

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS  
EN LA INVESTIGACIÓN DE  
SITIOS CONTAMINADOS  
MUESTREO DE AGUAS  
SUBTERRÁNEAS



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

# MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS EN LA INVESTIGACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



Implementada por

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

## **Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de aguas subterráneas**

### **Publicado por:**

© Ministerio del Ambiente  
Av. Javier Prado Oeste N° 1440  
San Isidro, Lima, Perú  
Teléfono: (511) 611-6000

Cooperación Alemana, implementada por la Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Bonn y Eschborn, Alemania

Fondo Regional de Cooperación Triangular en América Latina y el Caribe del Ministerio Federal de  
Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania  
Bonn y Eschborn, Alemania

“Proyecto Fortalecimiento del Sistema de Gestión Integral de Sitios Contaminados”  
Cooperación Triangular México – Perú – Alemania  
Responsable: Ingrid Cornejo  
[www.giz.de](http://www.giz.de)

Dirección General de Calidad Ambiental  
Giuliana Patricia Becerra Celis  
Directora General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente  
Av. Javier Prado Oeste N° 1440, San Isidro  
T +51 1 6116000  
[gbecerra@minam.gob.pe](mailto:gbecerra@minam.gob.pe)

### **Versión**

Septiembre 2016

### **Revisión, coordinación y edición de contenido**

Vilma Morales  
Coordinadora del área de gestión de riesgos ambientales,  
sustancias químicas y ecoeficiencia , Ministerio del Ambiente de Perú

Achim Constantin  
Experto Integrado – CIM/GIZ, Ministerio del Ambiente de Perú

Catherine Cardich Salazar  
Coordinadora de la Red Latinoamericana de  
prevención y gestión de Sitios Contaminados - ReLASC

### **Texto**

Andreas Marker  
Consultor internacional

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación bajo la condición de que se cite la fuente.

# Índice

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo</b>	<b>2</b>
<b>Procedimiento</b>	<b>3</b>
<b>Parte 1:</b>	
<b>Instalación de pozo de monitoreo de agua subterránea</b>	<b>5</b>
A. Perforación con hollow stem auger drill / barrilete helicoidal hueco.	5
B. Medición de la profundidad para definir la longitud del tubo/ pozo y la posición del filtro.	6
C. Instalación de pozo de monitoreo con tubo de PVC geo mecánico y filtro ranurado.	7
D. Inyección de la grava/arena del pre-filtro.	8
E. Purgar y limpiar el pozo.	11
F. Impermeabilización superior con bentonita y finalización con tapas plásticas.	12
G. Limpieza final del equipo.	13
<b>Parte 2:</b>	
<b>Muestreo de agua subterránea</b>	<b>14</b>
A. Purga del pozo - Rebajamiento del nivel de agua por bomba de flujo bajo ( <i>low flow</i> ) de purga.	14
B. Purga del pozo - Medición de los parámetros que indican estabilidad iniciar el muestreo durante la purga.	15
C. Toma de muestras.	16
D. Acreditación y calibración.	17

# 1.

## Introducción

El *Manual de Buenas Prácticas en la investigación de Sitios Contaminados: Muestreo de Aguas Subterráneas (desde ahora "Buenas Prácticas de Muestreo de Aguas Subterráneas")* contiene la descripción de actividades y secuencia de etapas que se deben seguir para garantizar la calidad y reproducibilidad de los resultados del muestreo.

En este documento se hace referencia a normas técnicas internacionales y guías peruanas que se deben conocer y aplicar, las cuales forman parte de los procedimientos descritos. Así también, el manual se basa en experiencias y datos empíricos obtenidos a lo largo del tiempo de un gran número de campañas de muestreo en sitios contaminados. Es importante recalcar que las Buenas Prácticas no sustituyen las guías técnicas publicadas por el MINAM, sino son complementarias y orientan la implementación de la normativa nacional.

Las *Buenas Prácticas de Muestreo de Aguas Subterráneas* involucran los procesos de perforación e instalación de pozo de monitoreo (piezómetro), la preparación del pozo para la toma de la muestra de agua (desarrollo del pozo), los procedimientos de monitoreo de los parámetros físico químicos antes y durante el muestreo, el almacenamiento, preservación y transporte de las muestras. Como parte de las Buenas Prácticas está el lavado del equipo de muestreo y la destinación de material no utilizado.

