



GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Vol. 3

Control de la calidad del agua
potable en sistemas de
abastecimiento para
pequeñas comunidades

GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Volumen 3

Control de la calidad del agua
potable en sistemas de
abastecimiento para
pequeñas comunidades



Publicación Científica No. 508

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD
525 Twenty-third Street, NW
Washington, DC, 20037, EUA

1988

Edición original en inglés:

*Guidelines for Drinking-Water Quality—Vol. 3. Drinking-Water Quality Control
in Small-Community Supplies*

ISBN 92 4 154170 9

© Organización Mundial de la Salud, 1985.

ISBN 92 75 31508 6

© Organización Panamericana de la Salud, 1988

Las publicaciones de la Organización Panamericana de la Salud están acogidas a la protección prevista por las disposiciones del Protocolo 2 de la Convención Universal de Derechos de Autor. Las entidades interesadas en reproducir o traducir en todo o en parte alguna publicación de la OPS deberán solicitar la oportuna autorización del Servicio Editorial, Organización Panamericana de la Salud, Washington, D.C. La Organización dará a estas solicitudes consideración muy favorable.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de la Organización Panamericana de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o del nombre comercial de ciertos productos no implica que la Organización Panamericana de la Salud los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos.

CONTENIDO

	Página
Prólogo a la edición en español	v
Prefacio	vii
1. Calidad del agua.....	1
1.1 Aplicación de los valores guía	1
1.2 Aspectos microbiológicos.....	2
1.3 Aspectos biológicos.....	3
1.3.1 Protozoos	3
1.3.2 Helmintos	4
1.4 Aspectos químicos y físicos	4
1.4.1 Turbiedad	5
1.4.2 Color	5
1.4.3 Sabor y olor	6
2. Planeamiento de la vigilancia y control de la calidad del agua ..	7
2.1 Estructura organizativa	7
2.2 Evaluación de la situación existente.....	9
2.3 Inspecciones sanitarias y muestreo del agua.....	13
2.4 Manejo y uso de la información	15
2.4.1 Resultados de los análisis de agua.....	15
2.4.2 Resultados de las inspecciones sanitarias	16
2.4.3 Procesamiento integral de la información.....	17
3. Inspecciones sanitarias	19
3.1 Organización.....	19
3.2 Metodología	21
4. Recolección de muestras de agua.....	22
4.1 Requisitos básicos	22
4.2 Selección de los puntos de muestreo	22
4.3 Equipo.....	25
4.3.1 Procedimiento de esterilización de los frascos para muestras	25
4.3.2 Acondicionamiento y empaque de los frascos de mues- tras para su transporte	26
4.4 Envío de las muestras	27

5. Análisis bacteriológico	29
5.1 Elección de los organismos indicadores.....	29
5.2 Métodos de análisis.....	32
5.2.1 Método de los tubos múltiples.....	32
5.2.2 Método de la membrana filtrante.....	32
5.3 Selección del método.....	35
6. Determinación del cloro en el agua	36
6.1 Comportamiento del cloro en el agua.....	36
6.2 Métodos.....	37
7. Medidas correctivas y preventivas	39
7.1 Medidas correctivas.....	39
7.2 Medidas preventivas.....	43
7.3 Control de riesgos biológicos.....	43
7.3.1 Protozoos.....	43
7.3.2 Filaria.....	44
8. Educación y participación de la comunidad	45
8.1 Participación de la comunidad.....	45
8.2 Capacitación de voluntarios en comunidades rurales.....	48
8.3 Educación sanitaria de la comunidad.....	49
Anexo 1. Colaboradores y revisores	51
Anexo 2. Inspecciones sanitarias	53
Anexo 3. Recolección de muestras de agua para examen microbiológico	76
Anexo 4. Pruebas de campo para análisis bacteriológico	84
Anexo 5. Método de los tubos múltiples	94
Anexo 6. Método de la membrana filtrante	119
Anexo 7. Determinación del cloro libre residual	127
Bibliografía	132

PROLOGO A LA EDICION EN ESPAÑOL

Los Gobiernos de los países de las Américas han venido participando en el Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental 1981-1990, cuyo objetivo principal es mejorar la salud de la población. Teniendo en cuenta que el control de la calidad del agua es la clave para reducir los riesgos de enfermedades transmitidas por ese medio, las instituciones de salud y de abastecimiento de agua han asumido la responsabilidad de establecer normas de calidad apropiadas. En 1984, con el fin de apoyar a los países en sus esfuerzos a ese respecto, la Organización Mundial de la Salud publicó en inglés el Volumen 1 de las *Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones*, que reemplazan a las *Normas internacionales para el agua potable* que se habían estado aplicando desde 1971. La Organización Panamericana de la Salud publicó la edición en español en 1985. En dicho Volumen 1 se incluyeron nuevas sustancias y contaminantes adicionales, así como valores modificados de las normas de acuerdo con estudios y descubrimientos científicos recientes. Se publicaron como guías, más que como normas internacionales, para alentar a los países a utilizar el enfoque de riesgo-beneficio al establecer normas nacionales para el agua potable.

A causa de una mayor conciencia pública de los efectos que tienen en la salud los metales pesados y varios contaminantes orgánicos, así como la constante preocupación por la calidad bacteriológica, varios países latinoamericanos han revisado sus normas de agua potable y la mayoría de los demás países están considerando una revisión o la redacción de nuevas normas. La OPS alienta y promueve estas medidas y colabora con los países de la Región en programas encaminados a mejorar la calidad del agua potable. Como parte de ese esfuerzo ha llevado a cabo una serie de talleres para la introducción y aplicación de las *Guías*.

La edición en inglés del Volumen 2, *Guías para la calidad del agua potable. Criterios relativos a la salud y otra información de base*, fue publicada por la OMS en 1984 y distribuida en los países de América Latina y el Caribe. La Organización Panamericana de la Salud publicó la versión castellana en 1987, en respuesta a las solicitudes recibidas de muchos países de la América Latina. Se espera que con la presente edición en español del tercer volumen —publicado en inglés por la OMS en 1985— se acelerará el proceso de transferencia de la información sobre el control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. En su conjunto los tres volúmenes de la serie serán especialmente útiles para los funcionarios de las instituciones encargadas de establecer normas para la calidad del agua potable y para las entidades a cargo de la vigilancia y el control de sustancias tóxicas. También resultarán de utilidad como material de referencia y fuente de información para ingenieros sanitarios, químicos hidráulicos y biológicos, y profesionales de la salud.

Esta página dejada en blanco al propósito.

PREFACIO

Las *Guías para la calidad del agua potable* deben reemplazar tanto a las *Normas europeas para el agua potable*^a como a las *Normas internacionales para el agua potable*,^b publicadas en 1970 y 1971, respectivamente. El volumen 1 contiene valores guía para diversos componentes del agua potable, mientras que el volumen 2 contiene monografías o estudios sobre criterios, monografías y estudios que se prepararon especialmente para cada sustancia o contaminante, y que sirvieron como base para establecer los valores guía.

El presente volumen se ocupa específicamente de los sistemas de abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades, particularmente aquellas ubicadas en áreas rurales, poniendo el énfasis principal en la calidad microbiológica de tales abastecimientos. Contiene información sobre inspecciones sanitarias, recolección de muestras de agua, métodos simples de análisis bacteriológico y métodos para la determinación de cloro residual, todos ellos adecuados para su uso en áreas rurales y todos ellos tomando en cuenta las dificultades que pueden presentarse en el campo. También cubre las medidas correctivas y preventivas necesarias para mantener la calidad del agua, así como la participación comunitaria, que es esencial para combatir las enfermedades entéricas transmitidas por el agua. Obviamente, las condiciones variarán de un país a otro, como consecuencia de las diferencias económicas, geográficas, culturales y sociales, por lo que los métodos descritos deberán adaptarse a las condiciones existentes, lo que no ha de ser difícil. Se brindan también valores guía para la calidad del agua potable, seleccionados por su relevancia para los abastecimientos en pequeñas comunidades. Al igual que los valores presentados en el volumen 1, éstos no constituyen normas en sí, pero debe tenérseles muy en cuenta, dentro del contexto nacional o local, cuando se formulen las normas o reglamentos que se destinen a salvaguardar la calidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable. El objetivo a largo plazo debe ser el cumplimiento de estos valores guía.

Se espera que el presente volumen sea de utilidad para todos aquéllos relacionados con la calidad del agua potable en las áreas rurales de los países en desarrollo, incluyendo no sólo al personal de laboratorio, a los trabajadores de campo dentro de los programas de inspección y a aquéllos encargados de aplicar medidas correctivas para salvaguardar la calidad del agua potable, sino también a los administradores y otros funcionarios responsables de diseñar o mejorar los programas nacionales de control de la calidad del agua

^a *European standards for drinking-water*, 2a. edición, Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1970.

^b *International standards for drinking-water*, 3a. edición, Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1971.

potable. De igual manera, se espera también que contribuya al logro de las metas nacionales fijadas como parte del Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y el Saneamiento.

La preparación de este volumen se inició en una Reunión Interregional sobre Vigilancia de la Calidad del Agua Potable en Sistemas de Abastecimiento para Comunidades Rurales, llevada a cabo en Bangkok entre el 29 de noviembre y el 3 de diciembre de 1982, donde se acordó un perfil detallado. La versión final es el resultado del trabajo de un número de colaboradores y revisores, cuyos nombres aparecen en el Anexo 1; su ayuda ha sido muy valiosa y es muy apreciada. El apoyo financiero fue suministrado por la Organismo Danés de Desarrollo Internacional (DANIDA) y por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, cuyas contribuciones merecen el más preciado reconocimiento.

1. CALIDAD DEL AGUA

1.1 Aplicación de los valores guía

Los valores guía para la calidad del agua potable se encuentran en el Volumen 1 de las *Guías para la calidad del agua potable*, el cual también explica cómo deben interpretarse dichos valores^a. Un valor guía representa el nivel (concentración o cantidad) de un componente que garantiza que el agua será agradable para los sentidos y no causará riesgo significativo alguno para la salud del consumidor. La calidad de agua definida por los valores guía es tal que resulta adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluyendo la higiene personal. Cuando se sobrepasa un valor guía, debe investigarse la causa con vistas a tomar medidas correctivas. La cantidad en que se sobrepase un valor guía y el período durante el cual se prolongue esta situación, sin que resulte afectada la salud pública, dependerán de la sustancia o característica específica en cuestión.

Al formularse normas nacionales para el agua potable basadas en estas Guías, será necesario tomar en cuenta una variedad de condiciones geográficas, socioeconómicas, industriales y de hábitos alimentarios. Esto puede llevar a la formulación de normas nacionales que difieran apreciablemente de los valores guía. En el caso de abastecimientos para pequeñas comunidades, particularmente en países en desarrollo, el número de parámetros utilizados para evaluar y medir la calidad del agua a utilizarse para el abastecimiento público debe ser necesariamente limitado. En forma similar, los valores guía dados deben ser con frecuencia considerados como metas a largo plazo y no como normas rígidas que tienen que cumplirse en todo momento y en todos los sistemas de abastecimiento.

Aunque cada autoridad nacional o regional de salud hará su propia selección de parámetros y fijará sus propias normas, las presentes guías requieren que aquellos parámetros seleccionados cubran los aspectos más esenciales de la calidad del agua potable. Teniendo en mente que el énfasis debe ponerse en primer lugar en la seguridad microbiológica de los abastecimientos de agua potable, se considera que solo muy limitados parámetros físico-químicos tienen relevancia general en los abastecimientos para pequeñas comunidades. Dondequiera que se aplique desinfección por cloro, el nivel del cloro residual es considerado como el parámetro más conveniente y significativo a ser monitoreado.

Además de la presencia de niveles elevados de un elemento contaminante, cualquier cambio repentino, o fuera de estación, en el nivel del mismo puede

^a *Guías para la calidad del agua potable*, Vol. 1, Recomendaciones, Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud, 1985.

ser indicador de una aguda contaminación en la fuente de agua. Una inmediata inspección sanitaria y análisis microbiológicos, físicos o químicos, constituirán los primeros pasos hacia la determinación de las medidas correctivas necesarias, las cuales se describen en el Capítulo 7.

1.2 Aspectos microbiológicos

Idealmente, el agua potable no debe contener ningún microorganismo considerado patógeno. De igual manera, debe estar libre de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Para asegurarse de que un abastecimiento de agua potable satisfaga estas guías, es importante que de manera regular se examinen muestras para detectar indicadores de contaminación fecal. El primer indicador bacteriano que se recomienda para este propósito es el grupo de organismos coliformes en su conjunto (o grupo coliforme). Aunque considerados como grupo estos organismos no son exclusivamente de origen fecal, ellos están siempre presentes en gran número en las heces del hombre y de otros animales de sangre caliente, por lo que pueden ser detectados aun después de considerable dilución. La detección de organismos coliformes fecales (termorresistentes), en particular de *Escherichia coli*, brinda una evidencia definitiva de contaminación fecal.

En el Volumen 1 de estas Guías, se brindan los valores guía que garantizan abastecimientos de agua bacteriológicamente seguros. Aunque fueron desarrollados para sistemas grandes, los valores para el agua distribuida por tuberías (entubada) y no distribuida por tuberías (no entubada) son también aplicables a sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades, por lo que se le reproduce en el Cuadro 1. En el Capítulo 5 se ofrece la información básica y los antecedentes que apoyan el significado y la elección de organismos indicadores, así como la selección de métodos de análisis.

Se ha demostrado que la cloración puede convertir agua proveniente de fuentes con contaminación fecal en agua libre de virus, siempre que la concentración de cloro libre residual sea por lo menos de 0.5 mg/litro durante un período de contacto mínimo de 30 minutos a un pH menor de 8.0 y con una turbiedad equivalente a 1 unidad nefelométrica de turbiedad (UNT) o menos. También es conveniente mantener un nivel de cloro libre residual de 0.2-0.5 mg/litro en el sistema de distribución para reducir el riesgo de una reactivación microbiana. La detección de cloro en valores que caigan en este espectro de concentración indica ausencia de contaminación posterior al tratamiento.

Si se detectan densidades de coliformes totales superiores a 3 organismos por 100 ml en muestras sucesivas o si se detecta 1 o más coliformes fecales por cada 100 ml, se debe incrementar inmediatamente la cantidad de desinfectante aplicado para obtener un nivel de cloro libre residual de 0.2-0.5 mg/l en todas las partes del sistema de distribución.

El cloro es el desinfectante preeminente debido a su fácil disponibilidad y su bajo costo, así como a la facilidad con la que se le puede usar, controlar y medir en el agua. En el Capítulo 6 se describen los métodos y técnicas más comunes para la determinación del cloro residual.

Cuadro 1. Valores guía para la calidad bacteriológica^a

Organismo	Unidad	Valor guía	Observaciones
A. Abastecimientos con agua entubada			
A.1 Agua tratada que entra en el sistema de distribución			
coliformes fecales	número/100 ml	0	turbiedad < 1 UNT, para la desinfección con cloro, es preferible un pH de < 8.0; 0.2-0.5 mg/l de cloro libre residual después de un tiempo de contacto (mínimo) de 30 minutos
organismos coliformes	número/100 ml	0	
A.2 Agua no tratada que entra en el sistema de distribución			
coliformes fecales	número/100 ml	0	
organismos coliformes	número/100 ml	3	en una muestra ocasional, pero no en muestras consecutivas
A.3 Agua en el sistema de distribución			
coliformes fecales	número/100 ml	0	
organismos coliformes	número/100 ml	3	en una muestra ocasional, pero no en muestras consecutivas
B. Abastecimientos con agua no entubada			
coliformes fecales	número/100 ml	0	no debe ocurrir en forma repetida;
organismos coliformes	número/100 ml	10	cuando la ocurrencia sea frecuente y no se pueda mejorar la protección sanitaria, si es posible se deberá buscar otra fuente

^aAdaptado de *Guidelines for drinking-water quality. Vol. 1. Recommendations*. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1983.

1.3 Aspectos biológicos

No es fácil brindar pautas y guías sobre peligros de origen biológico que sean de aplicación general. Esto es particularmente cierto en lo que respecta a los protozoos y helmintos parásitos, por lo que la aplicación de cualquier guía o procedimiento propuesto debe regirse por consideraciones epidemiológicas en por lo menos dos aspectos: (1) muchos parásitos tienen una distribución geográfica compleja y probablemente sea innecesario tomar precauciones contra aquellos que no se presentan a nivel local y (2) la mayoría de parásitos transportados por el agua también pueden transmitirse por otras rutas, como los alimentos o la propagación directa fecal-oral, por lo que también deben tomarse en consideración estas rutas.

1.3.1 Protozoos

Entre las especies de protozoos que se sabe son transmitidos mediante la ingestión de agua contaminada se incluyen la *Entamoeba histolytica*

(causante de la amebiasis), especies de *Giardia* y, en raras ocasiones, la *Balantidium coli*. Estos organismos pueden introducirse en un sistema de abastecimiento de agua por medio de la contaminación fecal de procedencia humana o, en algunos casos, de procedencia animal.

Los organismos coliformes no parecen constituir un buen indicador de la presencia de *Giardia* o *E. histolytica* en el agua tratada, debido a que estos protozoos tienen una mayor resistencia a la inactivación provocada por la desinfección. En el agua no desinfectada, la presencia de bacterias indicadoras podría sugerir la presencia de protozoos patógenos. En la medida en que no existe un buen indicador sobre la presencia o ausencia de protozoos patógenos, debe utilizarse para sistemas de abastecimiento de agua potable fuentes que no estén expuestas a la contaminación fecal, siempre que ello sea posible.

