bogotá D.C. Colombia 2017.</li> <li>3. Guía para el muestreo de aguas subterráneas (NTC-ISO 5667-11) Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).2021.</li> <li>4. Groundwater Sampling Operating Procedure. U.S Environmental Protection Agency. Athens, Georgia, EE.UU. 2017.</li> </ol>
<p>Condiciones Generales:</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La frecuencia de muestreo del agua subterránea estará supeditada al 1) tipo de acuífero (libre o confinado) y de sus características hidráulicas, 2) al uso para el que se tienen destinadas las aguas subterráneas, 3) al régimen climático del área de estudio y 4) a la sospecha o no de contaminación antrópica.</li> <li>2. La elección del método de purga estará influenciada por las condiciones particulares del punto de agua a muestrear, siendo el método óptimo aquel que brinde muestras representativas del subsuelo, con mediciones estables de parámetros físicos y el menor contenido de turbidez posible.</li> <li>3. Esta guía tiene como alcance definir los procedimientos relacionados con la correcta toma de muestras de agua subterránea para la realización de análisis en laboratorio. Se debe tener en cuenta que, dependiendo de los requerimientos de la autoridad ambiental, puede ser necesario que los análisis sean desarrollados por un laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Así pues, la elección de estos laboratorios sobre otros es preferida.</li> <li>4. La presente guía se ha basado en gran medida en el Groundwater Sampling Operating Procedure de la U.S Environmental Protection Agency (US EPA), debido a que contiene la descripción más detallada relativa a la toma de muestras de agua subterránea. El lector puede encontrar en su idioma original el documento a través del enlace <a href="https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-07/documents/groundwater_sampling301_af.r4.pdf">https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-07/documents/groundwater_sampling301_af.r4.pdf</a>, como fuente secundarias se tomó la norma ASTM D4448-01 y la norma NTC-ISO 5667-11.</li> <li>5. Los equipos empleados para la medición de los parámetros físicos deben encontrarse debidamente calibrados, antes de la realización de la campaña de muestreo.</li> </ol>



## 2. Desarrollo del contenido

### 2.1 Planeación: selección de puntos y frecuencia de muestreo

Para la selección de los puntos a muestrear se debe considerar, en primer lugar, el objetivo del estudio, el tamaño del área de influencia y su hidrogeología (acuíferos o acuitardos a monitorear), los resultados obtenidos en el pasado y la presencia esperada o no de contaminación (de ser así la naturaleza de los materiales liberados al subsuelo). Con estos factores en mente se toma un número de muestras que dé una representatividad espacial adecuada para el área de trabajo. En el caso de que se sospeche la presencia de contaminantes en el subsuelo además de los puntos presentes en el área se deben incluir dentro de la campaña, puntos en posiciones ascendente y descendente al lugar contaminado, con base en el gradiente hidráulico, para que sean tenidos como puntos de comparación. En caso de que se desconozca la variación en la composición del agua subterránea se sugiere realizar campañas de muestreo que coincidan con el final de las temporadas secas y de lluvias, en caso de que no se haya identificado mayor variación se puede espaciar más las campañas para el seguimiento de las variables de interés.

La selección de los parámetros a ser analizados en el laboratorio se debe realizar en función del objetivo del estudio. Así pues, para el estudio de la composición del agua subterránea, se deben considerar al menos los iones mayores (Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>), aquellos que en condiciones normales dan cuenta de más del 90% del contenido de especies disueltas en el subsuelo. En caso de que se sospeche la contaminación por elementos que comúnmente son traza, como metales pesados (As, Co, Ni, Sn, Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Cr), sustancias orgánicas (por ejemplo NAPL), pesticidas o NORM, estos compuestos deben ser incluidos en el muestreo. La elección de estos parámetros estará dada por la composición del contaminante liberado al subsuelo. Para el caso de sustancias orgánicas, se deben incluir también aquellas especies que pueden producirse durante su proceso de descomposición y que también pueden ser peligrosas. Para los casos en las que se realiza el seguimiento a las aguas subterráneas destinadas para consumo humano, los parámetros y las frecuencias estarán determinados por la legislación vigente relativa al tema (Resolución 2115 de 2007).