La implementación de las Buenas Prácticas, es decir, la ejecución de procedimientos adecuados de muestreo, es un proceso sometido a un sistema de control de calidad. Esto involucra la calidad del muestreo en campo, la calidad y calibración de los equipos utilizados y la calificación de los equipos técnicos.

Este documento no involucra estrategias de muestreo, ni presenta lineamientos para la ubicación de los puntos de muestreo en el plano horizontal y vertical. Tampoco abarca los procedimientos de análisis de laboratorio y sus correlatos sistemas de control de calidad ni los procedimientos de acreditación y calibración. La planificación de muestreo se debe orientar por normas o conceptos las cuales varían conforme al tipo de contaminación (superficial o profunda; tipo de contaminantes, medios ambientales potencialmente afectados - suelo, agua o gases de suelo, por ejemplo), objetivo de la investigación, histórica del sitio, conocimientos preexistentes de la contaminación, etc.

Los documentos marco sobre este tema son la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM (2014) y los Lineamientos y Procedimientos para la elaboración y evaluación de Informes de Identificación de Sitios Contaminados según D.S. N°002-2013-MINAM, D.S. N°002-2014-MINAM y RM N°137-2016-MINAM, entre otros, así como diferentes publicaciones a nivel internacional. El presente Manual se encuentra acompañado por un video realizado en campo que muestra paso a paso lo descrito (video N° 01).

# 2.

## Objetivo

Las *Buenas Prácticas de Muestreo de Aguas Subterráneas* tienen como objetivo brindar el alcance mínimo de los procedimientos necesarios para la ejecución de la toma de muestras de agua subterránea conforme estado de arte internacional. Además, orientar a los prestadores de servicio y autoridades competentes sobre un estándar en común.

Se entienden como Buenas Prácticas a las orientaciones técnicas para obtener muestras bajo criterios de diligencia, eficacia, eficiencia, aplicabilidad y repetitividad. Presentan un alcance mínimo de calidad de ejecución del muestreo para lograr muestras que son representativas para el medio muestreado. También presentan una idea sobre los equipos necesarios, su composición y su utilización en campo. En este sentido, deben ser aplicables independiente de normas y requisitos legales específicos. Las Buenas Prácticas se deben aplicar de igual modo en México, en Argentina, EEUU o Europa.

## Glosario de abreviaturas

COV	Compuesto Orgánico Volátil
COSV	Compuesto Orgánico Semivolátil
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
PID	Detector portátil de fotoionización
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno

# 3.

## Procedimiento

A continuación se describen los pasos directamente relacionados a la obtención de muestras representativas de suelo para su posterior análisis de laboratorio.

Es importante mencionar que existen varios factores que son de gran importancia para el muestreo de aguas subterráneas, como son:

- Estrategia (layout) de la ubicación de los pozos de monitoreo en función de las características del sitio.<sup>1</sup>
- Dinámicas hidráulicas de acuífero(s).<sup>2</sup>
- Posición y profundidad de filtro(s) en función de las características geológicas y litológicas del subsuelo.<sup>3</sup>
- Identificación y determinación de fase libre en pozos.

Estos temas no se describen en este documento porque son conceptos y actividades preparativas, acompañantes y adicionales al proceso de toma de muestras de agua. La Tabla N° 1 lista las etapas adicionales necesarias para garantizar un adecuado muestreo de agua subterránea.

---

<sup>1</sup> Es de gran importancia conocer la dirección de flujo local del agua subterránea. Para esto es indispensable la nivelación topográfica de las bocas de pozos (en cm) a través de métodos geodésicos (teodolito y GPS diferencial). Sin esta medición no se puede relacionar la profundidad de la napa freática medida en los pozos y consecuentemente no se logra efectuar una triangulación correcta del gradiente de la napa freática y determinación de la dirección del flujo de las aguas subterráneas. Esta actividad tendrá por resultados los respectivos mapas de isopiezas.

<sup>2</sup> Como por ejemplo las pruebas slug o ensayo de bombeo. Se deben realizar en cada uno de los pozos de monitoreo y con base en los resultados obtenidos se debe calcular los parámetros hidráulicos básicos de la zona.