1.3.2 Helmintos

Los estadios o fases infectantes de muchos nematelmintos y platelmintos parásitos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua potable. Una sola larva madura o un huevo fertilizado pueden causar la infección, por lo que es obvio que el agua potable debe estar libre de tales estadios infectantes. Sin embargo, el agua constituye una vía de transmisión relativamente poco importante, salvo en el caso del *Dracunculus medinensis* (filaria) y de los esquistosomas parásitos del hombre, que representan un peligro principalmente en los sistemas de agua no entubada. Si bien existen métodos para detectar estos parásitos, tales métodos no son adecuados para la vigilancia y monitoreo rutinarios.

El nematodo *Dracunculus* puede provocar una morbilidad elevada en poblaciones rurales. Es transmitido por copépodos de agua dulce, como el *Cyclops*, que representan una etapa intermedia obligatoria. Las larvas llegan a los copépodos cuando se revienta una de las vesículas o ampollas existentes en las extremidades de una persona infectada y las larvas son arrastradas por el agua a pozos abiertos o estanques. Los parásitos infectan al hombre cuando éste ingiere el copépodo. Para determinar si existe un riesgo de infección, puede recolectarse copépodos utilizando redes para plancton y someterseles a un examen de microscopio para detectar larvas parasitarias. También debe investigarse la prevalencia de la enfermedad en el hombre. Ninguna de estas medidas es adecuada como procedimiento rutinario.

1.4 Aspectos químicos y físicos

Aunque en las áreas rurales de los países en desarrollo la gran mayoría de problemas de calidad del agua están relacionados con la contaminación bacteriológica u otras clases de contaminación biológica, puede presentarse un número significativo de problemas graves como consecuencia de la contaminación química de los recursos hídricos. Dicha contaminación química

puede emerger de ciertas industrias, como la minería y la fundición, o de prácticas agrícolas, algunas de ellas incorrectas (por ejemplo, el uso y abuso de nitratos como fertilizantes) o provenir de fuentes naturales (por ejemplo, el hierro, los fluoruros). Para establecer si existen problemas de este tipo, podría ser necesario proceder a medir un número seleccionado de parámetros físico-químicos. Sin embargo, particularmente en el caso de abastecimientos rurales de agua en países en desarrollo, podría ser muy costoso y físicamente impracticable cubrir un número grande de parámetros, por lo que, en la mayoría de los casos, las pruebas inicialmente tendrán que limitarse de manera principal a la inspección sanitaria y al análisis bacteriológico.

Si existen componentes químicos de importancia local, se deberá medir sus niveles y evaluarse los resultados a la luz de los valores guía y de otras recomendaciones planteadas en el Volumen 1^a. En otras áreas, aunque no se pueden dar recomendaciones generales o de aplicación universal para la selección de parámetros, existen unos cuantos parámetros indicadores de importancia práctica que pueden constituir una guía útil para evaluar la calidad del agua. Se recomienda valores guía para la turbiedad, el color, el sabor y el olor, para que se usen en la vigilancia de abastecimientos para pequeñas comunidades.

1.4.1 Turbiedad

Los niveles elevados de turbiedad pueden proteger a los microorganismos contra los efectos de la desinfección, estimular el crecimiento de las bacterias y ejercer una demanda significativa de cloro. Por lo tanto, en todos los procesos en los que se utiliza la desinfección, la turbiedad siempre debe ser baja, de preferencia por debajo de 1 UNT, para conseguir una desinfección efectiva. El valor guía recomendado es de 5 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) o 5 unidades Jackson de turbiedad (UJT), pero es preferible que el nivel sea menor a 1 UNT cuando se utiliza la desinfección. La turbiedad por encima de 5 UNT (5 UJT) puede ser perceptible y, en consecuencia, generar reparos por parte del consumidor.

1.4.2 Color

El color en el agua potable puede deberse a la presencia de materia orgánica de color, por ejemplo, sustancias húmicas, metales como el hierro y el manganeso, o residuos industriales fuertemente coloreados. La experiencia ha demostrado que los consumidores pueden acudir a fuentes alternativas, quizás inseguras, cuando su agua muestra a la vista niveles de color desagradables. Por lo tanto, se recomienda que el agua potable sea incolora.

El valor guía es de 15 unidades de color verdadero (UCV). Los niveles de

^a *Guías para la calidad del agua potable, Vol. 1, ob. cit.*

color por encima de las 15 UCV pueden ser detectados en un vaso de agua por la mayoría de las personas.

1.4.3 Sabor y olor

El olor del agua se debe principalmente a la presencia de sustancias orgánicas. Algunos olores indican un incremento en la actividad biológica, otros pueden tener su origen en la contaminación industrial. Las inspecciones sanitarias siempre deben incluir investigaciones sobre fuentes de olor, posibles o reales, e invariablemente se debe intentar corregir los problemas de este tipo.

La percepción combinada de sustancias detectadas por los sentidos del gusto y del olfato se conoce generalmente con el nombre de "sabor". Los problemas de "sabor" en los abastecimientos de agua constituyen la causa del mayor grupo de quejas de los consumidores. Por lo general, las papilas gustativas de la cavidad bucal detectan específicamente compuestos inorgánicos de metales como el magnesio, calcio, sodio, cobre, hierro y zinc.

Las alteraciones del sabor normal del agua de un abastecimiento público pueden constituir un indicio de cambios en la calidad de la fuente de agua natural o de deficiencias en el proceso de tratamiento.

Como el agua debe estar libre de olores y sabores desagradables para la mayoría de los consumidores, el criterio guía se define en términos de "no ser desagradable para la mayoría de los consumidores".

2. PLANEAMIENTO DE LA VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

2.1 Estructura organizativa

El significado preciso del término “vigilancia” en relación con el control de la calidad del agua potable no siempre es claro. Según se usa en el presente trabajo, vigilancia implica la observación cuidadosa y permanente de la seguridad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable desde el punto de vista de la salud pública. La vigilancia requiere de un programa continuo y sistemático de inspecciones y estudios llevados a cabo en diferentes puntos del sistema de distribución de agua. Un programa de vigilancia destinado a asegurar un nivel uniformemente aceptable en la calidad del agua potable puede requerir, para ser completamente efectivo, de una legislación que se base en normas reguladoras y códigos de práctica. Sin embargo, en los países en desarrollo (muchos de los cuales no cuentan con sistemas públicos de abastecimiento de agua adecuados) y, en particular, en las áreas rurales y en los asentamientos marginales urbanos de dichos países, el proceso de vigilancia debe tomar en cuenta las condiciones locales y adaptarse a los niveles de desarrollo económico y de recursos humanos.

Las estructuras organizativas destinadas a garantizar el cumplimiento de las exigencias planteadas por la legislación, por las normas o por los códigos de práctica referentes a la calidad del agua potable, deben permitir y facilitar que el proceso de vigilancia sea compartido entre la empresa de abastecimiento de agua y una entidad de vigilancia separada, de preferencia independiente. La primera será responsable en todo momento de la calidad y seguridad del agua que produce. En esta publicación, las pruebas y el monitoreo rutinario llevados a cabo por la empresa de abastecimiento de agua serán denominadas como pruebas de control de la calidad del agua; esto no debe confundirse con las verificaciones y las pruebas que llevará a cabo en forma separada la entidad de vigilancia. Tanto las pruebas de control de calidad del agua como las pruebas realizadas por la entidad de vigilancia deberán aplicarse a todos los tipos de agua de que disponga la comunidad; por ejemplo, agua entubada o no entubada, agua tratada o no tratada, agua obtenida de cualquier fuente adecuada como ríos, estanques, pozos, escorrentías de los techos, etc.

La entidad de vigilancia deberá, de preferencia, constituirse a nivel nacional y operará a nivel central, provincial (regional) y local, generalmente por intermedio de la autoridad de salud. Esta entidad de vigilancia deberá preocuparse de los aspectos de salud pública relacionados con los abastecimientos de agua potable, y tendrá la responsabilidad general de garantizar que todos los sistemas bajo su jurisdicción estén libres de cualquier riesgo

para la salud. Con este fin, deberá llevar a cabo inspecciones sanitarias periódicas y análisis de muestras de agua para determinar si las empresas de abastecimiento de agua están cumpliendo con sus responsabilidades.

Debido a que la empresa de abastecimiento de agua y la entidad de vigilancia tienen intereses diferentes, que en algunas oportunidades pueden entrar en conflicto, es importante que la última sea una entidad separada y bajo control independiente. No obstante, los roles de ambas son en esencia complementarios, dado que sus actividades de vigilancia, aunque independientes, al combinarse darán como resultado un control adecuado de la calidad del agua potable.

Los siguientes son algunos aspectos importantes del programa de vigilancia:

(a) La entidad de vigilancia dentro de la autoridad de salud pública debe ser la única que tenga la responsabilidad de brindar servicios de vigilancia para proteger al público de enfermedades transmitidas por el agua y de otros peligros asociados con los sistemas de abastecimiento de agua.

(b) La vigilancia de la calidad del agua debe estar integrada con otras medidas de salud ambiental, especialmente el saneamiento.

(c) La vigilancia requiere de conocimientos especializados, por lo que la entidad deberá contar con personal especialmente capacitado en materias como ingeniería sanitaria, medicina social, epidemiología, química, biología, etc.; deberá contarse con el apoyo adicional de la profesión médica, particularmente si se produjera un brote de enfermedades entéricas.

(d) El sector de salud pública debe contar con laboratorios centralizados y otros servicios que puedan usarse ventajosamente para la conducción de programas de vigilancia de sistemas de abastecimiento de agua.

(e) Es esencial que se presenten informes periódicos al gobierno referentes a la situación con respecto a la salud pública de los sistemas de abastecimiento de agua del país.

Si las normas operativas de las empresas de abastecimiento de agua son altas, las obligaciones de la entidad de vigilancia pueden reducirse a un mínimo. En estas circunstancias, la entidad de vigilancia, si bien seguirá manteniendo la responsabilidad final de garantizar la seguridad de todos los abastecimientos públicos de agua, podrá ser capaz de brindar mayor atención a los sistemas que tengan agua de calidad más pobre.

Tanto el programa como el nivel de vigilancia deben adaptarse a las condiciones locales y a los recursos económicos del país y tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- el tipo de sistemas de abastecimiento de agua (tamaño, tipo de fuente, calidad del agua, etc.)
- el equipo utilizado y el equipo disponible;
- las prácticas locales para la contratación de personal y el nivel de capacitación del mismo;
- el nivel socioeconómico de la comunidad a la que sirve el sistema de abastecimiento de agua;
- la participación de la comunidad;

- las condiciones geográficas y climatológicas;
- la infraestructura local de transportes y comunicaciones.

Aunque el objetivo principal de un programa de vigilancia y control es garantizar un abastecimiento seguro y adecuado de agua potable, pueden definirse ciertos objetivos complementarios, como por ejemplo:

- (a) determinación de las tendencias en la calidad del agua potable a lo largo del tiempo;
- (b) suministro a las autoridades de salud pública de información que pueda ser utilizada para propósitos de protección de la salud de la población;
- (c) identificación de las fuentes de contaminación;
- (d) evaluación del rendimiento de las plantas de tratamiento de agua; de ser necesario, se pueden sugerir las modificaciones apropiadas;
- (e) evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua con miras a mejorarlos.

Debido a la limitación de los recursos disponibles, particularmente en los países en desarrollo, puede ser aconsejable empezar con un programa de vigilancia bastante básico, para luego irlo mejorando en etapas. Al planificar hacia el futuro, el objetivo debe ser brindar niveles de vigilancia cada vez mayores, para alcanzar finalmente un nivel realmente avanzado (véase más adelante).

Para propósitos prácticos, pueden identificarse dos niveles de vigilancia con las siguientes características:

Nivel inicial: vigilancia irregular, o un programa básico que esté severamente limitado en sus alcances y su efectividad.

Nivel avanzado: todos los elementos de vigilancia y control están funcionando plenamente y en su totalidad.

En el Cuadro 2 se resumen las principales actividades en estos dos niveles de vigilancia.

2.2 Evaluación de la situación existente

Los sistemas de abastecimiento de agua varían grandemente en su tamaño, yendo desde pequeños sistemas utilizados por una sola familia, como por ejemplo un pozo o una cisterna para agua de lluvia, hasta sistemas que brindan servicio a muchos consumidores. Es probable que no se disponga de sistemas adecuados y seguros en un gran número de poblados en las áreas rurales y en muchos asentamientos marginales en las áreas urbanas donde el control, la operación y el mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua frecuentemente son inadecuados. Con frecuencia, las poblaciones de las pequeñas comunidades están en gran riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua, por lo que sus sistemas de abastecimiento de agua necesitan ser protegidos y ello solo puede lograrse mediante una vigilancia efectiva. La información sobre la salud en general, recolectada a nivel central, provincial (regional) y local (o equivalente), ayudará a definir las prioridades para el

Cuadro 2. Resumen de las principales actividades para los niveles de vigilancia inicial y avanzado

Actividad	Nivel de vigilancia	
	Inicial	Avanzado
leyes, reglamentos y políticas puesta en vigor normas de agua potable	básico básico parámetros bacterianos y algunos físico- químicos	completo completo numerosos parámetros según lo definido en las guías publica- das por la OMS, u otros equivalentes
asistencia técnica capacitación de: personal	limitada en el trabajo, más cursi- llos	activa como en el nivel inicial más uso de institutos técnicos
operadores de los sistemas de abastecimiento de agua inspecciones sanitarias	seminarios más cursi- llos todos los sistemas urbanos y sistemas de pequeñas comuni- dades	como en el nivel inicial más uso de institutos técnicos todos los sistemas urbanos y muchos sistemas de pequeñas comunidades
aprobación de fuentes	todos los sistemas urbanos y algunos sistemas de pequeñas comunidades	todos los sistemas urbanos y muchos sistemas de pequeñas comunidades
muestreo y vigilancia	áreas urbanas	áreas urbanas y áreas rurales con situaciones especiales
análisis del agua	bacteriano y de cloro residual	según se indica en las guías publicadas por la OMS, o equivalente
medidas correctivas laboratorios	las necesarias laboratorios existentes en el sector salud	las necesarias como en el nivel inicial más laboratorios de referencia
normas o criterios	asesoría	aquellos que se puedan aplicar a nivel nacional
control de conexiones cruzadas código de plomería	asesoría asesoría	programa activo elaboración y puesta en vigor del código
servicio de apoyo a los laborato- rios	disponibilidad de me- dios y reactivos básicos	disponibilidad de laboratorios completamente equipados
normas sobre materiales aditivos	asesoría	elaboración y aprobación de listas
reglamentación para sistemas de abastecimiento de aguas especiales: institucionales	hospitales, principales estaciones ferro- viarias y terminales aéreas	como en el nivel inicial más otros establecimientos
temporales	ninguno	campamentos grandes, merca- dos, ferias, etc.

programa de vigilancia en un país. Debe prepararse a cada nivel un inventario de los sistemas de abastecimiento de agua existentes y propuestos, incluyéndose detalles acerca de la fuente de agua, tamaño y tipo de cualquier planta de tratamiento de agua, los sistemas de distribución (si existieran), la población beneficiada, etc. De igual manera, deberán identificarse los servi-

cios de apoyo con que se cuenta, como transportes e instalaciones para el análisis.

Del análisis de toda la información presentada en el inventario, se podrá calcular el volumen de trabajo necesario para la vigilancia y el costo de dicha actividad. Esto es esencial si se quiere desarrollar un programa realista. En la Figura 1 se presenta la sugerencia de un formulario para el inventario de sistemas de abastecimiento de agua.

Figura 1. Sugerencia de formulario para inventario de sistemas de abastecimiento de agua

Fecha de inspección Día Mes Año

Información general

Nombre del sistema

Propietario

Ubicación

Personas encargadas

Número de personas servidas:

— mediante conexiones domiciliarias

— mediante fuentes públicas

— total

Fuente del agua

Agua subterránea Agua superficial Agua de lluvia

Recolección y tratamiento del agua

Pozo excavado

Manantial

Pozo perforado

Galería de infiltración

Captación de aguas superficiales

Sistema simple de recolección de agua de lluvia

Sistema de recolección de agua de lluvia con tratamiento

Filtración lenta en arena

Coagulación y filtración rápida en arena

Aeración

Desinfección

¿Existe algún mecanismo de desinfección? Sí No

¿Está funcionando el sistema en forma continua? Sí No

Figura 1. (continuación)

Depósitos

¿Existen depósitos en el sistema?

Sí

No

En caso afirmativo, ¿cuántos?

Sistema de distribución

Número de conexiones domiciliarias

Número de fuentes públicas

Total

Sistemas abiertos*

Sistemas cerrados*

Diagrama esquemático del sistema de abastecimiento de agua desde la captación en la fuente hasta la distribución (breve esbozo)



Laboratorios

Laboratorio más cercano: en la comunidad

fuera de la comunidad

Si está fuera de la comunidad, indicar el lugar

Nombre del laboratorio

Propietario

Distancia de la comunidad al laboratorio (en km)

Mejor forma de transporte entre la comunidad y el laboratorio:

Frecuencia de transporte días al mes días a la semana

Tiempo de transporte más rápido (en horas)

Instalaciones para la actividad de vigilancia

Personal más cercano para la inspección
sanitaria en la comunidad

fuera de la comunidad

Si está fuera de la comunidad, indicar el lugar

Distancia de la comunidad a la oficina
del inspector sanitario (en km)

* Para ejemplos de sistemas "cerrados" y "abiertos" véanse Figuras 3 y 4.