Antes de comenzar la campaña, el operario debe conocer los datos básicos de la construcción de la captación (profundidad, tramos con filtros, tramos con tubería ciega, diámetro, material del revestimiento). Es deseable conocer la variación histórica de los niveles piezométricos en el punto para apoyar los cálculos relacionados con el procedimiento de purga que se detallarán en el apartado 2.3. De igual forma contará con los equipos para la medición de los parámetros físicos debidamente calibrados. Como fuente de información, la Oficina de Gestión Ambiental (OGA) de la Sede Bogotá pone a disposición del público en general la información de diseños ( <https://ogavisores.unal.edu.co/hidrosfera/> ) y niveles piezométricos ( <https://ogabogota.unal.edu.co/componente-natural/hidrosfera/indicadores/> ). En caso de que alguno de los puntos a muestrear no esté dentro de la base de datos de la OGA, se solicita al usuario ponerse en contacto a través del correo [oga\\_bog@unal.edu.co](mailto:oga_bog@unal.edu.co) ya sea para enriquecer la base de datos o para suministrar la información requerida.

### 2.2 Precauciones

A la hora de planear el recorrido para el muestreo se deben tener en cuenta los resultados de análisis pasados, programando el inicio de la campaña en los puntos en los que no se ha identificado contaminación o menor grado de la misma para terminar en aquellos más contaminados o de los que se tenga sospecha. Con esto se minimiza el riesgo de contaminación cruzada.

En caso de usar muestreadores de profundidad (bailer) para el muestreo, se debe usar uno por punto, en caso de que estos sean plásticos. Por el contrario, puede emplearse uno metálico para todos los puntos tras realizar el correspondiente proceso de limpieza entre cada uno de ellos.



Se debe prestar especial cuidado para evitar que se contaminen las muestras que han sido tomadas, garantizando que no se den cambios abruptos en las condiciones de almacenamiento que alteren sus propiedades.

Las muestras deben permanecer bajo custodia de la persona que realiza el muestreo hasta que sean entregadas a un tercero (el laboratorio o alguien autorizado por el mismo).

Las cadenas de custodia deben ser diligenciadas y se deben encontrar junto a las muestras, hasta que el conjunto le sea entregado al laboratorio. Estos documentos son suministrados por el laboratorio encargado del análisis de las muestras.

Para cada una de las locaciones muestreadas se debe emplear un par de guantes desechables sin talco, que se colocarán inmediatamente antes de iniciar el muestreo. Los guantes no deben entrar en contacto con el medio a muestrear y deben ser cambiados si su limpieza o integridad se ven comprometidas durante el muestreo.

Las neveras en las que se almacenen muestras contaminadas o sospechosas deben ser diferentes a las que almacenan muestras de control.

En lo posible, un miembro del grupo debe llevar el registro escrito y fotográfico de las actividades, así como cualquier formato necesario, mientras que los demás se encargan del muestreo.

Se debe reducir al máximo posible la agitación de la muestra, reduciendo el caudal de entrada al recipiente destinado para almacenar la muestra, que proviene ya sea del bailer o línea de flujo de la bomba. Ni el bailer ni la línea de flujo deben entrar en contacto con el recipiente que almacenará las muestras.

Los recipientes que almacenan las muestras deben estar preparados con antelación y se deben encontrar debidamente rotulados, de forma que lo allí escrito sea legible y no se borre durante el camino entre el punto de muestreo y el laboratorio. El procedimiento de preservación de las muestras (por ejemplo acidificación o refrigeración) debe ser realizado tan pronto como sea posible para aquellas muestras que lo requieran.

Los recipientes con las muestras se deben almacenar en neveras con hielo o refrigerantes, evitando al máximo el agua estancada en ellos. Se debe revisar periódicamente el estado del hielo o refrigerantes con el objetivo de reemplazarlos en caso de ser necesario y garantizar así una temperatura constante.