<sup>3</sup> Como por ejemplo, la descripción de la estratigrafía geológica de la zona en las cuales se determine como mínimo la granulometría (basada en una escala de granulometría estándar. Para suelos de fracción media gruesa reportar un valor promedio del diámetro de partícula), porcentaje de tamaño de grano en caso de que se obtengan fracciones mixtas de suelo, color de acuerdo con la tabla Munsell), espesor de cada unidad de suelo identificada, concentración de sustancias de interés definidas previamente en gases (medición in situ), características organolépticas (olor y presencia de iridescencia), número de identificación de la muestra, plasticidad, permeabilidad, humedad natural, condiciones climáticas, entre otros, según sea el caso. El reporte deberá tener como soporte material fotográfico.

Es importante mencionar que para garantizar la calidad de la toma de muestras de agua subterránea, se necesita garantizar primero la calidad del pozo de monitoreo. Por tal motivo, la instalación de pozos se encuentra descrito en un ítem específico (ítem A) desarrollado antes del capítulo de la toma propiamente dicho de las muestras de agua.

*Tabla N° 1: Etapas necesarias que preparan, acompañan y complementan las buenas prácticas de la investigación de la contaminación de aguas subterráneas en pozos de monitoreo*

1.	Instalación de pozo blanco aguas arriba de la contaminación.
2.	Medición exacta (coordenadas geográficas +/- 1m, y altitud +/- 0.5 cm, con teodolito y GPS diferencial) de la boca de pozo.
3.	Determinación de la dirección de flujo a través de medición de la profundidad de la napa freática en por lo menos 3 pozos (triangulación).
4.	Instalación y construcción adecuada de los demás pozos en función de la necesidad de muestreo (posición de filtros en la pluma).
5.	Detección y medición de la fase libre (cuando aplique).
6.	Preparación adecuada del pozo (desarrollo) para eliminar contaminación cruzada y obtener una muestra representativa del acuífero.
7.	Determinación de parámetros hidrogeológicos: pH, °T, conductividad eléctrica del agua, estratigrafía geográfica, permeabilidad (K) , evolución de la napa freática, etc.
8.	Colecta de muestra del agua siguiendo las Buenas Prácticas de muestreo en pozos de monitoreo (Parte 2).
9.	Transporte y preservación de la muestra de agua.



## Parte 1:

# Instalación de pozo de monitoreo de agua subterránea

La instalación de pozos de monitoreo está estandarizado por normas técnicas en varios países.<sup>4</sup>

Los procedimientos de instalación y desarrollo de pozos mostrados en el presente manual, se orientan básicamente a las normas brasileñas y americanas para pozos en acuíferos granulares/sedimentares.

Observación: El procedimiento se debe complementar con la recolección de una muestra de suelo para cada uno de los intervalos de profundidad predefinidos (a criterio del técnico) durante la ejecución de las perforaciones. Todas las muestras serán tomadas en toda la zona no saturada del terreno y no se deben tomar en la zona vadosa o de aireación (zona no saturada por encima del nivel freático). Este muestreo sigue las Buenas Prácticas de muestreo de suelo (vea Buenas Prácticas parte I).

### A. Perforación con *hollow stem auger drill* / barrilete helicoidal hueco

Para la realización del método se deben seguir los siguientes pasos:

- Se retira el material de perforación y en caso de estar contaminado se destina a eliminación conforme las normas vigentes.
- El diámetro de la perforación debe ser establecido en función del diámetro de tubo del pozo. Se establece un diámetro mínimo de 50 mm o 2 pulgadas interno para el tubo.
- Pozo/tubo filtro (igual como usado en el video). Para este diámetro la perforación debe tener un diámetro de mínimo 6 pulgadas para proporcionar un espacio anular de 2 pulgadas suficiente para el pre filtro. (En el video se usa un diámetro de perforación de 7,5 pulgadas).

Equipo: Geoprobe con barrena hueca helicoidal; otros equipos de perforación de percusión (martillo motorizado) o rotativa también son adecuados cuando generan un agujero suficientemente ancho recto. No se deben utilizar fluidos de perforación.

---

<sup>4</sup> Brasil: NBR Brasil 15495-1 de 2008: Pozos de monitoreo de agua subterránea en acuíferos granulares - Parte 1 Proyecto de construcción y parte 2 Desarrollo; ASTM 5092-90 de 2004.