2.3 Inspecciones sanitarias y muestreo del agua

La planificación de las inspecciones sanitarias y de los programas de toma de muestras de agua para análisis bacteriológico depende del volumen de trabajo en relación con el número y el tipo de sistemas de abastecimiento de agua existentes y propuestos, y de la amplitud y tipo de los sistemas de control utilizados.

En los Cuadros 3 y 4 se indican frecuencias sugeridas de inspección y muestreo, las cuales pueden incrementarse a medida que mejore el nivel de vigilancia.

Cuadro 3. Frecuencia sugerida para inspecciones sanitarias de abastecimientos de agua

Fuente y modo de abastecimiento	Número mínimo de inspecciones sanitarias por año		
	Por parte de trabajadores de la comunidad	Por parte de la empresa de agua	Por parte de la entidad de vigilancia
<i>Agua subterránea</i>			
pozos abiertos para abastecimientos comunitarios	12	—	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación
pozos excavados cubiertos y pozos tubulares de poca profundidad con bombas de mano	4	—	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación
pozos tubulares profundos con bombas de mano	4	—	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación
abastecimientos con pozos y sistemas de tuberías	1	1	inicialmente, una vez; posteriormente, una vez cada 5 años o según lo exija la situación
abastecimientos con manantiales y sistemas de tuberías	1	1	inicialmente, una vez; posteriormente, una vez cada 5 años o según lo exija la situación
<i>Agua superficial y agua de lluvia</i>			
filtrada y/o clorada y distribuida por tuberías			
población hasta 5000 hab.	12	2	inicialmente, una vez; posteriormente, una vez cada 5 años o según lo exija la situación
población de 5000-20 000 hab.	—	24-48	una vez al año cada sistema
sistemas comunales de recolección de agua de lluvia	1	—	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación

Cuadro 4. Frecuencia sugerida para el muestreo y análisis de abastecimiento de agua

Fuente y modo de abastecimiento	Frecuencia mínima de muestreo y análisis		
	Bacteriológico	Físico-químico	Comentarios
<i>Agua subterránea</i>			
pozos abiertos para abastecimientos comunitarios	0ª	inicialmente, una vez; en el caso de pozos de la comunidad	generalmente se espera encontrar contaminación
pozos excavados cubiertos y pozos tubulares de poca profundidad con bombas de mano	0ª	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación	situaciones que requieren muestras y análisis: cambio en las condiciones ambientales, brotes de enfermedades transmitidas por el agua o incremento en la incidencia de estas enfermedades
pozos tubulares profundos con bombas de mano	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación	situaciones que requieren muestreo y análisis: cambio en las condiciones ambientales, brotes de enfermedades transmitidas por el agua o incremento en la incidencia de estas enfermedades
abastecimientos con pozos y sistemas de tuberías	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación	pruebas periódicas para cloro residual si el agua es clorada	situaciones que requieren muestreo y análisis: cambio en las condiciones ambientales, brotes de enfermedades transmitidas por el agua o incremento de la incidencia de estas enfermedades
abastecimientos con manantiales y sistemas de tuberías	inicialmente, una vez; posteriormente, según lo exija la situación	pruebas periódicas para cloro residual si el agua es clorada	situaciones que requieren muestreo y análisis: cambio en las condiciones ambientales, brotes de enfermedades transmitidas por el agua o incremento en la incidencia de estas enfermedades
<i>Agua superficial y agua de lluvia</i>			
filtrada y/o clorada y distribuida por tuberías	una vez por mes	pruebas diarias de cloro residual	incrementar la frecuencia si la situación lo requiere
sistemas comunales de recolección de agua de lluvia	medidas de protección sanitaria: pruebas bacteriológicas solo si la situación lo exige	no es necesario	

ªPara medidas correctivas y preventivas, véase el Cuadro 5

2.4 Manejo y uso de la información

2.4.1 Resultados de los análisis de agua

En los casos de las pruebas de calidad del agua llevadas a cabo por la entidad de vigilancia, las líneas de comunicación pasan normalmente por una entidad de vigilancia regional. Las pruebas de campo y la toma de muestras para análisis microbiológicos pueden estar a cargo de personal local seleccionado; esto ahorra tiempo y esfuerzo, pero requiere la previa capacitación de dicho personal. Las muestras pueden ser transportadas hasta un laboratorio designado en la región, el cual será responsable de llevar adelante todo el proceso administrativo y de análisis y de comunicar los resultados de los mismos.

Cuando la entidad de vigilancia regional decide que los resultados de los análisis del agua no son satisfactorios (tomando en cuenta también los resultados de las inspecciones sanitarias) y que se requieren acciones correctivas inmediatas, dicha decisión, junto con las instrucciones apropiadas, deberá ser transmitida (idealmente por radio o telegrama) a la entidad de vigilancia y a la empresa responsable del abastecimiento de agua a nivel local. Además, debe enviarse lo más pronto posible una confirmación por escrito. En caso de que sea necesario ejercer presión sobre la empresa local de abastecimiento de agua para que enfrente algún problema relacionado con el mismo, deberá informarse de la situación, por escrito y lo más pronto posible, a la autoridad de abastecimiento de agua del nivel inmediato superior. Con frecuencia, y dependiendo de la estructura de las empresas de abastecimiento de agua en el país, también es necesario que la entidad de vigilancia informe al nivel más alto de la autoridad de abastecimiento de agua; esto asegurará que se disponga de registros que podrán ser usados en la planificación posterior. La empresa responsable del abastecimiento de agua a nivel local deberá alertar al personal local en caso de que se necesite de adicionales muestreos y pruebas, o de otras actividades.

Como una guía para llevar a cabo las medidas correctivas, la entidad de vigilancia debe suministrar a las empresas de agua locales lo siguiente:

- (a) un informe sobre la situación;
- (b) información respecto a la fecha, el momento y el lugar en que se produjo la contaminación u otro problema;
- (c) sugerencias sobre las medidas correctivas necesarias.

Las medidas correctivas pueden consistir de una desinfección "de nivel elevado" (una desinfección fuerte) del sistema de abastecimiento de agua, es decir, el suministro de un gran exceso de cloro u otro desinfectante, y/o de la limpieza de los sistemas de distribución donde sea pertinente (ya sea en forma independiente o seguida de la desinfección fuerte), para luego proceder a la redesinfección del abastecimiento.

Además, la entidad de vigilancia debe también alertar inmediatamente a la población respecto a la situación y aconsejarles que hiervan toda el agua de bebida.

Si no con tanta urgencia, también es muy importante que, en cuanto sea posible:

- se tomen a la mayor brevedad nuevas muestras del abastecimiento de agua para su examen microbiológico;
- se verifiquen los niveles de cloro residual en puntos apropiados;
- se realice una inspección sanitaria completa;
- se identifique la causa o fuente del problema y se rectifique la situación;
- se informe a la empresa de abastecimiento de agua sobre las medidas tomadas.

En el Capítulo 7 se brinda mayor información sobre las medidas preventivas y correctivas.

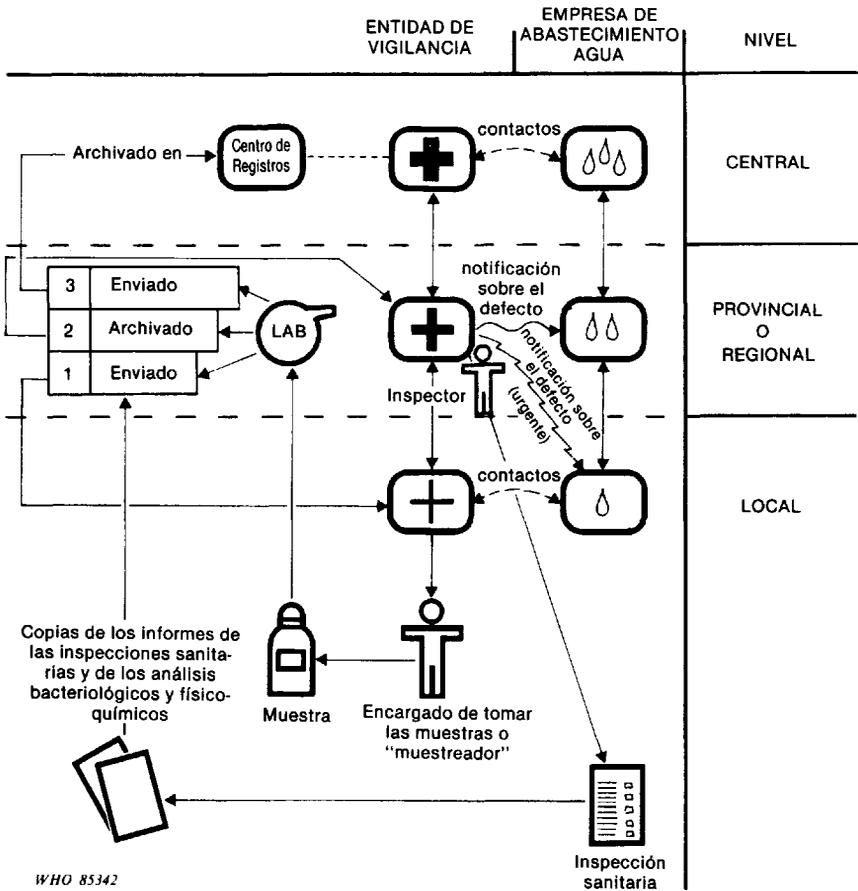
2.4.2 Resultados de las inspecciones sanitarias

Si los resultados de las inspecciones sanitarias no son satisfactorios, debe tomarse acción inmediata, en modo y medidas similares a las descritas anteriormente para el caso de los análisis de calidad del agua. Algunas de estas medidas son llevadas a cabo por la entidad de vigilancia y otras por la empresa de abastecimiento de agua. Idealmente, las medidas correctivas a aplicarse al sistema de abastecimiento de agua deberían ser responsabilidad de la empresa de agua potable. Sin embargo, en muchos casos, en los países en desarrollo, la entidad de vigilancia puede llevar a cabo a nivel local parte del trabajo necesario, aun incluyendo medidas prácticas de control, simplemente por el hecho de encontrarse en el lugar indicado en ese momento. Normalmente, a nivel local, es la entidad de vigilancia la que en realidad debería asumir la responsabilidad de tomar muestras y realizar pruebas y análisis sobre la calidad del agua. Esto, debido a que en muchos países en desarrollo las entidades locales de vigilancia probablemente sean más activas que las empresas locales de abastecimiento de agua. Sin embargo, en última instancia, la responsabilidad final de la entidad de vigilancia debe ser que las empresas responsables del abastecimiento de agua controlen sus sistemas de agua potable de manera permanente y lo mejor que les permitan sus recursos y capacidades.

Con frecuencia, el nivel de capacitación del personal encargado de las inspecciones sanitarias necesita ser mayor y más especializado que en el caso del personal que solo se dedica a tomar muestras para verificar la calidad del agua. En el caso de las inspecciones sanitarias efectuadas por la entidad de vigilancia, los responsables deben tener una capacitación a nivel de laboratorio regional y, de preferencia, a niveles aún más elevados.

En la Figura 2 se muestran las acciones tomadas y las líneas de comunicación entre las entidades de vigilancia y las empresas de abastecimiento de agua.

Figura 2. Diagrama de flujo de las comunicaciones y acciones relacionadas con la vigilancia de la calidad del agua potable



2.4.3 Procesamiento integral de la información

En algunos países, muchas regiones cuentan con personal calificado para llevar a cabo la vigilancia, pero, en otros, tal clase de personal solo está disponible a nivel central. Para evitar dificultades en la comunicación, deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para garantizar que la transmisión de información sea tan directa y simple como sea posible. En las pequeñas comunidades, generalmente se recomienda que las inspecciones sanitarias llevadas a cabo por la entidad de vigilancia, o por terceros a los que ella haya encargado el proceso, no deben ser de responsabilidad del personal local.

Es de la mayor importancia que los organismos responsables de la vigilancia se aseguren de que cualquier instrucción que ellos emitan, ya sea en forma escrita o verbal, sea de fácil comprensión. Esto debe ayudar a evitar cualquier malentendido o conflicto entre las diferentes actividades de los diversos organismos. La cooperación y colaboración entre los diferentes organismos es muy importante y debe ser alentada, de tal manera que se asegure una buena relación de trabajo. Si se descubriera alguna negligencia, esta debe ser inmediata y cuidadosamente investigada, con el objetivo de corregir la situación y mejorar las condiciones para el futuro.

3. INSPECCIONES SANITARIAS

En términos generales, un programa de control de la calidad del agua potable comprende dos actividades igualmente importantes: la ejecución de inspecciones sanitarias y la recolección y análisis de muestras de agua. Las variaciones en la calidad del agua pueden ayudar a detectar problemas de contaminación en los abastecimientos y a determinar si dichos problemas tienen su origen en la fuente, durante el tratamiento del agua o en el sistema de distribución. Sin embargo, con frecuencia no es posible tomar más que unas cuantas muestras y, en consecuencia, es probable que los resultados de cualquier análisis no sea representativo del sistema de abastecimiento en su conjunto. Además, los análisis microbiológicos, por el hecho de que su ejecución toma un considerable tiempo, brindan, en el mejor de los casos, una indicación de la calidad que tenía el agua varios días antes. Debido a esta demora, es posible que cuando se descubre que el nivel de contaminación bacteriológica es demasiado elevado, ya se hayan producido efectos adversos en la población que consume dicha agua. Esto limita la utilidad del análisis bacteriológico como único indicador de la seguridad de un abastecimiento de agua.

Las inspecciones sanitarias, si bien no reemplazan a los análisis de calidad del agua, constituyen un complemento esencial de los mismos como parte de los programas de control de la calidad de agua. Ellas permiten una evaluación de la gran cantidad de factores asociados a un sistema de abastecimiento de agua, incluyendo las obras de captación y tratamiento y el sistema de distribución. Además, tal evaluación puede ser verificada y confirmada posteriormente mediante análisis microbiológicos que indicarán la gravedad de los defectos. Por lo tanto, las inspecciones sanitarias brindan un método directo para individualizar y señalar con precisión posibles problemas y fuentes de contaminación. También son importantes en la prevención y control de condiciones potencialmente peligrosas, incluyendo las epidemias de enfermedades transmitidas por el agua.

Las inspecciones sanitarias tienen como objetivo brindar una gran amplitud de información y localizar problemas potenciales. La información obtenida puede identificar fallas, anomalías, errores de los operadores y cualquier desviación de lo normal que pueda afectar la producción y distribución de agua potable segura. Cuando las inspecciones son apropiadamente realizadas, a intervalos regulares adecuados y por un inspector con el conocimiento necesario para detectar problemas y sugerir soluciones técnicas, la producción de agua de buena calidad está garantizada.

3.1 Organización

La frecuencia de las inspecciones sanitarias de rutina depende de una serie de factores, tales como la geografía, la distribución demográfica, el acceso a

las diferentes localidades, etc., así como también depende del nivel de desarrollo general, en el que se incluyen las instalaciones, el número y capacidad del personal técnico, el nivel de actividad en los programas de vigilancia, etc.

Por lo general, no es posible mantener el mismo nivel de actividad en todas las áreas de cada país, lo cual puede generar dificultades al desarrollar el programa. No obstante esto, en el Capítulo 2 se ha descrito una metodología general. Puede resultar impracticable, o imposible, iniciar y llevar adelante un programa integral en países que cuenten con numerosos sistemas rurales y solo unos cuantos ingenieros sanitarios o un escaso personal de vigilancia bien capacitado. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que la vigilancia es factible, por lo menos en forma parcial, aun cuando los niveles de programación sean bajos, siempre que se tome unas cuantas y simples precauciones.

Por ejemplo, en un país o en una región donde se disponga solo de unos pocos profesionales altamente capacitados para llevar a cabo el control en un gran número de localidades, puede ser de gran ayuda el uso de personal técnico menos calificado, al cual se le capacitaría para acciones de vigilancia. La capacitación colectiva de grupos seleccionados tiene un efecto multiplicador, de tal manera que, utilizando cursillos intensivos, un solo ingeniero sanitario puede tener finalmente un gran número de trabajadores auxiliares a su disposición. Una alternativa bastante común es que cada región tenga solo un inspector (un ingeniero sanitario, un inspector de sanidad o un técnico bien capacitado). La única tarea de este inspector sería visitar constantemente los diferentes sistemas de la región.

Las inspecciones rutinarias son visitas realizadas con una frecuencia definida, en concordancia con un plan previamente establecido. Además, serán necesarias visitas fuera de rutina en situaciones atípicas, tal como la introducción de una nueva fuente de agua, y en casos de emergencia.

Las situaciones de emergencia que exigen la presencia urgente del ingeniero o técnico incluyen:

- (a) informes de epidemias;
- (b) alta turbiedad causada por inundaciones o avenidas;
- (c) casos no resueltos, en los que los análisis bacteriológicos muestran repetidamente la presencia de niveles excesivos de organismos microbiológicos o en los que los niveles de cloro residual permanecen constantemente bajos;
- (d) la detección de cualquier cambio importante que podría influir negativamente en la calidad del agua.