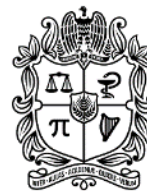
Los equipos utilizados en el muestreo deben estar contruidos de materiales que no introduzcan contaminantes o que alteren los analitos de interés. Ver sección 2.4

### **2.3 Métodos de purga**

En términos generales existen dos métodos equivalentes para la purga de los puntos de agua: el método de volúmenes múltiples (multiple-volume purge) y el de bajo caudal (low-flow purge). A continuación, se procederá a explicar cada uno de ellos

#### **2.3.1 Método de volúmenes variables**

Este método requiere remover al menos tres volúmenes almacenados en el pozo, considerando la columna de agua comprendida entre el nivel piezométrico medido al inicio de las actividades en el sitio y la profundidad final del punto. El muestreo se realiza cuando se ha encontrado una estabilización de los parámetros físicos medidos durante el proceso de purga. Este método tiene como principal desventaja el volumen considerable de agua que debe desalojarse. Lo anterior es especialmente cierto con aquellos puntos con profundidades considerables y aquellos que tienen un diámetro mayor, debido a que el volumen de un cilindro es función del cuadrado de su radio.



Antes de iniciar las actividades de cualquier tipo de purga, se debe registrar cuidadosamente el punto a muestrear con miras a identificar y reportar cualquier tipo de anomalía en el B.FT.SGA.094 - Formato para el registro en campo de datos de purga de puntos de aguas subterráneas. Acto seguido se debe registrar el nivel estático en la captación, para tal fin se debe disponer de un punto de referencia para que posteriores mediciones sean comparables. En caso de que se seleccione el método de caudal variable antes de iniciar el procedimiento se debe calcular el volumen mínimo a desalojar, a partir de los datos constructivos conocidos mencionados en el apartado 2.1 y del nivel estático registrado. Esto se realiza mediante la siguiente expresión

$$V (L) = \pi r^2 h / 1000$$

Donde  $V$  es un volumen de agua almacenada en el punto expresado en litros,  $r$  es el radio de la tubería, expresado en metros, y  $h$  la altura de la columna de agua, es decir la resta entre la profundidad del punto y el nivel piezométrico medido, también en metros. Debe recordarse que comúnmente se refiere a las tuberías por su diámetro y no su radio, por lo que se debe tener esto en mente a la hora de realizar los cálculos.

El B.FT.SGA.094 Formato para el registro en campo de datos de purga de puntos de aguas subterráneas fue diseñado para registrar los datos básicos del punto a purgar y muestrear, incluyendo el diámetro, profundidad, nivel estático, así como los parámetros físicos a monitorear mientras se desarrolla el proceso. Para este método no es necesario registrar la profundidad del nivel piezométrico conforme se registran los parámetros físicos.

En general se considera que existe estabilización si al menos durante tres mediciones consecutivas, se obtienen valores de pH que varían hasta 0.1 unidades y la conductividad eléctrica no varía más allá de 5%. En cuanto a la turbidez puede o estabilizarse o encontrarse por debajo de 10 NTU. Los parámetros como el potencial redox (Eh) y el oxígeno disuelto en caso de ser utilizados deben ser registrados con una celda de flujo que reduzca la entrada de oxígeno al sistema. Para los dos anteriores parámetros se busca una variación entre 0.2 mg/L o 10% de cambio en la saturación y de 20 mV. Como mínimo se debe hacer seguimiento al pH, la conductividad eléctrica y la turbidez. Se deja al criterio del personal de muestreo la selección del intervalo de medición de los parámetros físicos, no obstante, se debe tener en cuenta que si se toman con poco espaciamiento se podría obtener una estabilidad falsa que no representa las condiciones reales.

Para el método del volumen múltiple, una vez se han extraído entre 3 y 5 volúmenes de agua del punto, se puede tomar la decisión de si se ha alcanzado la estabilidad en los parámetros físicos. No obstante, si después de 5 volúmenes aún no se ha alcanzado dicha estabilidad o si se obtienen muestras con alta turbidez, el encargado del muestreo puede decidir si realiza o no el muestreo o si por el contrario continua con la purga. De igual forma si tras desalojar cinco volúmenes se tiene estabilidad en los parámetros físicos y reducción de la turbidez, se puede continuar extrayendo agua para obtener la mejor muestra posible.