## B. Medición de la profundidad para definir la longitud del tubo/ pozo y la posición del filtro

Se deben medir la profundidad del agujero de perforación y de la napa freática para determinar la/las profundidad(es) del filtro y de los tubos ciegos.

La posición de los tubos/filtros dependerá además de los objetivos de la investigación y del perfil hidrogeológico del subsuelo. En el caso de la presencia de más de un acuífero, se debe evitar que el pozo genere cortes hidráulicos entre los acuíferos. Estos cortes pueden permitir la migración de contaminantes entre diferentes niveles de las aguas subterráneas y son por eso altamente indeseables.

En estos casos, se deben instalar pozos de multinivel o considerar en la construcción del pozo tubos ciegos y una barrera de arcilla/bentonita en el agujero de perforación en las profundidades donde se ubican los estratos impermeables (acuitardos/acuífugos) que separan los acuíferos.

De todas maneras, se requiere de un especialista en campo para determinar el vestimento del pozo en base de los hallazgos obtenidos durante la perforación. Equipos: Freatímetro (medidor del nivel freático), cuerda plomada (para medir profundidad de la perforación).

A. Perforación



B. Medición de profundidad



### C. Instalación de pozo de monitoreo con tubo de PVC geo mecánico y filtro ranurado

- El tubo y filtro (cada elemento del tubo que tiene longitud de 1,50) m se inserta dentro de la barrena hueca. En el caso de perforaciones manuales se debe insertar el tubo filtro directamente en el agujero.
- La punta del filtro ranurado debe tener un espacio aproximado de 30 cm de tubo ciego en su parte inferior para acomodar sedimento y evitar la obturación del filtro.
- Al final se deben cortar las puntas superiores de los tubos e inmediatamente cerrarlos con tapa.

Equipos/materiales: Tubería de polivinilo (PVC)<sup>5</sup> de diámetro interior de 2.0 pulgadas con ranuras de 0.025 cm.<sup>6</sup>



---

<sup>5</sup> Alternativa: tubos de polietileno de alta densidad (HDPE - High Density Polyethylene). Para aplicaciones en acuíferos altamente contaminados por solventes aromáticos o halogenados, se deben usar tubos de PTFE (Teflon) o de acero inoxidable, con tal de que no se trate de aguas corrosivas.

<sup>6</sup> La abertura de la ranura está en función de la granulometría del acuífera (vea Tabla N°2).

#### D. Inyección de la grava/arena del pre-filtro

Los filtros deben instalarse de tal manera que estén enfrentados a los acuíferos y se encuentren a lo largo de toda la zona vadosa y se deben considerar las fluctuaciones estacionales del nivel freático de manera tal que se facilite la identificación de los líquidos ligeros en fase no acuosa (LNAPL). La posición del filtro debe cubrir la oscilación del nivel freático, con una longitud de 2-3 metros (más explicaciones → video).

- El pre-filtro se inyecta en el espacio anular de abajo hacia arriba por gravedad. La arena del pre-filtro se vierte en el espacio anular entre la barrena hueca y el tubo del pozo. Para esto y para garantizar que la arena alcance profundidades mayores (importante cuando no hay una barrena hueca) se puede usar un tubo con diámetro menor como guía.
- Enseguida se mide el nivel freático en el pozo con una freatímetro.
- Después de instalar el pozo, se debe sacar la barrena hueca adicionando arena pre-filtro hasta un intervalo de 60 -75 cm por encima del filtro ranurado que se encuentra en la parte inferior del pozo → Imagen N° 2.

Equipo/materiales: Se deberán instalar filtros de grava de cuarzo redondeada de tamaño apropiado adyacente al revestimiento perforado en el espacio. La definición de la granulometría del pre-filtro y de la apertura de las ranuras siguen un cálculo en función de la granulometría del medio acuífero como sigue en la Imagen N° 1 y en la Tabla N° 2.