Por lo tanto, el personal de vigilancia para sistemas rurales de abastecimiento de agua puede dividirse en dos tipos: inspectores para el trabajo rutinario e inspectores para situaciones de emergencia y fuera de rutina. Todas las situaciones de emergencia mencionadas son inusuales e impredecibles y pueden involucrar riesgos considerables para la salud de la población. Es precisamente este alto potencial de riesgo el que exige mayor atención y conocimientos por parte de quienes realizan las inspecciones. En consecuencia, las inspecciones en situaciones de emergencia deberían ser conducidas por un ingeniero sanitario o un profesional con una capacitación similar. Los conocimientos de tal persona sobre las posibles causas del problema no solo per-

mitirán una evaluación más confiable de la situación y facilitarán la ejecución de las medidas correctivas, sino que harán más factible que se encuentre el modo más adecuado de enfrentar el problema. La vigilancia rutinaria puede, empero, ser llevada a cabo perfectamente por operadores técnicos, siempre que hayan recibido una capacitación adecuada.

Debe señalarse que, en vista de la responsabilidad que tendrá que asumir todo este personal de vigilancia, su capacitación debe ser muy exigente y cuidadosa. Idealmente, su capacitación, que cubriría todos los aspectos de los sistemas de abastecimiento y distribución del agua potable, debería realizarse en el terreno, es decir, en las obras e instalaciones mismas, bajo la supervisión de un ingeniero sanitario.

Finalmente, debe enfatizarse que, si bien es posible que los operadores encargados del muestreo de rutina para análisis bacteriológicos pudieran no tener el mismo nivel de conocimientos que el personal a cargo de las inspecciones sanitarias, deben tener un conocimiento básico de la materia y, en muchos casos, ser capaces de alertar adecuadamente sobre posibles riesgos.

3.2 Metodología

La inspección sanitaria requiere de un examen completo y concienzudo del sistema de abastecimiento de agua, o por lo menos de sus puntos claves, con el fin de verificar si las instalaciones son satisfactorias y si las diferentes operaciones están siendo ejecutadas apropiadamente. El método recomendado para llevar a cabo la inspección es seguir la secuencia natural, comenzando con la fuente de agua y las obras de captación, siguiendo con el tratamiento, la desinfección, el almacenamiento, la distribución, etc. En cada caso, es esencial registrar lo que se ha observado en formularios apropiados.

El procedimiento para llevar a cabo inspecciones sanitarias debe ser diseñado y formulado de tal manera que el inspector pueda realizar una evaluación rápida, sistemática y completa de los puntos claves de cualquier sistema de abastecimiento de agua. Esta persona debe ser capaz de construir un cuadro o un formulario que pueda ser armado como un rompecabezas y que, por lo tanto, será específico para los sistemas de abastecimiento de agua en consideración. En el Anexo 2 se muestra un ejemplo de un formulario de este tipo; allí también se da información detallada sobre la planificación y la puesta en marcha de las inspecciones sanitarias.

4. RECOLECCION DE MUESTRAS DE AGUA

4.1 Requisitos básicos

Uno de los elementos claves en el control de la calidad del agua potable es el examen microbiológico de la misma. Este se efectúa mediante el análisis de muestras de agua recolectadas del sistema de abastecimiento. Al recolectarse tales muestras, se deben satisfacer los siguientes requisitos:

(a) el muestreo debe estar convenientemente planificado, siendo lo ideal que se lleve a cabo con una frecuencia suficiente como para permitir que se detecte cualquier variación estacional en la calidad del agua;

(b) las muestras deben ser recolectadas, guardadas y enviadas en frascos esterilizados apropiados;

(c) el volumen de agua recolectado debe ser lo suficientemente grande como para permitir un análisis preciso;

(d) los puntos de muestreo en los sistemas de abastecimiento de agua deben ser seleccionados de tal manera que las muestras obtenidas sean lo más representativas posible;

(e) debe tenerse gran cuidado durante el muestreo para impedir que se produzca contaminación de la muestra que se está recolectando;

(f) con el objeto de prevenir cualquier cambio significativo en la composición de una muestra antes de su análisis, es importante asegurarse de que sea recolectada apropiadamente y despachada lo antes posible;

(g) deben describirse bien las especificaciones de la muestra y colocarse y llenarse las etiquetas en los frascos de muestras en forma apropiada para evitar errores.

A continuación se brindan recomendaciones generales sobre diferentes aspectos del proceso de muestreo, mientras que en el Anexo 3 se dan las instrucciones detalladas para el muestreo.

4.2 Selección de los puntos de muestreo

El objetivo del muestreo es determinar la calidad del agua que llega al grifo del usuario o a algún otro tipo de salida; esta calidad puede ser o no ser la misma que la existente en el sistema de distribución en el punto en el que se conecta a la vivienda doméstica. En muchas localidades, se usa comúnmente un tanque de reserva doméstico y es posible que el agua se contamine allí. Por lo tanto, para determinar la calidad del agua que sale del grifo, sería necesario verificar la calidad de la misma en cada tanque existente en la comunidad, lo cual no es factible. En consecuencia, un programa de control de la calidad del agua se diseña para determinar la calidad del agua que entra a la vivienda del usuario. La calidad del agua en cualquier tanque de reserva es responsabi-

lidad del propietario y de los ocupantes del inmueble; esta responsabilidad debe ser guiada e incentivada mediante campañas de educación sanitaria organizadas por las autoridades de salud pública. Para información sobre la frecuencia del muestreo, véase el Cuadro 4.

Al seleccionar los puntos de muestreo, cada localidad debe ser considerada individualmente; sin embargo, en la mayoría de los casos, pueden aplicarse ciertos criterios generales:

(a) los puntos de muestreo deben ser seleccionados de tal manera que las muestras sean representativas de las diferentes fuentes de las cuales proviene el agua que ingresa en el sistema;

(b) estos puntos deben incluir aquellos que producen muestras representativas de las condiciones en los lugares más desfavorables del sistema desde el punto de vista de una posible contaminación (volutas, estanques, zonas de baja presión, puntos extremos del sistema, etc.);

(c) los puntos de muestreo deben estar distribuidos uniformemente a lo largo del sistema;

(d) los puntos de muestreo deben estar ubicados en los tres tipos de sistemas de distribución (abiertos, cerrados y mixtos) en forma proporcional al número de enlaces o ramales;

(e) los puntos de muestreo generalmente deben escogerse de manera tal que las muestras sean representativas del sistema en su conjunto y de sus principales componentes;

(f) los puntos de muestreo deben estar ubicados de tal manera que se pueda recolectar agua de los tanques de reserva y estanques, etc;

(g) en los sistemas con más de una fuente de agua, los puntos de muestreo deben estar ubicados de tal manera que tomen en cuenta el número de habitantes servidos por cada fuente;

(h) debe haber por lo menos un punto de muestreo inmediatamente después de la salida de agua limpia de cada planta de tratamiento.

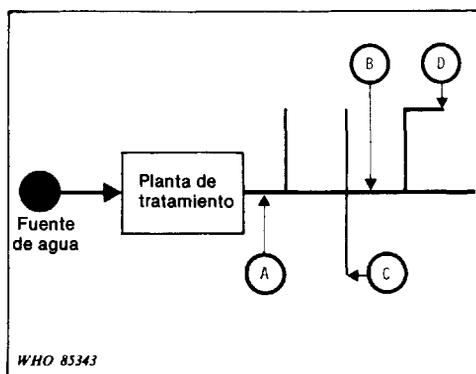
En las Figuras 3 a 5 se muestran ejemplos que ilustran los criterios de selección de los puntos de muestreo en cada uno de los tres tipos de sistema.

En los sistemas de distribución abiertos, es necesario el muestreo:

A: en el punto de salida del agua limpia de la planta de tratamiento; esto sirve para verificar la efectividad del tratamiento del agua y para indicar la calidad del agua que entra en el sistema de distribución;

B: en un punto tal que las muestras sean representativas del agua en la tubería maestra o troncal;

Figura 3. Sistema de distribución abierto



C: en un punto tal que las muestras sean representativas del agua en los ramales de la tubería troncal;

D: en un punto tal que las muestras sean representativas del agua al final del sistema.

En los sistemas de distribución cerrados, es necesario el muestreo:

A: en el punto de salida del agua limpia de la planta de tratamiento; esto sirve para verificar la efectividad del tratamiento del agua y para indicar la calidad del agua que entra en el sistema de distribución;

B: en un punto tal que las muestras sean representativas del agua en el circuito principal;

C: en un punto tal que las muestras sean representativas del agua en los circuitos secundarios;

En este ejemplo de un sistema de distribución mixto existen tres fuentes de agua y el sistema tiene una zona de distribución "cerrada" y una del tipo "abierto". Por lo tanto, es necesario el muestreo:

A: en el punto de salida del agua limpia de la planta de tratamiento; esto sirve para verificar la efectividad del tratamiento del agua y para indicar la calidad del agua que entra en el sistema de distribución;

B: en un punto tal que las muestras sean representativas de la calidad del agua de pozo que ingresa en el sistema;

Figura 4. Sistema de distribución cerrado

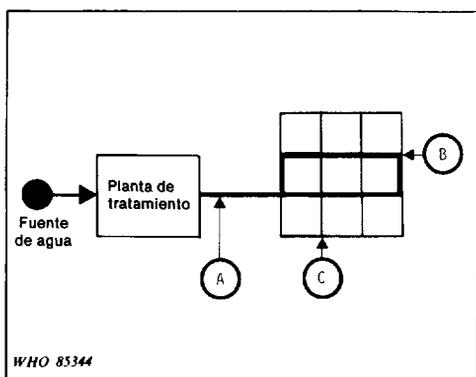
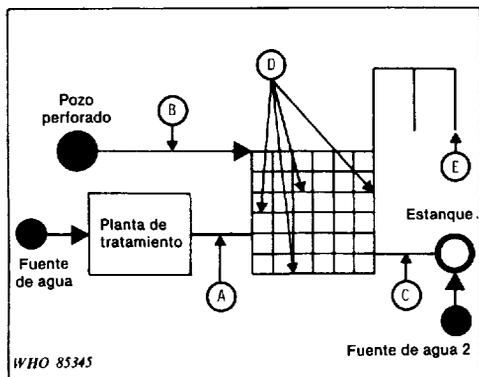


Figura 5. Sistema de distribución mixto



C: en un punto tal que las muestras sea representativas de la calidad del agua que sale del estanque; en algunos casos, también puede ser importante tomar muestras del agua que ingresa en el mismo;

D: en puntos tales que las muestras sean representativas del agua en el sistema de distribución principal; estos puntos de la red deben ser de igual importancia en términos de la cantidad de agua que fluya a través de ellos;

E: en un punto tal que las muestras sean representativas de la calidad del agua en el sistema abierto (en este caso simple, deben tomarse muestras de un ramal secundario y del final del sistema).

Este sistema probablemente es más complicado que la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades. Se le incluye aquí para mostrar cómo pueden tratarse las situaciones más complicadas.

4.3 Equipo

Aunque para el muestreo se pueden utilizar ciertos tipos de frascos de plástico, es mejor utilizar frascos de vidrio; estos deben tener tapas o tapones de cierre seguro y ajustado; y tanto los frascos como sus tapas o tapones deben estar adecuadamente esterilizados. Los frascos deben tener una capacidad de por lo menos 200 ml de agua. Si la muestra tomada para análisis microbiológico contiene algo de cloro residual, este continuará actuando sobre cualquier bacteria presente después de realizado el muestreo; esto implica que quizás el análisis pudiera no ser indicativo del verdadero contenido microbiológico del agua de muestra. Para superar esta dificultad, es común añadir tiosulfato de sodio a la muestra; este reactivo inactivará inmediatamente cualquier cloro residual presente, pero no afectará a los microorganismos presentes en la muestra, sea que haya cloro presente o no.

4.3.1 Procedimiento de esterilización de los frascos para muestras

Para un tamaño de muestra de 200 ml, se añaden 4 ó 5 gotas de una solución acuosa de tiosulfato de sodio (100 g/litro) a cada frasco de muestras limpio. Se coloca el tapón sin ajustar y, para evitar el ingreso de polvo, se ata al cuello del frasco una cubierta de papel de estraza o papel de aluminio. Luego, el frasco se esteriliza en un horno de aire caliente a 170°C durante una hora, o en una autoclave a 120°C durante 30 minutos. Si no se cuenta con una autoclave, se puede utilizar, como último recurso, una olla de presión, pero entonces la esterilización demorará de 30 a 45 minutos. Para evitar que el tapón se atasque durante la esterilización, debe insertarse una tira de papel de estraza (75 x 10 mm) entre el tapón y el cuello del frasco.

Por razones de costo, los frascos deben ser reutilizados después que la muestra haya sido analizada en el laboratorio regional o central. Deben ser nuevamente esterilizados en el laboratorio y luego regresados al lugar de procedencia.

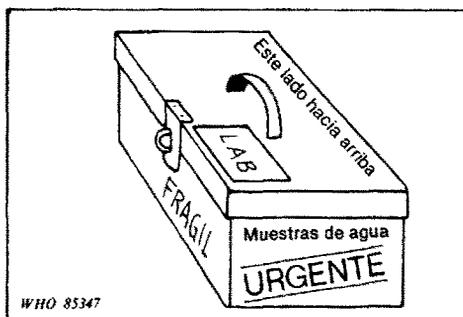
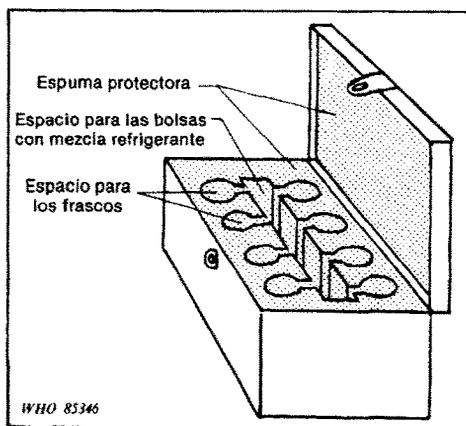
Si, en circunstancias poco usuales, no es factible o resulta demasiado costoso regresar los frascos para su reutilización, puede usarse otro tipo de fras-

cos para el muestreo. Por ejemplo, en muchos países existen botellas de vidrio desechables, del tipo utilizado en bebidas gaseosas o cerveza; estas tienen una serie de ventajas: son hechas de vidrio, su capacidad es frecuentemente de 250 a 400 ml y pueden obtenerse en grandes cantidades. Sin embargo, se necesitará entonces de un suministro de tapas y de una máquina taponadora manual. Estas botellas son esterilizadas añadiéndose primero la solución de tiosulfato de sodio y luego colocándolas de pie (sin tapa) en el autoclave o en el horno de aire caliente, usándose como tapa o cubierta un pedazo de papel de estraza firmemente atado con un cordel. Las tapas se esterilizan aparte y luego se envuelven en papel de estraza.

4.3.2 Acondicionamiento y empaque de los frascos de muestras para su transporte

Los frascos deben ser transportados o enviados en una caja resistente para evitar roturas; debe haber suficiente espacio en la caja para incluir bolsas con mezcla refrigerante a fin de mantener frías las muestras. Las cajas que alberguen de 6 a 12 frascos son las ideales. La cubierta externa o tapa puede ser de madera o metal y debe llevar claramente escritas las inscripciones "Fragil", "Muestras de agua, urgente" y "Este lado arriba", así como la dirección del laboratorio al que se están enviando las muestras. En la tapa de la caja debe fijarse una placa reversible con el nombre y la dirección de la persona que envía las muestras de agua en un lado y el nombre y dirección del laboratorio que va a hacer el análisis en el otro. La tapa de la caja debe tener un asa que ayude a garantizar que la caja va a ser transportada con el lado correcto hacia arriba. En la Figura 6 se muestra el ejemplo de una caja adecuada para el transporte de muestras.

Figura 6. Caja protectora para el transporte de muestras



4.4 Envío de las muestras

Muchos parámetros de calidad del agua pueden cambiar durante el tiempo en que las muestras están en tránsito a un laboratorio; las pruebas o análisis de campo pueden evitar la necesidad de analizar las muestras en otro lugar, pero si esto no pudiera hacerse, las muestras deben ser adecuadamente empaquetadas o embaladas en cajas resistentes y enviadas al laboratorio lo antes posible. Si se prevé que van a estar en tránsito por más de 24 horas, deben utilizarse medios especiales en el embalaje. La temperatura ideal para preservar las muestras es de 4 a 10°C. En climas cálidos, deben colocarse en la caja, alrededor de las muestras, bolsas con una mezcla refrigerante previamente enfriada, tal como se muestra en la Figura 6.

En muchos lugares, los responsables del muestreo no tienen vehículos para transportar los frascos de muestras y, en consecuencia, tienen que usar los medios de transporte públicos. Esto implica que debe prestarse particular atención a los horarios y rutas de ese transporte.

Para asegurarse de que cada muestra esté clara y adecuadamente descrita, debe ir acompañada de un formulario detallado, el que contendrá toda la información necesaria sobre dónde y cuándo se recolectó la muestra, así como una descripción de la misma y el nombre de la persona que la envió. En la Figura 7 se muestra un formulario que ha sido probado en la práctica con resultados satisfactorios. Este contiene dos secciones que pueden separarse; en el momento del muestreo, se escribe la misma información en ambas secciones. Luego, se desglosa la sección más pequeña y, si ya está engomada, se le pega directamente en el frasco o, si no, se le fija con una cinta adhesiva adecuada; esta información será útil para el laboratorio que lleve a cabo el análisis. En la segunda sección del formulario, el laboratorio que lleva a cabo el análisis anota los resultados, además de la información sobre cualquier acción que se haya tomado. Inmediatamente se envían copias a la entidad de vigilancia local o a la empresa local de abastecimiento de agua, así como a la persona responsable del muestreo, brindándoles de esa manera toda la información necesaria sobre las muestras.