Si se emplea una bomba sumergible para el proceso de purga, se debe tener en cuenta la tasa de recuperación del pozo o piezómetro, esto es, si esta es más rápida que el caudal bombeado se debe colocar la tubería de succión lo más cercana posible al tope de la columna de agua, y si por el contrario, la tasa de bombeo es mayor a la de recuperación la tubería se debe bajar más acomodándose a ella. Se debe evitar colocar la tubería de succión al fondo del punto debido a que es posible que el agua que queda en el tope de la columna, y que probablemente sea muestreada, no sea representativa.

### **2.3.2 Método de bajo caudal**

El método de bajo caudal implica purgar el punto extrayendo un caudal relativamente bajo, lo que minimiza el abatimiento en el punto. La entrada de la succión se debe hallar a la profundidad a la que están los filtros en el piezómetro. Así, se espera que la parte superior de la columna de agua siga siendo agua estancada mientras que la que



se bombea será representativa del acuífero. El muestreo se lleva a cabo cuando los parámetros físicos se estabilizan, la turbidez es baja y el abatimiento se ha estabilizado. Si bien este método es más rápido que el del de volúmenes múltiples y se extrae un menor volumen de agua, se requiere de más experiencia y juicio por parte del equipo de muestreo para la toma de las muestras. Para este método se debe tener especial cuidado con la tubería a usar, esto debido a que el polietileno de baja densidad y el polipropileno son propensos a sorción, por lo que se recomienda usar tubería de Teflon.

En caso de que se escoja el método de bajo caudal, es necesario diligenciar en el B.FT.SGA.094- Formato para el registro en campo de datos de purga de puntos de aguas subterráneas el campo de nivel piezométrico (que en cierto punto debe variar poco). La ubicación de la tubería de succión debe encontrarse en la mitad del intervalo con filtros. Se recomienda bajar la tubería hasta la mitad del intervalo ranurado de forma cuidadosa para no aumentar la turbidez del agua. Antes de iniciar las actividades se mide el nivel con una sonda eléctrica, que permanece durante el desarrollo de la purga para la medición continua del nivel. Se espera un pequeño abatimiento que tienda a estabilizarse y que produzca agua a un caudal de entre 100 a 200 mL/min. Bombear a mayores caudales puede aumentar la turbidez del agua y si se tiene mucho abatimiento, incluso producir que parte de los filtros queden en contacto con el aire, que no es deseable. Si no se consigue un abatimiento constante se debe optar por el uso de otro método. En general se debe desalojar un volumen de 3 litros por cada metro de tubería ranurada o de filtro de 2", para obtener estabilidad en los parámetros. Una vez se alcanzada se procede inmediatamente al muestreo.

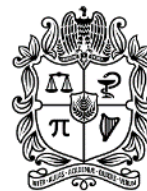
### **2.3.3 Otros métodos**

Además de los dos métodos citados anteriormente, existen métodos que han sido adaptados para situaciones en las que se debe minimizar el volumen del agua para la purga, para reducir los costos de muestreo a largo plazo o cuando el volumen necesario para purgar satisfactorio un punto no es viable. Estos métodos se basan en el supuesto de que el agua que se encuentra en los intervalos con filtros está en equilibrio con el agua almacenada en la formación. Así pues, esta clase de métodos depende de que si se cumplen o no estas condiciones en el punto en cuestión y por tanto no es recomendable en primeros estadios del monitoreo. Antes de optar por usar este método, debe realizarse una comparación entre los resultados obtenidos por esta clase de métodos y los de volúmenes múltiples o de bajo caudal, para evitar sesgos que pueden presentarse en caso de que exista estratificación al interior del pozo o flujo vertical. No se recomienda el uso de estos métodos si: se tienen bajas conductividades hidráulicas ( $<9 \times 10^{-3}$  m/d), se tienen bajos gradientes de superficie, se tienen rocas fracturadas, los puntos tienen un filtro ranurado largo o se tienen filtros a través de materiales con diferentes propiedades hidráulicas. En el caso en el que se opte por la purga mediante el método de volúmenes variables y el piezómetro quede completamente vacío, o en el caso de que no se mantenga un abatimiento constante para el método de bajo caudal, el uso de métodos que no requieren purga es una opción viable.