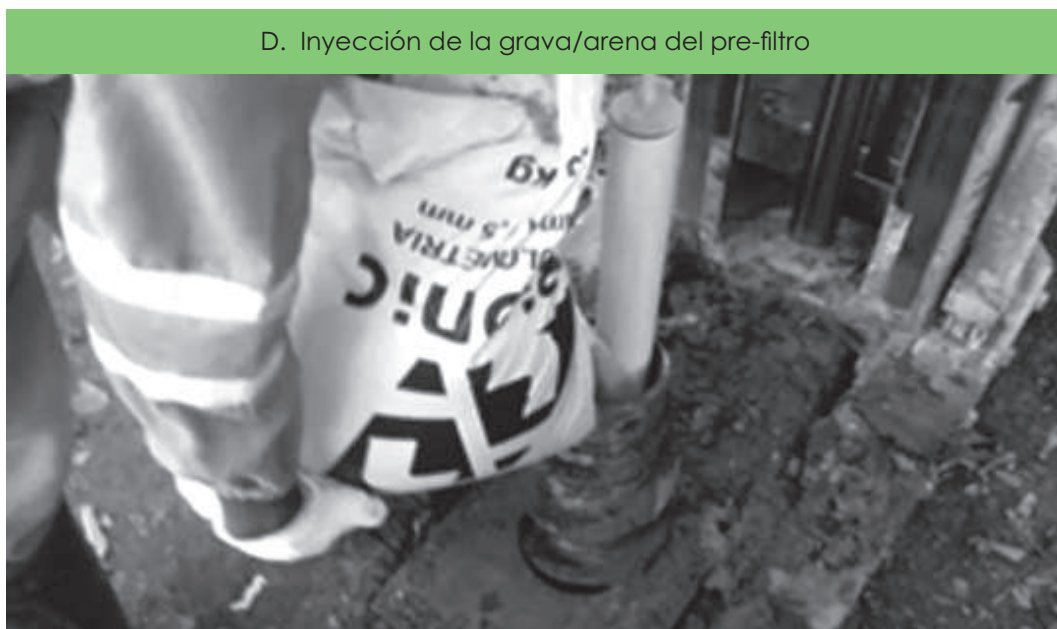


Imagen N° 1: Pre filtro

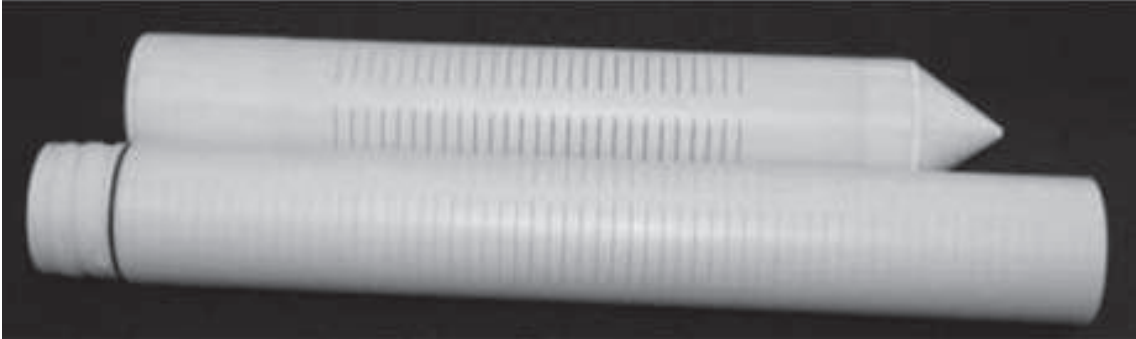


Imagen N° 2: Posición del pre-filtro de arena en relación al filtro de ranuras

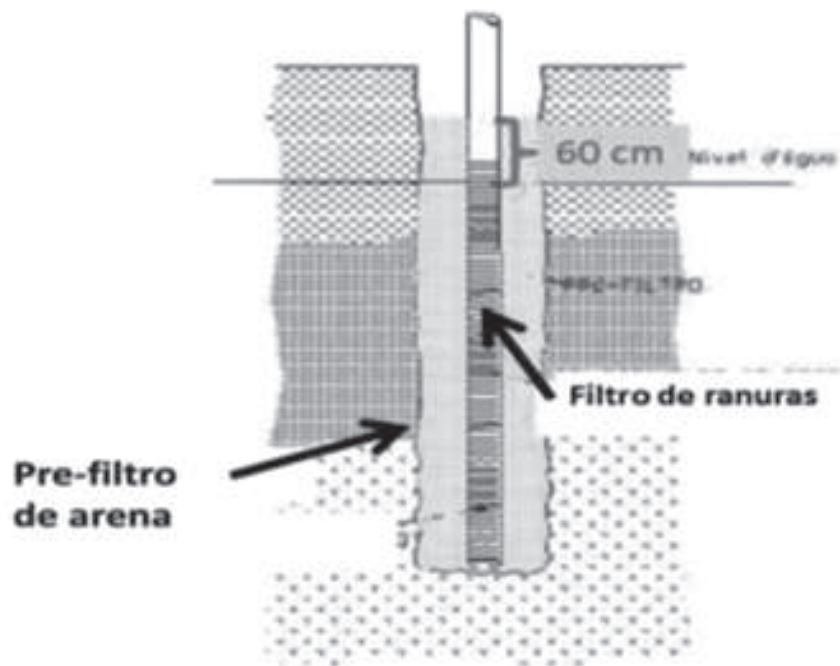


Tabla N° 2. Relación entre abertura de ranuras y granulometría del pre filtro (los valores sombreados son los más usados)

Abertura de ranura (mm)	Granulometría de pre filtro (mm)	Tamiz de la malla	Tamaño en que 1% de los granos pasan (d-1) mm	Tamaño efectivo (d-10) mm	Tamaño en que 30% de los granos pasan (d-30) mm	Variación del coeficiente de uniformidad	Grado de redondez
0,125	0,15 - 0,45	40 - 100	0,09 - 0,12	0,14 - 0,17	0,17 - 0,21	1,3 - 2,0	2 - 5
0,25	0,45 - 0,85	20 - 40	0,25 - 0,35	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	1,1 - 1,6	3 - 5
0,50	0,85 - 2,0	10 - 20	0,7 - 0,9	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5	1,1 - 1,6	3 - 6
0,75	0,85 - 2,0	10 - 20	0,7 - 0,9	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5	1,1 - 1,6	3 - 6
1,0	1,7 - 2,4	8 - 12	1,2 - 1,4	1,6 - 1,8	1,7 - 2,0	1,1 - 1,6	4 - 6
1,5	2,4 - 3,3	6 - 9	1,5 - 1,8	2,3 - 2,8	2,5 - 3,0	1,1 - 1,7	4 - 6
2,0	2,4 - 4,7	4 - 8	2,0 - 2,4	2,4 - 3,0	2,6 - 3,1	1,1 - 1,7	4 - 6

## E. Purgar y limpiar el pozo

12 horas después de la instalación, los pozos de monitoreo deben ser purgados con el fin de remover sedimentos del pozo, y para mejorar la comunicación hidráulica entre el pozo de monitoreo y el acuífero.

Se debe utilizar una combinación de técnicas de achicado y agitación (pistón) o con una bomba de succión (de acuerdo a las condiciones encontradas en terreno) para el desarrollo del pozo.