Figura 7. Sugerencia de formulario para acompañar a las muestras de agua

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA	DATOS DE LA MUESTRA
(Nombre del organismo responsable.....)	Localidad _____
=====	Punto de muestreo _____
MUESTREO Y ANALISIS BACTERIOLOGICO	Lugar _____
<u>Datos de la muestra:</u>	Fuente _____
Localidad _____	Cloro residual _____
Punto de muestreo _____	Fecha del muestreo _____
Lugar _____	Hora del muestreo _____
Fuente _____	Remitente _____
Remitente _____	Esta sección se desglosa y se pega al frasco con la muestra
Fecha de recolección _____	
Hora de recolección _____	El laboratorio anota los resultados del análisis y envía copias de esta sección a la entidad de vigilancia local o a la empresa de abastecimiento de agua así como a la persona responsable del muestreo
Fecha del análisis _____	
Hora del análisis _____	
Cloro residual _____ mg/litro	
<u>Resultados</u>	
COLIFORMES TOTALES/100 ml	
COLIFORMES FECALES/100 ml	
(OTROS)	
Muestra de Laboratorio No. _____	
AGUA BACTERIOLOGICAMENTE	
BUENA—MALA	
<u>ACCIONES EMPRENDIDAS</u>	

(firma)	

5. ANALISIS BACTERIOLOGICO

Desde hace mucho tiempo se reconoce la importancia de las enfermedades transmitidas por el agua. Las causas principales de las enfermedades entéricas del hombre son los microorganismos patógenos. La contaminación del agua potable por excrementos humanos o animales constituye el mecanismo más común para la transmisión de estos organismos a los humanos, no solo en forma directa, sino también indirectamente a través de la preparación de alimentos. Por lo tanto, el principal objetivo del examen bacteriológico del agua potable es la detección de contaminación fecal. Aunque es posible detectar la presencia de diferentes organismos patógenos en el agua, el aislamiento e identificación de muchos de ellos suelen ser extremadamente complicados y rara vez se logran resultados cuantitativos. Por lo tanto, se utiliza un método indirecto para evaluar los riesgos asociados al agua potable contaminada por organismos enteropatógenos, tomando como base el supuesto de que la estimación de los grupos de organismos entéricos normales (organismos indicadores) señalará el nivel de contaminación fecal del abastecimiento de agua. De esta manera, la estimación de tales organismos brinda una indicación indirecta del riesgo que pueda provenir de organismos enteropatógenos transmitidos por el agua.

5.1 Elección de los organismos indicadores

Los organismos coliformes son los indicadores con los que más comúnmente se mide la calidad del agua, aunque la experiencia ha demostrado que no son completamente satisfactorios para este propósito. Los organismos coliformes totales se definen como bacterias gram-negativas que fermentan la lactosa a una temperatura de 35 ó 37°C, con producción de ácido, gas y aldehído dentro de 24 a 48 horas. Son citocromo-oxidosa negativos y no esporulados.

Las bacterias coliformes fecales (coliformes termorresistentes) son un subgrupo de las bacterias coliformes totales y tienen las mismas propiedades, excepto que toleran y crecen a una mayor temperatura, 44-44.5°C, y producen indol a partir del triptófano; los organismos que poseen estas propiedades son considerados como presuntos *Escherichia coli*. La confirmación de la presencia de *Escherichia coli* puede lograrse mediante pruebas especiales, como las descritas en los volúmenes 1 y 2 de las Guías^a.

^a Guías para la calidad del agua potable, Vol. 1, Recomendaciones (1985), Vol. 2, Criterios relativos a la salud y otra información de base (1987), Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud.

El grupo de coliformes totales incluye varios géneros, todos los cuales pueden ser de origen fecal. En condiciones adecuadas, pueden multiplicarse en presencia de material orgánico. Algunas especies coliformes son asociadas frecuentemente a desechos vegetales o pueden ser habitantes comunes del suelo o de las aguas superficiales. Por lo tanto, el grupo coliforme no debe ser considerado en general como un indicador de organismos de origen exclusivamente fecal, especialmente en países con temperaturas muy altas, donde pueden abundar bacterias coliformes de origen no fecal. Por consiguiente, el uso del grupo coliforme (o coliformes totales) como indicador puede ser de muy poco valor para evaluar la contaminación fecal de las aguas superficiales, y especialmente del agua de pozos superficiales no protegidos, donde puede producirse fácilmente la contaminación por bacterias coliformes de origen no fecal. Sin embargo, el grupo coliforme puede ser valioso en el caso de agua de pozos profundos, aunque incluso esta agua puede contaminarse ocasionalmente con bacterias coliformes no fecales. La medición del grupo coliforme es particularmente relevante para sistemas de abastecimiento de agua con tratamiento y cloración; en este caso, la ausencia del grupo coliforme indicaría normalmente que el agua ha sido lo suficientemente tratada/desinfectada como para destruir los diferentes organismos patógenos.

La medición de los coliformes fecales en forma específica constituye un mejor indicador de la contaminación por materia de origen fecal. Si bien la especie predominante es la *Escherichia coli*, que es exclusivamente de origen fecal, cepas de las especies *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter* pueden también estar presentes en el agua contaminada por material fecal. Debe recordarse que las cepas de *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter* pueden estar relacionadas con el mantillo de materiales orgánicos y con maderas húmedas, especialmente en climas cálidos, como se informa que sucede en algunas partes de la India. Sin embargo, como el análisis bacteriológico de agua no sometida a cloración se realiza normalmente junto con una inspección sanitaria, existe generalmente poca dificultad en interpretar los resultados.

Idealmente, un sistema de abastecimiento de agua potable debe estar libre de bacterias coliformes fecales. Sin embargo, puede que este objetivo no siempre sea factible de alcanzar en los países en desarrollo, especialmente en las áreas rurales. Por lo tanto, puede ser necesario, durante un período intermedio, fijar una norma diferente como nivel de tolerancia. Cuando se fije un nivel de tolerancia interino de este tipo, debe tenerse en mente la calidad de las fuentes de agua alternativas. Además, es importante tomar en consideración si el tratamiento de una fuente sospechosa se puede llevar a cabo en forma confiable.

Los siguientes son ejemplos comunes de niveles de contaminación altamente indeseables encontrados aun en abastecimientos protegidos: el agua de un manantial protegido sin cloración puede contener (no infrecuentemente) 10 coliformes fecales por cada 100 ml de agua, y el agua superficial protegida puede dar un recuento de más de 1000 coliformes fecales por cada 100 ml. En algunos casos, puede ser adecuado complementar el recuento de coliformes fecales con mediciones de otros grupos de organismos, por ejemplo, los es-

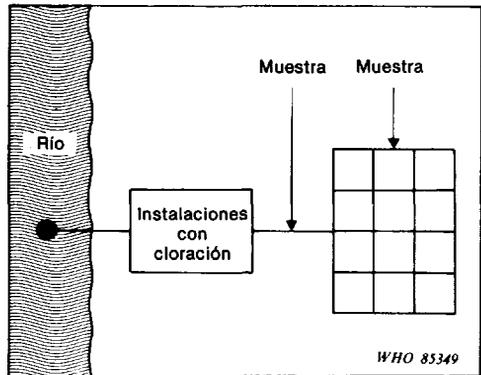
treptococos fecales. Sin embargo, estos últimos incluyen otras especies que pueden multiplicarse en el suelo y en el agua superficial, especialmente en combinación con desechos vegetales en descomposición. No obstante, los estreptococos de origen fecal tienen un período de supervivencia en aguas subterráneas mayor que el de los coliformes fecales. Estas consideraciones pueden ser relevantes en muchas áreas rurales.

Por razones de simplicidad, la metodología microbiológica para sistemas de abastecimiento en pequeñas comunidades que se describe aquí está limitada al grupo coliforme, ya que este grupo es mejor conocido y de medición relativamente fácil. Normalmente, cuando se detectan bacterias coliformes en el agua, se halla información adecuada para tomar las decisiones necesarias respecto a medidas correctivas, particularmente si se cuenta también con los resultados de una inspección sanitaria realizada paralelamente.

En el caso de agua sometida a tratamiento, con la desinfección como culminación del proceso, la determinación del número de coliformes totales puede ser adecuada para verificar su calidad; se incluye aquí el agua en el sistema de distribución. Sin embargo, la contaminación del agua en la red de distribución puede ser provocada por empalmes defectuosos entre tuberías, roturas de tuberías, conexiones cruzadas, sifonajes, depósitos defectuosos, etc. Los contaminantes introducidos por estas vías pueden reaccionar con el cloro del agua y pueden reducir rápidamente a cero el cloro residual. En estas circunstancias, es importante determinar si la contaminación es de origen fecal o no; si se sospecha una contaminación fecal, entonces deben medirse tanto los coliformes totales como los coliformes fecales en los abastecimientos de agua tratada y/o desinfectada y en los sistemas de distribución (véase Figura 8).

En el caso de abastecimientos de agua sin tratamiento ni cloración, a base de aguas superficiales o de aguas de pozos superficiales o profundos, la detección de solo coliformes fecales puede servir generalmente como una guía adecuada para determinar la presencia de organismos patógenos en el agua (véase la Figura 9).

Figura 8. Ejemplo de una situación en la que deben utilizarse como organismos indicadores los coliformes totales y fecales



5.2 Métodos de análisis

Se han desarrollado dos métodos para la detección de bacterias indicadoras en el agua: (a) el método de los tubos múltiples (TM); y (b) el método de la filtración con membrana (llamado también de membrana filtrante) (FM). Sus aplicaciones en el campo se describen en el Anexo 4 y descripciones detalladas se brindan en los Anexos 5 y 6, respectivamente. A continuación, se presenta un breve recuento de sus ventajas y limitaciones, junto con guías o consejos prácticos sobre la elección del método más adecuado en diferentes situaciones.

5.2.1 Método de los tubos múltiples

En el método de los tubos múltiples, se añaden diferentes cantidades de agua a tubos que contienen un medio de cultivo adecuado. Las bacterias presentes en el agua se reproducen y, a partir del número de tubos inoculados y del número de tubos con reacción positiva, puede determinarse estadísticamente el número más probable (NMP) de bacterias presentes en la muestra original de agua.

El método de tubos múltiples es aplicable a todo tipo de muestras de agua: se puede usar con agua limpia, coloreada, o con agua turbia que contenga aguas residuales o lodo de aguas residuales, así como barro o partículas de tierra, siempre que las bacterias estén distribuidas homogéneamente en las muestras preparadas para la prueba. Teóricamente, la técnica es lo suficientemente sensible como para medir niveles bajos de bacterias en muestras de agua, aunque en ese caso tendrán que usarse como tubos o vasos de cultivo recipientes más grandes capaces de albergar mayores volúmenes de muestra; sin embargo, en circunstancias normales, el mayor volumen usado es generalmente 10 ml.

5.2.2 Método de la membrana filtrante

En este método, se filtra un volumen determinado de agua a través de una membrana que retiene las bacterias en su superficie. Luego, se incuba la membrana en un medio selectivo adecuado, permitiendo que las bacterias se reproduzcan y formen colonias. Se establece una relación directa entre el número de colonias contadas (llamado recuento) y el contenido bacteriológico de la muestra de agua que se está analizando. El uso de este método no ha alcanzado tanta difusión como el del método de los tubos múltiples. No es adecuado para aguas turbias, pero de otro lado tiene varias ventajas. Las siguientes son sus ventajas y limitaciones específicas:

(a) *Ventajas*

- los resultados se obtienen más rápidamente; el número de coliformes puede calcularse en menos de 24 horas, mientras que el método de tubos múltiples requiere 48 horas, siendo irrelevante si se obtienen resultados negativos o presuntamente positivos;
- reduce el trabajo requerido y ahorra ciertos insumos y artículos de vidrio;
- brinda resultados directos;
- es fácil de usar en los laboratorios y hasta en el campo, mediante el empleo de equipos portátiles.

(b) *Limitaciones*

- la elevada turbiedad causada por la arcilla, algas, etc. impide la filtración de un volumen suficiente para el análisis, y también puede producir depósitos en la membrana que podrían interferir con el crecimiento de las bacterias;
- la presencia de un número relativamente alto de organismos no coliformes puede interferir con la determinación de los coliformes;
- en áreas rurales puede resultar difícil obtener membranas filtrantes adecuadas y, además, pueden ser relativamente caras;
- el agua puede contener sustancias tóxicas que pueden ser absorbidas por

Figura 9. Ejemplos de situaciones en las que debe utilizarse como organismo indicador los coliformes fecales

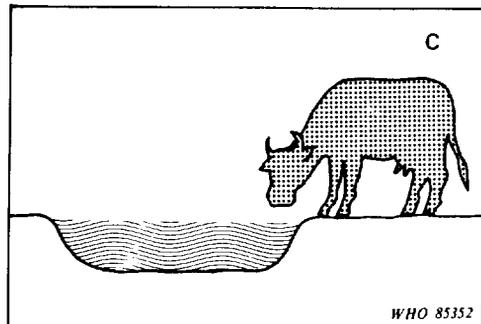
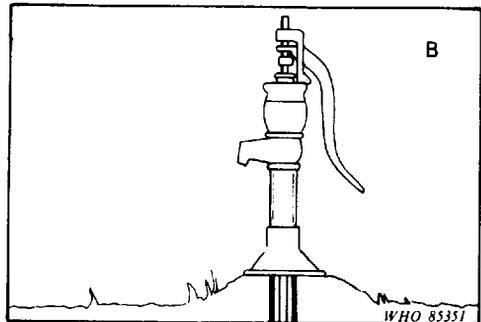
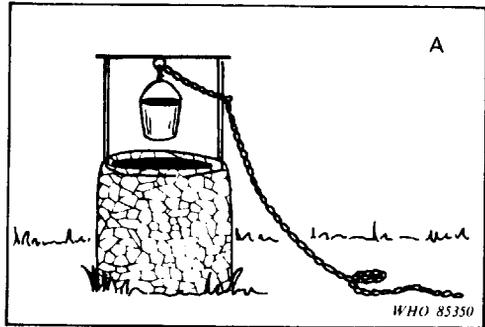
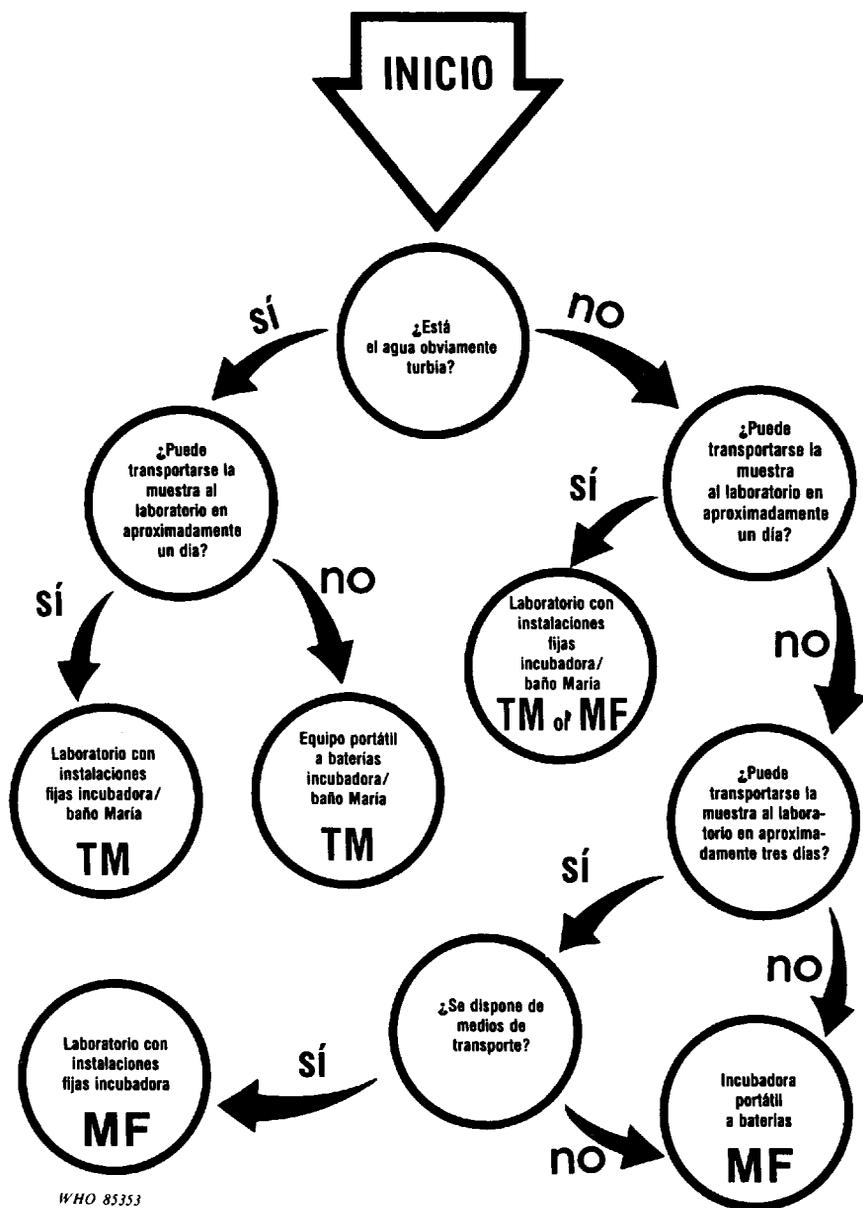


Figura 10. Red del proceso de decisión para seleccionar el método de análisis bacteriológico



las membranas y su retención afectar el crecimiento de las bacterias coliformes.