## **2.4 Consideraciones sobre los equipos y materiales**

Los equipos seleccionados para el muestreo dependerán del método de purga y muestreo seleccionado, de la profundidad a la que se tiene el nivel piezométrico, la cantidad de agua que debe ser bombeada y consideraciones sobre la calidad de la muestra a tomar. Cada uno de los equipos tiene sus ventajas y desventajas, y debido a que se pueden tener variaciones entre uno y otro se recomienda utilizar el mismo método a lo largo del tiempo para obtener resultados comparables. A continuación, se enlistarán algunos de los equipos que se encuentran en el mercado con sus particularidades, usos y limitaciones

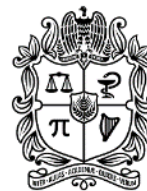
- **Bombas peristálticas**  
Son simples, económicas y fiables cuando el agua no se encuentra a más allá de 10 m de la bomba en superficie, donde teóricamente está el límite de succión. El rango de caudales que pueden ser extraídos con estos equipos está entre 0.04 y 30 L/min. Para cada punto se debe usar una tubería nueva en Teflon.



- **Bombas inerciales**  
El uso principal de este tipo de dispositivos es el desarrollo de piezómetros y debido al mecanismo en el que se basa su funcionamiento, es poco probable que reduzcan la turbidez del agua a niveles aceptables y que produzcan el escape de gases disueltos en el agua. Por tanto, no se recomiendan para las etapas finales de la purga ni para el muestreo. Dependiendo de la velocidad con la que se mueva la bomba y del diámetro de tubería se pueden extraer hasta 7.6 L/min. Para su uso en las primeras etapas de la purga la válvula se baja hasta la profundidad ranurada operando la válvula, cambiando la profundidad a la que se opera para limpiar todas las secciones ranuradas. Si se desea se puede llevar al fondo del punto para evacuar limo o arcillas que se hayan sedimentado. Una vez se haya identificado una disminución en la turbidez, se debe usar otro mecanismo para continuar con el proceso de purga.
- **Bombas vejiga**  
Este tipo de dispositivos son capaces de extraer agua a profundidades moderadas, pero no a grandes caudales. Si bien son ideales para el muestreo de compuestos orgánicos volátiles, cada pulso de la bomba produce surgencia y con ella un aumento en la turbidez que afecta la calidad de la muestra. Antes de muestrear se debe desinfectar los componentes de la bomba. En cada punto se debe usar una nueva tubería de Teflon o se debe dejar una tubería dedicada para cada punto.
- **Bombas sumergibles**  
Existen de diversas capacidades para ser usadas en tuberías de hasta 2" de diámetro. Son útiles para desalojar grandes volúmenes de agua o cuando el nivel se encuentra a profundidades considerables. Para el método de volumen variable, la bomba se emplea para el proceso de purga, mientras que el muestreo se hace con bailer. Se debe colocar una válvula cheque al final de la tubería para evitar que el agua almacenada en esta vuelva al punto a muestrear. Entre punto y punto se debe realizar un proceso de limpieza. Si se emplea para el muestreo por bajo caudal, se debe realizar el proceso de limpieza entre puntos y se debe usar ya sea una nueva tubería por punto o dejar una tubería dedicada exclusivamente al punto. En el caso de que se trate de muestrear un pozo que cuenta con un sistema de bombeo dedicado exclusivamente a él, se debe considerar si este mecanismo se opera continuamente o no. En caso de que se haga la extracción casi continua es posible realizar la toma de la muestra tras algunos minutos de encendida la bomba, procurando tomar la muestra a boca de pozo. En caso de que el pozo no sea operado comúnmente, se puede efectuar el procedimiento descrito para el método de volumen variable.
- **Bailer**  
Usados comúnmente para el muestreo tras realizar la purga mediante el método del volumen variable. Solo se recomienda su uso para la purga cuando no existe ninguna otra alternativa. El movimiento ascendente y descendente dentro del pozo o piezómetro no contribuye a la disminución en la turbidez que se busca durante el proceso de purga. Se debe tener cuidado al ingresarlo en la columna de agua y al retirarlo para evitar que se pierdan compuestos volátiles. Se prefiere el uso de otros métodos para el muestreo y purga.