“Pistoneamiento”: forma parte de la etapa preliminar de desarrollo, este procedimiento se lleva a cabo después de la instalación de pre-filtro, el filtro del tubo y el tubo de revestimiento, y antes de la instalación de pre-filtro secundario.

Se utiliza un pistón conectado en el extremo de una varilla, que opera como un émbolo en el pozo, moviéndola hacia arriba y hacia abajo alternadamente, forzando el flujo de agua subterránea en el pozo hacia arriba y abajo, haciendo que el lavado a contracorriente (retralavado) deshaga los puentes existentes en la formación o en el pre-filtro y tirar los granos finos sueltos para dentro del pozo.

- En el video se utiliza una bomba de succión tipo TWISTER para purgar el agua sucia del pozo. Se deberá extraer hasta que el agua se vuelva limpia, pero mínimo un volumen equivalente a 6 veces el contenido del pozo.

Observación: en sitios contaminados con alta probabilidad de contaminación en agua subterránea se debe verter el agua en recipientes especiales para su tratamiento y eliminación adecuada.



#### F. Impermeabilización superior con bentonita y finalización con tapas plásticas

- Enseguida se vierte bentonita en pellets (Compactolit) para que se forme una camada impermeable por encima del pre-filtro.
- La bomba sigue funcionando y el movimiento circular de la tubería ayuda a purgar y asentar el pre-filtro.
- Una suspensión/lechada de agua con bentonita y cemento se vierte por encima de los pellets de bentonita.
- El acabado superficial se hace con base de cemento y tapas plásticas protectora.