5.3 Selección del método

Normalmente, el análisis bacteriológico del agua debe realizarse en un laboratorio. En áreas remotas que no cuenten con facilidades de transporte, puede efectuarse un análisis simplificado a nivel local, utilizando un equipo portátil; tales pruebas de campo para análisis bacteriológicos se describen en el Anexo 4.

Para ayudar a la selección del procedimiento y los métodos que se van a usar, se muestra en la Figura 10 un esquema en forma de red del proceso de decisiones. El propósito de este diagrama es simplemente ofrecer sugerencias respecto al método a usarse; las circunstancias locales o de otro tipo pueden también afectar la decisión final.

6. DETERMINACION DEL CLORO EN EL AGUA

6.1 Comportamiento del cloro en el agua

La desinfección del agua en los sistemas de abastecimiento constituye la barrera más importante contra las bacterias y virus patógenos; el cloro, en una forma u otra, es el principal agente desinfectante utilizado en la mayoría de países.

La preeminencia del cloro como desinfectante se explica indudablemente por su fácil disponibilidad, su bajo costo y su confiabilidad, así como por la facilidad con que se le puede usar y medir en los abastecimientos de agua. Con respecto a su determinación mediante análisis, es importante entender la manera como se comportan el cloro, o las sustancias que liberan cloro, cuando se agregan al agua, dependiendo esto de las otras sustancias allí presentes.

(a) Cuando el agua contiene ciertas sustancias reductoras, como sales ferrosas o sulfuro de hidrógeno, estas reducirán parte del cloro agregado convirtiéndolo en iones de cloruro.

(b) Cuando el agua también contiene otras sustancias capaces de reaccionar con el cloro, tales como amoníaco y sus derivados, materia orgánica, bacterias, etc., el nivel de cloro libre disminuirá, pudiendo producirse algunos compuestos orgánicos clorados.

(c) Si la cantidad de cloro agregado es suficientemente grande para garantizar que no se reduzca o combine totalmente, una porción permanecerá libre en el agua; esta porción de cloro recibe el nombre de *cloro libre residual* o *cloro libre*.

Cuando el cloro reacciona químicamente como en (a) o en (b), pierde su poder oxidante y, en consecuencia, sus propiedades desinfectantes. Sin embargo, los compuestos formados por una combinación de cloro con derivados de amoníaco retendrán aún algo de sus propiedades desinfectantes. Al cloro presente de esta forma en el agua se le denomina *cloro combinado residual* o *cloro combinado*.

Cuando existe un exceso de otros tipos de compuestos reactivos respecto al cloro agregado originalmente, el nivel de cloro libre descenderá a cero.

Al cloro libre más el cloro combinado se les denomina *cloro total residual*. Desde el punto de vista de la desinfección, la forma que más interesa es el cloro libre, pues su poder bactericida es mayor que el del cloro combinado; en consecuencia, los análisis rutinarios siempre buscan determinar por lo menos el nivel de cloro libre.

6.2 Métodos

El cloro libre en soluciones acuosas es inestable, por lo que el contenido de cloro de las muestras de agua, particularmente en el caso de soluciones débiles, decrecerá rápidamente. La exposición a la luz del sol u otra luz fuerte, así como la agitación, acelerarán la reducción del contenido de cloro. Por lo tanto, los análisis de cloro de las muestras de agua deben ser realizados inmediatamente después de recolectadas. Las muestras no deben ser guardadas para realizar el análisis posteriormente. Aunque existen diferentes técnicas y reactivos adecuados para la determinación del cloro residual, solo se describen aquí tres métodos de campo, concretamente aquellos que utilizan N,N-dietilparafenilendiamina (DPD), ortotolidina (OT) y yoduro de almidón-potasio.

Con los dos primeros reactivos, se puede utilizar la fotocolorimetría o la espectrofotometría, ambas factibles de ser aplicadas convenientemente en el campo, utilizando comparadores visuales comerciales y/o métodos simples de comparación en tubos de prueba. En el análisis que utilice DPD, el reactivo puede ser un sólido o una solución. Ambos se expenden comercialmente; el sólido es más estable, pero la solución es más fácil de encontrar y por ello se le recomienda. La solución debe guardarse en frascos o botellas de color pardo y debe ser desechada cuando empiece obviamente a decolorar. Ambos reactivos (DPD y OT) pueden utilizarse con muestras de agua con un pH que oscile entre 6.5-8.5, sin necesidad de usar una solución amortiguadora especial.

En vista de sus propiedades carcinógenas, se ha abandonado el uso de OT en muchos países y por lo general se le da ahora preferencia al DPD. Si todavía se utiliza OT, debe tenerse especial cuidado en su manejo. En particular, es esencial asegurarse de que el OT nunca sea agregado utilizando una pipeta sostenida en la boca; igualmente, debe evitarse su inhalación o exposición a la piel.

Si se utiliza un comparador visual comercial estándar, la prueba puede ser desarrollada rápida y fácilmente por un personal con un mínimo de capacitación. Con el método de OT, la concentración estimada de cloro libre puede resultar algo elevada debido a la interferencia por parte del cloro combinado presente. Sin embargo, esta interferencia puede minimizarse llevando a cabo la prueba lo más rápidamente posible, ya que el cloro combinado reacciona más lentamente que el cloro libre. Si se sospecha la existencia de una alta concentración de cloro combinado, la muestra puede ser enfriada hasta aproximadamente 1°C (antes de añadir la OT), pues esto minimiza el error provocado por el cloro combinado presente.

La técnica de comparación en tubos de prueba original utiliza los tubos Nessler, pero también pueden utilizarse tubos de prueba comunes. La precisión de la determinación puede ser algo menor con tubos de prueba comunes, pero una vasta experiencia en diferentes países ha demostrado que, a pesar de ello, es aceptable. Además, el tamaño pequeño de los tubos de prueba hace fácil su transporte y su menor costo permite el incremento de las pruebas de campo.

Los métodos de comparación visual son adecuados solo para agua relativamente clara e incolora, pues un agua muy turbia o coloreada distorsionará el color obtenido en la prueba. Normalmente, el color obtenido se compara con discos o tubos normalizados; los operadores experimentados pueden obtener resultados precisos sin necesidad de confrontar los colores.

El método de campo que utiliza yoduro de potasio de almidón tiene la desventaja de que no mide específicamente el cloro libre residual sino el total de cloro libre más cloro combinado, por lo que, en consecuencia, puede dar una concentración falsamente alta. Debido a que el método puede dar un resultado positivo falso, puede también generar una seguridad injustificada cuando no existe cloro libre presente; por ello, el método normalmente no es recomendado y su inclusión aquí se debe simplemente a que es muy fácil de ejecutar y los reactivos son baratos y de fácil acceso.

En el Anexo 7 se dan detalles completos de todas estas pruebas.

7. MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS

El propósito de la vigilancia de los sistemas de abastecimiento de agua potable es controlar la calidad del agua y a través de ese control proteger a los consumidores. Si las deficiencias sanitarias identificadas mediante dicha vigilancia no son corregidas, el esfuerzo puesto en el programa habrá sido en vano y se habrá desperdiciado. Lo que es todavía peor, quizás, es que la situación puede tornarse peligrosa ya que la comunidad estará enterada de que se ha puesto en marcha un programa de vigilancia y ello puede dar paso a un falso sentido de seguridad, bajando sus defensas. No es poco común que después de una actividad de vigilancia no se ejecuten o completen las medidas correctivas necesarias. En esencia, lo que se debe hacer es identificar las razones de la baja calidad del agua, corregir o eliminar la causa y, de ser necesario, tomar medidas de emergencia.

Las medidas correctivas necesarias son una consecuencia directa de la evaluación de las pruebas bacteriológicas y de las inspecciones sanitarias. Esas medidas correctivas, ejecutadas por la empresa de agua potable o por la entidad de vigilancia, son esenciales cuando se han identificado los problemas. Ejemplos de tales medidas son: la selección de fuentes adecuadas y seguras, la vigilancia constante, el control de la desinfección a través de pruebas de cloro residual, programas de educación de la comunidad y de atención primaria de salud, análisis bacteriológicos después de haber aplicado las medidas correctivas; advertencias y avisos a la comunidad para que hierva el agua o que le añada desinfectante siempre que se produzca un problema serio y, por último, controles sanitarios para asegurarse de que las medidas correctivas hayan sido ejecutadas adecuadamente.

7.1 Medidas correctivas

Al decidir sobre la importancia de cualquier deficiencia descubierta es preciso que el inspector haga uso de un buen juicio. Si se descubren deficiencias serias, deberá evaluarse el costo de las diferentes medidas correctivas posibles. Una decisión respecto a la urgencia de aplicar una medida correctiva tiene inmensa importancia. Ella debe ser resultado de un juicio muy meditado y cuidadoso, teniendo en mente que en algunos casos puede sobrevenir una grave epidemia si las medidas correctivas no se aplican inmediatamente. En otros casos, puede no ser tan urgente ejecutar medidas correctivas completas, de tal modo que el equipo que se pudiera necesitar quizás podrá transportarse de manera económica en vez de hacerlo por servicio expreso. En el Cuadro 5 se indica la urgencia de la aplicación de diferentes medidas correctivas típicas.

Algunos ejemplos de medidas correctivas que deben ejecutarse inmediata-

Cuadro 5. Medidas correctivas y preventivas para la protección de abastecimientos de agua

Fuente y modo de abastecimiento	Evidencia o información disponible	Medidas correctivas inmediatas	Medidas preventivas para evitar la reparación
pozos excavados abiertos	generalmente se espera que se produzca contaminación	(a) limpiar el pozo si es necesario y aplicar dosis fuertes de cloro seguido de cloración permanente (b) se recomienda hervir el agua potable, usar desinfectantes y/o filtros en casa	convertir el pozo en un pozo protegido con tapa y bomba de mano u otro dispositivo para elevar el agua sin que entre en contacto con el usuario; desalentar la construcción de nuevos pozos excavados abiertos; promover la educación y la participación de la comunidad
sistemas no entubados de pozos cubiertos o pozos tubulares superficiales o profundos con bombas de mano o motorizadas	hallazgos y conclusiones de la inspección sanitaria insatisfactorios epidemia localizada de infección entérica	confirmar la calidad bacteriológica y, de ser necesario, recomendar el hervido o el uso de desinfectantes y/o filtros en casa (a) si no se dispone de un abastecimiento alternativo seguro, recomendar el hervido o el uso de desinfectantes en casa (b) confirmar la calidad bacteriana (c) conducir una inspección sanitaria detallada y corregir las deficiencias encontradas	eliminar las fuentes de contaminación y/o reparar el pozo, si es necesario, para corregir las deficiencias encontradas en la inspección sanitaria (a) aprovechar la oportunidad para impulsar la educación y la participación de la comunidad (b) brindar información sobre el episodio y los resultados de la inspección sanitaria a las empresas de abastecimiento de agua para ayudarlas a decidir si las tecnologías usadas y los códigos de práctica seguros son apropiados
sistemas de abastecimiento con tuberías pero sin tratamiento	hallazgos y conclusiones de la inspección sanitaria insatisfactorios insatisfactoria calidad bacteriológica ^a del agua en la fuente insatisfactoria calidad bacteriológica ^a del agua en el sistema de distribución	confirmar calidad bacteriológica y, de ser necesario, recomendar el hervido o el uso de desinfectante y/o filtros en casa (a) aplicar cloración al abastecimiento si es factible o recomendar el hervido o desinfección en casa (b) conducir una inspección sanitaria detallada y corregir las deficiencias encontradas (a) si la fuente es insatisfactoria, proceder como en el punto anterior (b) si la fuente es satisfactoria pero se sospecha del sistema de distribución, aplicar cloración al abastecimiento o recomendar el hervido o la desinfección en casa	eliminar las fuentes de contaminación y/o reparar el sistema, de ser necesario, para corregir las deficiencias encontradas en la inspección sanitaria proteger la fuente y su área colectora (esto es muy importante) es esencial una supervisión frecuente y mejorada del sistema de distribución, así como el mantenimiento y la pronta reparación, especialmente en el caso de sistemas con funcionamiento intermitente

		(c) conducir una inspección sanitaria detallada del sistema de distribución y corregir las deficiencias encontradas	
	epidemia localizada de infección entérica	(a) tomar muestras para la determinación de la calidad bacteriológica; sin esperar este resultado, clorar el sistema en general o recomendar el hervido o la desinfección en casa (b) conducir una inspección sanitaria detallada de la fuente y del sistema de distribución y corregir las deficiencias encontradas	es necesaria una supervisión frecuente y mejorada de la fuente y del sistema de distribución; es esencial la operación y el mantenimiento cuidadosos de estos sistemas, especialmente en el caso de sistemas intermitentes
sistemas de abastecimiento con tratamiento y tuberías	hallazgos y conclusiones insatisfactorias de la inspección sanitaria de la fuente, planta de tratamiento y/o sistema de distribución	confirmar la calidad bacteriológica y, de ser necesario, recomendar el hervido o el uso de desinfectante y/o filtros en la casa	(a) es necesaria una supervisión frecuente y mejorada del sistema en su conjunto; es esencial una operación y un mantenimiento cuidadosos en el caso de sistemas intermitentes (b) asegurarse de que se estén llevando a cabo las inspecciones sanitarias rutinarias (c) realimentar información a las empresas de abastecimiento de agua
	insatisfactoria calidad bacteriológica ^a del agua después del tratamiento o en el sistema de distribución	(a) garantizar la cloración adecuada del abastecimiento en general o recomendar el hervido o la desinfección en la casa (b) conducir una inspección sanitaria detallada del sistema en su conjunto y corregir las deficiencias encontradas	(a) es necesaria una supervisión frecuente y mejorada del sistema en su conjunto; es esencial una operación y un mantenimiento cuidadosos, especialmente en el caso de sistemas intermitentes (b) asegurarse de que las inspecciones rutinarias se estén llevando a cabo (c) realimentar información a las empresas de abastecimiento de agua
	epidemia localizada de infección entérica	(a) tomar muestras para la determinación de la calidad bacteriológica; sin esperar este resultado, clorar el sistema en general o recomendar el hervido o la desinfección en la casa (b) conducir una inspección sanitaria detallada de la fuente y del sistema de distribución y corregir las deficiencias encontradas	(a) es necesaria una supervisión frecuente y mejorada de la fuente y del sistema de distribución; es esencial una operación y un mantenimiento cuidadosos de tales sistemas, especialmente en el caso de sistemas intermitentes (b) asegurarse de que las inspecciones sanitarias rutinarias se estén llevando a cabo

Cuadro 5. (Cont.)

Fuente y modo de abastecimiento	Evidencia o información disponible	Medidas correctivas inmediatas	Medidas preventivas para evitar la reaparición
sistemas comunales de recolección de agua de lluvia sin tratamiento	epidemia localizada de infección entérica	clorar el agua en depósitos de recolección (tanque, recipiente, etc.) o recomendar el hervido o desinfección en la casa	<p>(c) realimentar información a las empresas de abastecimiento de agua</p> <p>(a) asegurarse de que las superficies de recolección estén en condiciones sanitarias y que se esté operando adecuadamente la tubería de desvío del agua inicialmente recolectada</p> <p>(b) promover la educación y participación de la comunidad</p>

* De acuerdo con las guías recomendadas, la calidad del agua se considera "insatisfactoria" si el resultado positivo obtenido en una muestra es confirmado en la repetición.

mente son: limpieza y desinfección de pozos excavados, eliminación de cualquier conexión cruzada, advertencia a la comunidad para que hierva el agua, desinfección por parte de la comunidad del agua potable recolectada, confirmación de que se han aplicado las medidas correctivas y que ellas son efectivas (esta confirmación se hará mediante análisis bacteriológicos y/o pruebas de cloro residual) e introducción de controles sanitarios adicionales.

7.2 Medidas preventivas

Es claro que algunas medidas correctivas son menos urgentes que otras, por lo que pueden ser introducidas a lo largo de un período de tiempo, dando lugar a lo que puede llamarse medidas preventivas. Los organismos de vigilancia deben encargarse de organizar el proceso de realimentación necesario, u otras formas de comunicación con los organismos responsables de mejorar la tecnología y garantizar que los códigos de práctica se cumplan en forma estricta.

En el Cuadro 5, se ha identificado una serie de situaciones de contaminación, para las que se presentan en lista las medidas correctivas y preventivas más típicas. También pueden ser necesarias algunas otras medidas, las cuales dependerán de la situación local. Las medidas recomendadas están divididas en medidas correctivas inmediatas y acción preventiva para evitar que reaparezca la contaminación.

7.3 Control de riesgos biológicos

Actualmente no se cuenta con métodos unificados para detectar protozoos y helmintos patógenos en los sistemas de abastecimiento de agua, que puedan ser aplicados como parte de un programa de vigilancia rutinaria para pequeñas comunidades. Por lo tanto, las medidas correctivas y preventivas constituyen el método a elegir para controlar tales riesgos biológicos. Para una mayor información, puede verse el Volumen 1 de las Guías^a.

7.3.1 Protozoos

Los abastecimientos de aguas subterráneas pueden protegerse siguiendo prácticas de ingeniería sanitaria en la construcción y mantenimiento de sistemas de este tipo. Cuando la contaminación fecal se hace probable o inevitable, se puede recurrir a la filtración a través de tierra de diatomeas (o "tierras diatomáceas"), a la filtración con arena acompañada de coagulación y sedimentación, o a la filtración lenta a través de arena; todos estos procedimientos son eficaces para eliminar un porcentaje elevado de protozoos patógenos.

^a *Guías para la calidad del agua potable, Vol. 1, Recomendaciones*, Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud, 1985.