En cuanto a los materiales de los equipos a usar estos dependerán en gran medida de los analitos a ser determinados. PVC es una buena opción como material a emplear en los equipos, no obstante, su integridad estructural se ve afectada por la presencia de solventes del material como los NAPL. Estos compuestos producen la degradación del material debilitándolo y eventualmente produciendo su ruptura. El acero inoxidable es un material considerado inerte, aunque se debe tener en cuenta el tipo de elementos que contiene según su clase, ya que se han reportado corrosión que puede liberar ciertos contaminantes. Comúnmente la descontaminación del acero inoxidable y el PVC puede realizarse de forma efectiva mediante una solución caliente con detergente, seguido de enjuague con agua caliente.

En general el politetrafluoroetileno (Teflon) es un material inerte que es empleado en materiales para el muestreo de aguas subterráneas y que es recomendado ampliamente por la EPA, no obstante su costo es más elevado. Ninguno de los materiales usados para el muestreo de aguas subterráneas puede ser considerado completamente inerte, existiendo



la posibilidad de que absorba en ciertas medidas los compuestos que se encuentran en el agua o que liberen sustancias en menor o mayor medida. Para tener un mayor detalle sobre los materiales se sugiere al lector remitirse a la norma ASTM D4448-01. Como método para asegurarse de la calidad de la limpieza de los equipos se propone la toma de una muestra blanco, obtenida tras este proceso, con el fin de comprobar los contenidos de fondo que pueden provenir del equipo de muestreo o del laboratorio.

## 2.5 Toma de muestras

Una vez se ha terminado de forma satisfactoria el proceso de purga y se está listo para la toma de la muestra, se recomienda llevar un orden para el llenado de los diferentes frascos. El tipo de frasco a emplear para analito será concertado con el laboratorio. A este respecto se puede encontrar más información en la norma ASTM D4448-01. En primer lugar, se debe llenar los recipientes destinados para almacenar las muestras a las que se les analizarán metales, seguido de los otros analitos inorgánicos, para terminar con los compuestos orgánicos.

Durante el muestreo, parte de la muestra será reservada para el análisis de parámetros físicos que serán reportados en la cadena de custodia de la muestra. No sobra destacar la importancia de estos parámetros ya que reflejan las condiciones en campo, que pueden variar rápidamente y pueden ser usadas para comparar el estado de la muestra una vez ha llegado al laboratorio. De forma paralela a la toma de las muestras para su envío al laboratorio se debe diligenciar la cadena de custodia de las muestras, que incluye, pero no se restringe a: lugar de toma de la muestra, tipo de muestra de agua, parámetros físicos, parámetros a analizar, mecanismos de preservación.

En general se debe evitar filtrar las muestras, esto para considerar los coloides que se encuentran en el agua. En este sentido el proceso de purga busca reducir la turbidez en la muestra para evitar recurrir a estas opciones. Para la determinación de compuestos orgánicos no se debe realizar ningún proceso de filtración.

Para la toma de parámetros bacteriológicos se debe contar con elementos de muestreo y los recipientes esterilizados. El frasco no debe ser llenado en su totalidad y debe enviarse al laboratorio, para que esté allí en menos de 24 horas.

## 2.6 Preservación de las muestras

Después de colectadas las muestras, se deben preservar aquellas que lo requieran, tan pronto como sea posible. En caso de que se requiera reducir el pH, se debe comprobar que las condiciones para la preservación se cumplan, por medio del uso de papel tornasol o pH. La tira nunca debe ser puesta en la muestra. Aquellas muestras que requieran refrigeración deben ser puestas en una nevera con hielo tan pronto como sean tomadas. Se debe mantener una temperatura de  $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , durante el tránsito de la muestra hasta el laboratorio. La cadena de custodia debe empacarse en una bolsa plástica y adherirse a la nevera para protegerla del agua.

Elaboró:	Equipo OGA	Revisó:	Apoyo calidad OGA	Aprobó:	Jefe de Oficina de Gestión Ambiental
Cargo:	Profesional OGA	Cargo:	Apoyo calidad OGA	Cargo:	Jefe de Oficina de Gestión Ambiental
Fecha:	13 de Enero de 2022	Fecha:	01/03/ 2022	Fecha:	02/03/2022