Material: lechada de mezcla de bentonita que se prepara en campo, y cemento y pellets de arcilla.



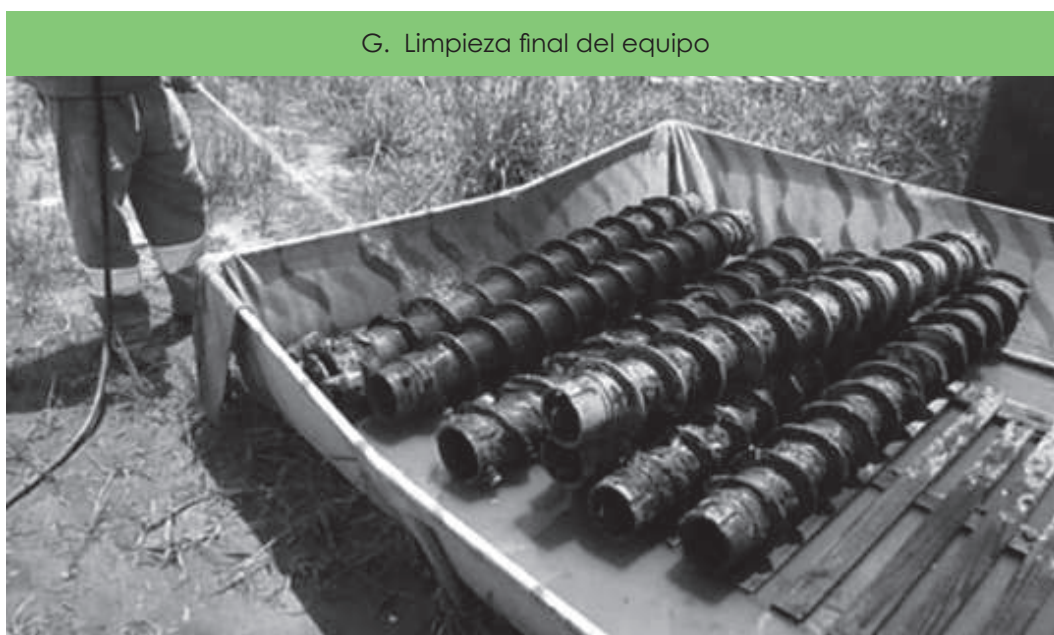


### G. Limpieza final del equipo

Todo equipo (si no es exclusivo) deberá limpiarse antes de retirarse del sitio. El equipo de perforación y muestreo deberá limpiarse en un área impermeable adecuada del sitio.

Al final, y para garantizar la descontaminación del equipo de campo, se lavan las barrenas helicoidales y se capta el agua para su eliminación y destinación adecuada, usando una piscina improvisada.

Observación: sobre el Manejo y disposición de residuos: los excesos de suelos generados durante la perforación, el agua de la instalación, el agua purgada, y los fluidos de limpieza serán almacenados en tambores de acero de 55 galones, los cuales deberán ser adecuadamente etiquetados, organizados en el sitio, para una posterior caracterización y definición de disposición adecuada de acuerdo con lo establecido por la normativa ambiental vigente aplicable al tema y mediante gestores debidamente acreditados por la autoridad competente.



## Parte 2:

# Muestreo de agua subterránea

Los procedimientos de las Buenas Prácticas se basan en la norma *ABNT 15.847* de 2010 y son adaptados de las normas *ASTM D 6452:1999* y *ASTM D 4448:2001*. Estas normas ofrecen información a mayor detalle y pueden ser consultadas para complementar las Buenas Prácticas aquí presentadas.

En el presente manual solamente se abarca la purga de flujo bajo, seguido de toma de muestra, muy usado el muestro de agua subterránea en acuíferos arenosos arcillosos de capacidad normal. Existen otros métodos de purga y muestreo como la purga de volumen determinado (con remoción de 3 – 5 veces el volumen de agua contenido en el pozo antes del muestreo) y purga con obturadores (Packer; para muestreo puntual de una sección aislada con ayuda del obturador).