La información disponible sobre las especies *Entamoeba histolytica* y *Giardia* indica que estos organismos son considerablemente más resistentes que las bacterias o los virus a la inactivación por cloración en los tiempos de contacto y niveles de cloro residual recomendados para estos últimos. Es probable, por lo tanto, que una cloración de este tipo no brinde una protección adecuada contra la transmisión de estos agentes por medio del agua. En particular, abastecimientos de agua con tratamiento mediante filtración a presión y desinfección por cloro han estado algunas veces implicados en brotes de giardiasis transmitida por agua. En consecuencia, debe tenerse especial cuidado con los procesos de control cuando exista la posibilidad de contaminación del agua natural por protozoos entéricos, particularmente si los "residuales" del desinfectante son bajos.

Cuando los brotes epidémicos sean resultado de la contaminación del agua potable por protozoos intestinales patógenos, hervir el agua puede brindar un control eficaz al inactivar a *Giardia*, *E. histolytica* y *Balantidium coli*. Es preciso tratar de identificar y eliminar las fuentes de contaminación. Deben efectuarse inspecciones sanitarias para identificar y corregir las deficiencias en el tratamiento y en el sistema de distribución.

7.3.2 Filaria

La filariasis (infección por filaria) es un problema que suele presentarse en sistemas pequeños en los que no se distribuye el agua por medio de tuberías (por ejemplo, pozos con escalera o estanques), donde la vigilancia regular es a menudo impracticable. Un solo copépodo infectado que contenga una larva puede infectar al hombre con el nematodo *Dracunculus*, aunque la población final de lombrices dependerá del número de larvas infecciosas ingeridas y de su sexo. Dado que una lombriz hembra adulta fertilizada puede provocar una severa enfermedad, no deben existir en el agua potable estadios o fases infecciosas. Esto es muy importante, ya que ella constituye la única ruta de transmisión del nematodo *Dracunculus* al hombre. En vista de la manera en que las larvas rhabditiformes llegan a los copépodos (al caer a los pozos arrastradas por el agua en contacto con los miembros de las personas que están extrayendo agua), es claro que la mejor estrategia preventiva es la protección de las fuentes. Rodear al pozo con taludes que se eleven con respecto al terreno y que permitan que el drenaje de las aguas se aleje de él es usualmente suficiente, aunque es siempre preferible cubrir el pozo con una tapa e instalar una bomba. En situaciones de emergencia, se pueden eliminar los copépodos agregando a los pozos gránulos del plaguicida temefós en las dosis necesarias para controlar las larvas de los insectos. En algunos casos, ha tenido éxito el uso de paños de algodón de doble grosor para filtrar el agua potable.

8. EDUCACION Y PARTICIPACION DE LA COMUNIDAD

La meta de los programas de abastecimiento de agua es garantizar que todos cuenten con un acceso conveniente a agua de buena calidad y en cantidades adecuadas durante todo el año. Si bien la mayoría de usuarios apreciarán con prontitud los aspectos de conveniencia, cantidad y disponibilidad durante todo el año, quizás el aspecto de calidad del agua no sea tan fácilmente identificado. Para muchas personas, la calidad del agua solo puede valorarse en términos de sus características estéticas, es decir, claridad, color, turbiedad, sabor y olor. Es posible que el agua cumpla tales requisitos estéticos y que, sin embargo, sea insegura en términos de su calidad bacteriológica y/o química. Por lo tanto, además de la instalación de las obras, equipos y elementos físicos, los programas de abastecimiento de agua deben contener un componente de información y educación del consumidor o usuario, el cual debe tener como objetivo crear conciencia de la calidad del agua y de su relación con la salud entre aquellos a quienes sirve el sistema de abastecimiento de agua. Tal conciencia debe llevar a un mejor comportamiento de los usuarios, la comunidad y de la empresa administradora misma en lo que se refiere a prevenir la contaminación de las fuentes de agua, a garantizar la limpieza de las tomas y pilones públicos y la conservación sanitaria del agua potable en el hogar, y posiblemente a evitar el vandalismo o el daño de partes vulnerables del sistema de abastecimiento de agua. El programa de información y educación debe lograr que la población tome conciencia no solo de su derecho al abastecimiento de agua seguro sino también de su responsabilidad de usar y mantener en forma correcta e inteligente su sistema de abastecimiento.

8.1 Participación de la comunidad

La vigilancia de la calidad del agua tiene el objetivo de proteger los abastecimientos de agua potable contra la contaminación de la manera más extensa y completa que sea posible. Cuando la contaminación ya se ha producido, una vigilancia efectiva da la voz de alerta oportunamente, lo cual permite desarrollar medidas destinadas a reducir o eliminar los riesgos para la salud humana. Cierta grado de vigilancia de la calidad del agua potable es clara responsabilidad del Ministerio de Salud. Pocos países, sin embargo, tienen los recursos necesarios para una amplia cobertura de vigilancia para todos los sistemas de abastecimiento de agua dentro de sus respectivas jurisdicciones. Las áreas rurales y las pequeñas comunidades presentan un particular problema. Su lejanía de los laboratorios y servicios del ministerio responsable, su

tamaño reducido y su gran número en la mayoría de países hacen difícil, si no imposible, que el personal del gobierno central lleve a cabo algo más que una vigilancia periódica.

La solución a estos problemas puede encontrarse en el concepto de atención primaria de salud, que consta de tres elementos que son igualmente aplicables a la vigilancia del agua potable. El primero de estos elementos es la educación sanitaria, es decir, la provisión de información diseñada y destinada a crear en la población el deseo de tener sistemas seguros de abastecimiento de agua. El segundo elemento es la provisión de cualquier tipo de asistencia técnica que sea necesaria para ayudar a la población a lograr su deseo de contar con agua seguro. El tercero es la utilización por parte de la gente de la comunidad de sus propias habilidades y recursos en medidas destinadas a mejorar su salud, en este caso, medidas que garanticen la seguridad del agua.

El punto de entrada para una educación sanitaria comunal es la compilación de un perfil de la comunidad, que describa la percepción local acerca de los problemas y necesidades de salud. Este trabajo normalmente será de responsabilidad del personal de atención primaria de salud. No se pretende que el perfil sea utilizado por los tecnócratas del gobierno para la formulación de soluciones a los problemas de la comunidad. Más bien, el perfil se utilizará como base para un diálogo con la comunidad, que dé como resultado que esta plantee y decida acciones a tomar para superar o reducir los problemas identificados, así como para satisfacer las necesidades percibidas. Puede ser que en un principio la calidad del agua y las enfermedades relacionadas con el agua no se perciban como problemas prioritarios. En este caso, el personal de salud no forzará el tema. Es mucho mejor brindar pautas y lograr que la comunidad llegue a reconocer el problema. En su debido momento, la comunidad tomará conciencia de la necesidad de garantizar que el abastecimiento de agua sea seguro.

La educación sanitaria sobre la calidad del agua debe tomar en cuenta que el uso de agua para higiene personal y doméstica también puede tener un impacto sobre la salud. Por lo tanto, las medidas educativas deben evitar el peligro de sobrevalorar la importancia de cualquiera de los aspectos de los abastecimientos de agua. Un sistema de abastecimiento seguro, conveniente y confiable, constituye una necesidad humana básica sin la cual es prácticamente imposible mantener una buena salud. Sin embargo, el abastecimiento no es suficiente de por sí para asegurar una buena salud; el abastecimiento de agua debe ser utilizado adecuadamente para la higiene personal, doméstica y comunal y debe estar acompañado por una nutrición adecuada e higiene de los alimentos, así como por una apropiada disposición de excretas. Por lo tanto, es importante que un programa de educación sanitaria evite crear la impresión de que la vigilancia de la calidad del agua evitará las enfermedades. Ella puede generar una mejora en la situación de la salud, pero no solucionar todos los problemas.

La mejora en el estado de la salud como resultado de un abastecimiento de agua seguro puede verse reflejada, primero, en una reducción de la incidencia de diarreas en los lactantes y niños pequeños. En un reciente experimento

controlado, los recipientes de agua caseros de algunas familias eran limpiados regularmente y llenados con agua clorada, mientras que un grupo de control recibía un placebo de agua destilada. La reducción en las diarreas infantiles en el grupo que recibía el agua clorada fue 75% mayor que en el grupo placebo. Existen muy pocos experimentos controlados de esta naturaleza. Los resultados ofrecen evidencia convincente de la importancia que tiene para la salud el agua desinfectada, preferiblemente con un "residual" de cloro que elimine cualquier organismo patógeno presente en el recipiente de agua o en la vajilla. Una consecuencia interesante de este experimento fue que el grupo placebo se dio cuenta de la mejora en las condiciones de salud del grupo que recibía agua clorada y llegó a la conclusión de que las aguas estaban siendo tratadas en forma diferente. Esto llevó a que exigieran un tratamiento similar y, finalmente, a que se les diera agua clorada a todas las familias.

Los resultados obtenidos en este experimento sugieren una estrategia que puede ser seguida por el personal de salud que se ocupa de la calidad del agua. Con suministros mínimos de solución de hipoclorito y con la cooperación de algunas familias de una comunidad, podría hacerse que el agua preservada en casas piloto resulte segura. Si no se cuenta con solución de hipoclorito, se puede obtener una mejora sustancial en la calidad bacteriológica del agua guardada en casa extremando el cuidado en la limpieza y la manipulación del recipiente de conservación y su contenido (es decir, el agua). La mejora en la salud de los niños de las familias piloto no pasará inadvertida por los vecinos. Ello generará una demanda de agua segura y la comunidad pronto demostrará su voluntad por preocuparse ella misma de la protección de la fuente y similares actividades de vigilancia. Sin embargo, es necesario tener paciencia, ya que los beneficios en la salud serán graduales; apenas se les podrá percibir de día a día, pero serán impresionantes cuando se les considere a lo largo de un período de seis meses o un año. Por esta razón, el personal de salud debe mantener registros que le permitan demostrar a las madres de la comunidad el descenso en la incidencia de enfermedades entre sus hijos.

Mientras tanto, el personal de salud debe observar las prácticas seguidas por la comunidad en su abastecimiento de agua. Debe anotarse las características del abastecimiento de agua, la probabilidad de que se contamine y la forma en que se le utiliza, y discutir las deficiencias con los dirigentes de la comunidad. Simultáneamente, debe tenerse siempre presente las bases de la atención primaria de salud (sensibilidad cultural, autoayuda de la comunidad y tecnología apropiada). Una vez que la población haya llegado a comprender la relación entre calidad de agua y enfermedades, la introducción de medidas de vigilancia y control se hará cada vez más factible. Medidas simples, como el rodear con una cerca un punto de recolección de agua (un pozo, un pilón público, etc.) para mantener fuera de él al ganado, o la protección de un manantial para excluir el drenaje superficial, pueden ser planificadas y ejecutadas por la misma población con la guía del personal de salud. Tareas más complejas, como la construcción de una caja para el manantial o la instalación de un depósito sanitario para la preservación del agua, pueden re-

querir de asistencia técnica y ayuda material por parte del nivel respectivo del sistema de atención a la salud, o por parte de la empresa de abastecimiento de agua. El concepto que siempre se debe tener en primer plano en un programa de vigilancia y mejora es que la responsabilidad principal recae en la comunidad; el gobierno solo podrá ayudar a la comunidad en el logro de sus objetivos.

8.2 Capacitación de voluntarios en comunidades rurales

A medida que se acrecienta la comprensión de la relación agua/enfermedades, y que la población reconoce la necesidad de la vigilancia para poder mantener la buena calidad del abastecimiento de agua, debe alentarse a la comunidad a que incremente sus actividades de vigilancia y mejore su sistema de abastecimiento. Existen varias opciones mediante las cuales se pueden realizar dichas actividades. Una, es la selección de voluntarios de la comunidad para que lleven a cabo las actividades de vigilancia. Otra, es que la comunidad otorgue un sueldo a un trabajador local para que lleve a cabo las tareas diarias que sean necesarias. En cualquiera de los dos casos, se necesitará un mínimo de capacitación a ser dado por el Ministerio de Salud o por la empresa de abastecimiento de agua, así como el establecimiento y mantenimiento de un sistema de información. A nivel local, se requerirá de algún nivel de administración a través de un comité de agua, un comité de salud o una estructura similar en la comunidad.

Las actividades que deberán ejecutar los voluntarios de la comunidad dependerán de la naturaleza del abastecimiento de agua. Las pautas generales suministradas durante el período de capacitación deben ser complementadas por la experiencia ganada al trabajar con el personal de atención primaria de salud, o con el inspector sanitario del distrito, en algunas actividades de vigilancia. Para la mayoría de abastecimientos de agua rurales, debe ponerse el énfasis principal en:

- inspeccionar los abastecimientos con el fin de detectar la contaminación real o potencial del agua como resultado de actividades humanas o animales cerca a la fuente de abastecimiento;
- idear y aplicar, posiblemente con la ayuda de la comunidad, métodos para proteger la fuente de agua contra la contaminación;
- aconsejar a los usuarios sobre procedimientos que evitarán o disminuirán las posibilidades de contaminación del abastecimiento y de los depósitos y recipientes utilizados para transportar y conservar el agua;
- tomar periódicamente muestras de agua y transportarlas al laboratorio más cercano para su análisis; otra alternativa es llevar a cabo las pruebas en el campo mismo, si se cuenta con equipo adecuado;
- informar de los hallazgos y conclusiones de las inspecciones al comité local y al Ministerio de Salud y/o a la empresa de abastecimiento de agua;
- si el agua del sistema es clorada, llevar a cabo periódicamente análisis de campo del cloro residual;

- informar a la comunidad de los resultados de los análisis e inspecciones y explicar las implicaciones de estos resultados con respecto a la salud, con el objetivo de estimular la participación en acciones destinadas a mantener limpia y segura el agua.

8.3 Educación sanitaria de la comunidad

Los educadores sanitarios cuentan con una variedad de técnicas de comunicación que pueden usar para transmitir información a la población. En un extremo de la escala está el método de “uno a uno”, en el cual un educador brinda información a un individuo; en el otro extremo, está el uso de los medios masivos de comunicación, como la televisión, la radio y la prensa escrita. Entre dichos extremos, existen muchas técnicas intermedias, como discusión en grupo apoyada por ayudas visuales, educación para la salud en los colegios, producción de carteles, rotafolios, películas, exposiciones de diapositivas, cassettes, obras de teatro y conciertos musicales. Ningún método puede considerarse el mejor para llevar a cabo un programa de educación sanitaria. En muchos programas se utilizan simultáneamente varios métodos diferentes y, sobre la base de una evaluación permanente, se puede poner el mayor énfasis en los métodos que parezcan ser los mejores.

El perfil de la comunidad, al que se hizo referencia anteriormente, es el punto de arranque para el diseño detallado de la aplicación de un programa de educación sanitaria a nivel de la comunidad, el cual será en gran medida responsabilidad del personal de salud de la comunidad dentro del marco de la atención primaria de salud. Otras formas de educación se suministrarán por el nivel central, como por ejemplo la educación sanitaria que requiera la utilización de medios masivos, el uso de equipo de impresión o la producción de películas. Por lo tanto, la coordinación de un programa global de educación sanitaria debe ser asumida por la unidad de educación sanitaria, para garantizar que la información suministrada sea coherente y esté relacionada con los problemas de salud identificados.

La educación sanitaria en los colegios es particularmente importante y con frecuencia requiere que se brinde a los profesores cursos de actualización y que se les apoye con material pedagógico y ayudas visuales adecuados. Los estudiantes se encuentran en un ambiente de aprendizaje y son generalmente receptivos a la educación. Por lo tanto, la educación sanitaria en los colegios brinda un refuerzo efectivo y continuo de la información entregada en forma más intermitente por otros medios.

La unidad central de educación sanitaria del Ministerio de Salud contará por lo general con el equipo necesario para preparar materiales de ayuda visual a ser utilizados por el personal de salud. Los materiales que resultan útiles para el personal de salud de las comunidades incluyen rotafolios, flanelógrafos, carteles y folletos. La unidad de educación sanitaria debe asegurarse de que el personal de salud de la comunidad entienda la información a ser transmitida y también la forma cómo utilizar el material de ayuda visual que se les está proporcionando. La orientación, tanto de la información como

de las ayudas visuales, debe ser coherente con la estrategia de atención primaria de salud, la cual depende de la comunidad para poder emprender acciones destinadas a mejorar la salud de la comunidad. Esta estrategia es especialmente aplicable para la vigilancia de la calidad del agua y el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua, pues estas tareas generalmente no requieren de altos niveles de capacitación técnica. Por consiguiente, el objetivo debe ser propiciar entre la población de la comunidad un deseo por participar en las actividades de vigilancia y control, que ellos reconocerán como un medio para mejorar su salud.