Observación: se debe iniciar el muestreo 7 - 10 días después de la instalación y purga/limpieza del pozo

### A. Purga del pozo - Rebajamiento del nivel de agua por bomba de flujo bajo (low flow) de purga

La purga del pozo tiene como objetivo equilibrar las condiciones físico químicas entre pozo, pre filtro y acuífero con la finalidad de proporcionar la toma de una muestra representativa para el estado actual del agua subterránea. Para esto se bombean pequeños volúmenes de agua del pozo de tal manera que el volumen de agua bombeada se reestablezca en el pozo en poco tiempo. Este proceso se monitorea a través de rebajamiento del nivel de agua en el pozo, que debe ser mínimo para evitar la alteración del flujo natural y eventualmente de la pluma de contaminantes y el aumento de la turbiedad.

De esta manera, el rebajamiento debe ser lo mínimo posible. Para pozos con sección filtrante plena (el nivel estático está en contacto con la sección filtrante), la estabilización del rebajamiento debe ocurrir máximo a 25 cm debajo del nivel estático inicial. Cuando el filtro está ahogado (el nivel estático está arriba de la sección filtrante a la altura del tubo ciego), la estabilización del rebajamiento debe ocurrir en la zona ciega en cima del filtro, o hasta 25 cm debajo de la parte superior del filtro.

- En el ejemplo del video se trabaja con volúmenes bombeados de 70 ml por minuto (lo mínimo sería 50 ml/min), que deben reestablecerse en pocos minutos, conforme la permeabilidad del acuífero. En el ejemplo, después de cada 3 minutos de bombeo (total de 210 ml/ 3 minutos) el nivel de agua siempre se recupera a su nivel inicial).

Observación: En el caso de que el nivel no se recupere se deben utilizar menores volúmenes de bombeo.

Se monitorea el rebajamiento con la freaímetro, subiendo y bajando para detectar el nivel freático así garantizando que el pozo no se seque o se genere turbidez.

Equipo: bombas; baldes; freaímetro

### B. Purga del pozo - Medición de los parámetros que indican estabilidad para iniciar el muestreo durante la purga

A lo largo de 3-5 mediciones los resultados deben equilibrarse conforme Tabla N° 3 y conforme demostrados en el video.

- En el balde se puede observar el volumen reducido de agua de purga, alrededor de 70 ml/min, no puede superar 1000 ml/minuto.
- Los parámetros se miden con un equipo de campo dentro de un balde – el medidor está conectado a un conjunto de sondas o detectores en contacto con el agua del balde.

*Tabla N° 3: Rangos de variación para la estabilidad durante la*

Parámetro	Unidad	Valor
pH	Unidad	+/- 0,2
Conductividad específica	% de las lecturas	+/- 5%
Temperatura	°C	+/- 0,5
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L ó 10%	+/- 0,2
Potencial de óxido – reducción	mV	+/- 20

Fuente: ABNT 15.847/2010

**Ejemplo** → **video:** en cuatro mediciones los parámetros quedan dentro del rango de variedad aceptable para la estabilización.

Equipos: La bomba peristáltica sirve para profundidades de hasta 9 m. Para pozos más profundos se usan bombas sumergibles neumáticas (bladder pumps); el equipo sonda multi-parámetro y sensores necesita calibraciones diarias en el campo.

### C. Toma de muestras

Se toma la muestra de agua en el flujo de la purga desviando la manguera para el frasco de vidrio.

- Con los parámetros estables se puede revertir la manguera para la toma de muestras.
- El flujo de la bomba no debe superar 250 ml/min para sustancias orgánicas y 500 ml/min para sustancias inorgánicas.
- Para tomar la muestra filtrada para análisis de metales disueltos se pasa el flujo de agua por un filtro MILIPORE de 0.45  $\mu\text{m}$ .
- Para análisis de Cromo hexavalente la muestra necesita llegar al laboratorio el mismo día.
- Las muestras de volátiles no se filtran.

A. Rebajamiento del nivel del agua



B. Medición de parámetros



C. Toma de muestras



#### D. Acreditación y calibración

En muchos países tales como Brasil, EEUU, etc., la toma de muestras de agua subterránea es una tarea sometida a la acreditación. En general los laboratorios y algunas empresas de consultoría buscan la acreditación para poder garantizar la calidad del servicio y resultado. El proceso pasa por un sistema de auditoría complejo que abarca procedimientos, equipos e instrumentos y técnicos y su capacitación. Por lo menos los laboratorios acreditados deben presentar una acreditación para la toma de muestras en pozos de monitoreo de aguas subterráneas.