ANEXO 1

COLABORADORES Y REVISORES

Colaboradores

- Dr. R. C. Ballance, Ingeniero Sanitario, Tecnología y Apoyo para la Salud Ambiental, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Dr. B. T. Commins, Consultor, Maidenhead, Inglaterra
- Dr. R. Helmer, Riesgos Ambientales y Protección de los Alimentos, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Dr. N. U. Rao, Microbiólogo, Proyecto Inter-Países ICP/ESD/001 de la OMS, Suva, Fiji
- Sr. F. Solsona, Jefe, Servicio de Protección Ambiental, Zona Noroeste, Esquel, Chubut, Argentina
- Sr. T. A. Stenström, Laboratorio Bacteriológico Nacional, Estocolmo, Suecia
- Dr. B. B. Sundaresan, Director, Instituto Nacional de Investigación sobre Ingeniería Ambiental, Nagpur, India

Revisores

- Dr. S. J. Arceivala, Asesor Regional, Salud Ambiental, Oficina Regional de la OMS para el Sudeste Asiático, Nueva Delhi, India
- Dr. C. R. Bartone, Coordinador de Unidad, Desarrollo de Tecnología, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima, Perú
- Sr. M. Bevacqua, Jefe de Programa, Agua y Saneamiento Ambiental, UNICEF, Nueva Delhi, India
- Sr. S. Bishara, Tecnología y Apoyo para la Salud Ambiental, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Sr. J. Z. Boutros, Analista Gubernamental Adjunto, Jartum, Sudán
- Profesor D. J. Bradley, Director, Instituto Ross de Higiene Tropical, Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres, Londres, Inglaterra
- Sr. F. Buono, Funcionario Regional, Oficina Regional de la OMS para el Africa, Brazzaville, Congo
- Sr. G. Dávila, Coordinador, Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Washington, DC., EUA.
- Dr. R. Feachem, Instituto Ross de Higiene Tropical, Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres, Londres, Inglaterra
- Dr. J. Forslund, Organismo Nacional de Protección Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente, Copenhague, Dinamarca
- Sr. S. Gaglianone, Superintendente de Tecnología, Corporación Estatal para Tecnología de Salud Ambiental (CETESB), São Paulo, Brasil
- Dr. H. Galal Gorchev, Riesgos Ambientales y Protección de Alimentos, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Sr. E. E. Geldreich, Jefe, Area de Tratamiento Microbiológico, Laboratorio Municipal de Investigación Ambiental, Agencia de Protección Ambiental, Cincinnati, Ohio, EUA.
- Dr. L. Houang, Jefe, Tecnología para Laboratorios de Salud, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Dr. W. Jakubowski, Jefe, Area de Parasitología e Inmunología, División de Toxicología y Microbiología, Agencia de Protección Ambiental, Cincinnati, Ohio, EUA.
- Sra. B. de Jong, Laboratorio Bacteriológico Nacional, Estocolmo, Suecia

- Profesor Y. Kott, Ingeniería de Recursos Hídricos y del Ambiente, Instituto Israelí de Tecnología, Haifa, Israel
- Sr. Lert Chainarong, Gobernador Adjunto, Autoridad Provincial de Acueductos, Bangkok, Tailandia
- Sr. W. Lewis, Consultor, Promoción de Salud Ambiental, Oficina Regional de la OMS para Europa, Copenhague, Dinamarca
- Dr. B. J. Lloyd, Departamento de Microbiología, Universidad de Surrey, Guildford, Inglaterra
- Profesor E. Lund, Departamento de Virología e Inmunología Veterinaria, Universidad Real de Veterinaria y Agricultura de Copenhague, Copenhague, Dinamarca
- Dr. M. T. Martins, Administrador, Laboratorios Microbiológicos, Corporación Estatal para Tecnología de Salud Ambiental (CETESB), São Paulo, Brasil
- Sr. B. Meadows, Consultor, Tecnología y Apoyo para la Salud Ambiental, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Sra. N. Meith, Consultora, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, Suiza
- Sr. R. E. Novick, Funcionario de Programa, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Sr. G. Ozolins, Administrador, Riesgos Ambientales y Protección de Alimentos, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Dr. R. F. Packham, Director Adjunto, Calidad del Agua y Salud, Centro de Investigación sobre el Agua, Medmenham, Inglaterra
- Sr. R. Paramasivam, Jefe, División de Ingeniería Hidráulica, Instituto Nacional de Investigación sobre Ingeniería Ambiental, Nagpur, India
- Sr. Praphorn Charuchandr, Director, División de Salud Ambiental, Ministerio de Salud Pública, Bangkok, Tailandia
- Sr. Pricha Chulavachana, Funcionario de Programa, Oficina Regional del Este de Asia y Pakistán, UNICEF, Bangkok, Tailandia
- Sr. F. Reiff, Protección de la Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Washington, DC, EUA.
- Dr. J. W. Ridgway, Calidad del Agua y Salud, Centro de Investigación sobre el Agua, Medmenham, Inglaterra
- Dr. M. I. Sheikh, Jefe, Programa de Salud Ambiental, Oficina Regional de la OMS para el Mediterráneo Oriental, Alejandría, Egipto
- Sr. P. Stevens, ex-Administrador, Tecnología y Apoyo para la Salud Ambiental, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Profesor R. Thomas, Director, Unidad de Biotecnología, Universidad de Surrey, Guildford, Inglaterra
- Sr. T. K. Tjiook, Funcionario de Programa, Centro Internacional de Referencia para el Abastecimiento Público de Agua y el Saneamiento, Rijswijk, La Haya, Países Bajos
- Sr. S. Unakul, Administrador, Tecnología y Apoyo para la Salud Ambiental, División de Salud Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Dr. D. A. Vásquez-R. Olazábal, Tecnología para Laboratorios de Salud, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- Sr. G. Watters, Funcionario Regional, Promoción de Salud Ambiental, Oficina Regional de la OMS para Europa, Copenhague, Dinamarca
- Dr. V. M. Witt, Jefe, Protección de la Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Washington DC, EUA.
- Dr. K. M. Yao, Funcionario encargado, Centro Regional del Pacífico Occidental para la Promoción de la Planificación Ambiental y Estudios Aplicados (PEPAS), Kuala Lumpur, Malasia

ANEXO 2

INSPECCIONES SANITARIAS

Como se mencionó en el Capítulo 3, las inspecciones sanitarias están entre los elementos esenciales de un programa efectivo de vigilancia y control de la calidad del agua potable. Al llevar a cabo estas tareas, el inspector sanitario tiene que preparar un formulario, que se adecúe específicamente al sistema de abastecimiento de la pequeña comunidad que se va a visitar y que esté basado en un formulario general, en el cual se consideran todos los procedimientos posibles que se requieren para evaluar sistemas de abastecimiento de agua mediante métodos simples y rápidos. A continuación, se describen en forma más detallada los diferentes procedimientos y se adjuntan las listas de control respectivas.

1. Fuentes de agua

1.1 Aguas subterráneas

Generalmente, las aguas subterráneas constituyen la fuente más adecuada para el abastecimiento de agua de una pequeña comunidad. Sin embargo, es esencial proteger estas fuentes contra la infiltración de cualquier tipo de sustancias contaminantes. En consecuencia, la fuente de agua subterránea debe estar lo más alejada posible de cualquier fuente de contaminación, como letrinas, tanques sépticos, descargas de aguas residuales, drenajes de origen agrícola, etc.

Es importante tener un conocimiento de la geología local al juzgar el impacto potencial de las fuentes de contaminación que se encuentren en la vecindad del pozo u otro punto de extracción. En particular, debe conocerse la dirección del flujo de las aguas subterráneas para asegurarse de que ninguna fuente de contaminación esté situada directamente aguas arriba del punto de extracción. En áreas de piedras calizas y rocas fisuradas, debe hacerse esfuerzos especiales para asegurar que exista la máxima distancia posible entre las fuentes de contaminación y las obras de captación de aguas residuales. El buen juicio y la experiencia son factores muy importantes, pues no siempre se cuenta con la información geológica necesaria.

Lista de control para aguas subterráneas

¿Se encuentra la vecindad inmediata al punto de extracción (pozo) libre de cualquier fuente de contaminación potencial?

(Nota: en la sección 2.1 se dan preguntas adicionales)

1.2 Aguas superficiales

Debido a la accesibilidad de las aguas superficiales y a la facilidad con la que pueden contaminarse, es preferible que el agua proveniente de fuentes de este tipo sea desinfectada antes de ser distribuida a los consumidores. La ubicación de las obras de captación es de crucial importancia. Debe estar aguas arriba, y tan lejos como sea posible, de los puntos de descarga de aguas negras, desechos industriales, drenajes de origen agrícola, etc.

Las tuberías de toma de agua superficial deben estar bien aseguradas y ubicadas a bastante distancia de la orilla del río o del lago. La boca del tubo de toma debe estar a no menos de 30 cm por debajo de la superficie del agua para evitar el ingreso de cualquier materia flotante. Pero, por otro lado, los puntos de toma deben también estar lo suficientemente por encima del fondo para evitar que ingrese lodo. La bomba de admisión debe ser lo suficientemente potente para resistir la corriente del río en todo momento, aun en las peores condiciones. Si se utilizan motores eléctricos para las bombas, estos deben estar completamente protegidos contra la humedad, etc.

Lista de control para aguas superficiales

¿Está la captación correctamente ubicada respecto a las descargas contaminantes?

¿Está la bocatoma correctamente situada respecto a su profundidad y a la distancia del fondo?

¿Está la tubería de captación firme y en posición estable?

¿Está funcionando adecuadamente el sistema de captación?

(Nota: en la sección 2.2 se ofrecen preguntas adicionales)

1.3 Aguas de lluvia

La captación de aguas de lluvia se logra mediante una superficie inclinada que desemboca en un tanque o depósito de reserva. Todas las partes del sistema deben estar limpias y libres de maleza, particularmente si se encuentra a nivel del suelo. El sistema debe tener algún mecanismo que permita desviar el agua que se está recolectando, de tal manera que, después de un período seco, la precipitación inicial sea drenada y desechada. Esta "primera lluvia" lavará y ayudará a limpiar las superficies de recolección. Solo después de esto, debe permitirse que se recolecte agua para ser usada como agua potable.

Lista de control para aguas de lluvia

¿Está la superficie de recolección de agua de lluvia libre de malezas y suciedad?

¿Existe un sistema de drenaje para desviar y desechar la primera parte de la precipitación?

(Nota: en la sección 2.3 se ofrecen preguntas adicionales)

2. Recolección y tratamiento del agua

Según el tipo de fuente de agua utilizada y su potencial para contaminarse, se necesitarán diferentes estructuras técnicas e instalaciones de tratamiento. Durante la inspección sanitaria, deberá verificarse no solo la operación y el mantenimiento de las obras e instalaciones, sino también su construcción. A continuación, se ofrecen los puntos principales más característicos que se deben inspeccionar en los tipos más comunes de sistemas de abastecimiento de agua.

2.1 Extracción y tratamiento de aguas subterráneas

Dependiendo de la calidad natural de las aguas subterráneas y de su probabilidad de contaminación, el agua puede requerir tratamiento y/o desinfección. En particular, los pozos superficiales abiertos están fácilmente expuestos a la contaminación por parte de humanos, animales, etc., por lo que una inspección sanitaria daría inevitablemente como resultado la identificación de graves riesgos para la salud. A continuación, se describen otros sistemas para la extracción de aguas subterráneas que permiten una mejor protección de la fuente.

2.1.1 Pozos excavados

Los pozos excavados constituyen una de las formas de pozo más comunes y son utilizados en todo el mundo para la extracción de aguas subterráneas, proveyendo a pequeñas comunidades y a familias individuales con agua potable. El pozo excavado suministra agua de un acuífero relativamente poco profundo, cercano a la superficie del suelo, y, por lo tanto, puede contaminarse con bastante facilidad, más comúnmente por las sustancias lixiviadas provenientes de instalaciones de evacuación de excretas y de excrementos de animales.

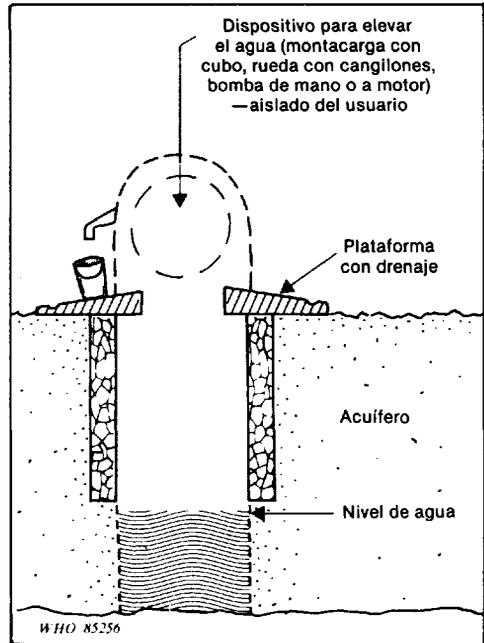
Existen muchas maneras de extraer agua de un pozo, pero algunos métodos son tan deficientes que es casi seguro que el agua se contaminará. Solo cuando no exista contacto entre la persona que extrae agua y el agua del pozo puede considerarse que el sistema tiene algún nivel de protección sanitaria. En la Figura 1 se brinda el ejemplo de un pozo adecuadamente protegido.

Figura 1. Pozo excavado protegido

Lista de control para pozos excavados

¿Es el sistema de elevación del agua (cubos, cuerdas, etc.) inaccesible para los usuarios, animales, aves, insectos, etc. y es imposible que el agua extraída de pozo vuelva a drenar hacia él?

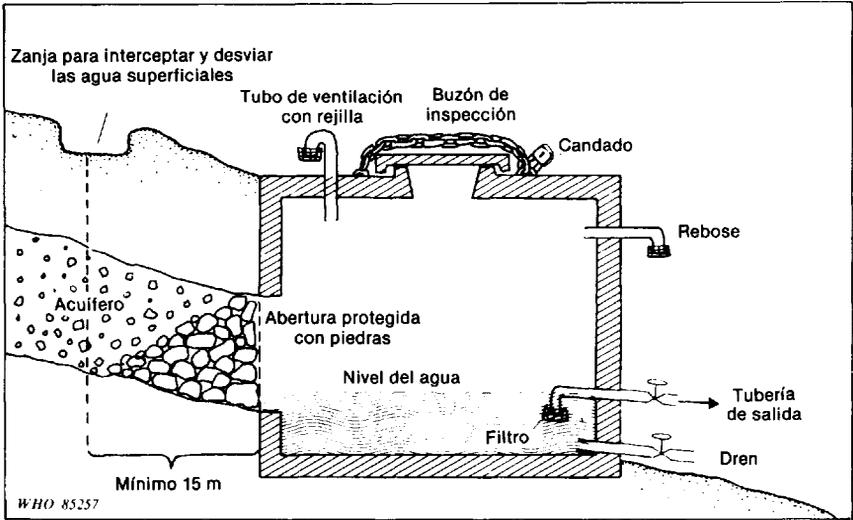
¿Existe una plataforma impermeable que impida el ingreso de cualquier agua superficial al pozo? (Esto es particularmente importante si pudieran producirse inundaciones en la localidad).



2.1.2 *Manantiales*

Aunque el agua de manantial normalmente proviene de un acuífero protegido, es posible que se produzca contaminación en el punto de recolección. Para evitar el ingreso de aguas de lluvia en el manantial, debe contruirse un canal o zanja pendiente arriba del mismo, aproximadamente a unos 15 m del punto de captación. Dado que es necesario realizar una limpieza periódica, debe contarse con una boca o buzón de inspección, así como con un drenaje en el fondo de la cámara de recolección. Debe impedirse el acceso directo de personas o animales al manantial mediante una estructura protectora. En la Figura 2 se muestra el ejemplo de un manantial adecuadamente protegido.

Figura 2. Manantial protegido



Lista de control para manantiales

- ¿Existe una zanja para desviar las aguas superficiales?
- ¿La cámara de recolección tiene un buzón de inspección?
- ¿Existe un tubo de drenaje?
- ¿Están todas las aberturas protegidas contra el ingreso de animales y contra el acceso directo de las personas?

2.1.3 Pozos perforados

Al perforar un pozo, es posible llegar a acuíferos profundos que estén alejados de la superficie del suelo y, por lo tanto, menos expuestos a ser afectados por la contaminación. En este caso, normalmente las aguas subterráneas deben estar libres de contaminación microbiana y pueden usarse directamente como agua potable. Cuando se instala un pozo de este tipo y su bomba respectiva, deben tomarse ciertas precauciones estructurales: el "forro" o "tubo" de revestimiento del pozo alrededor de la bomba debe extenderse aproximadamente 30 cm por encima del suelo y unos 3 m por debajo de la superficie.

Puede ser aconsejable la desinfección preventiva (cloración) del agua antes de que ingrese en el sistema de distribución si existe la probabilidad de contaminación secundaria, intermitencia en el abastecimiento, etc. En la sección 3 de este Anexo se brinda información sobre la cloración. La Figura 3 muestra la sección transversal de un pozo perforado protegido.

Figura 3. Pozo perforado protegido

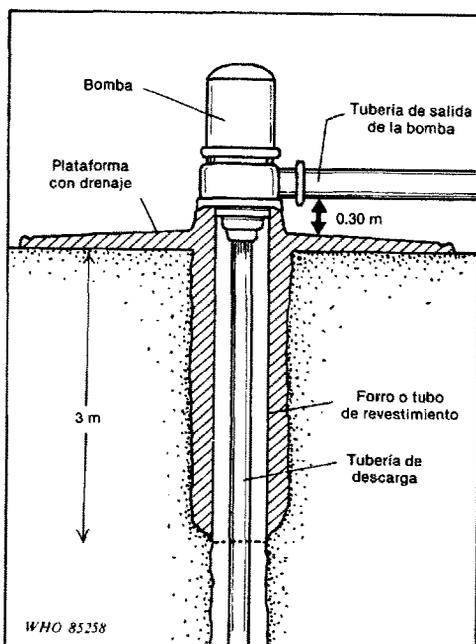
Lista de control para pozos perforados

¿Existe una plataforma impermeable y "mortero" adecuado alrededor del revestimiento de la bomba para evitar el ingreso de aguas superficiales?

¿El de revestimiento del pozo se extiende 30 cm por encima de la plataforma y no presenta fisuras?

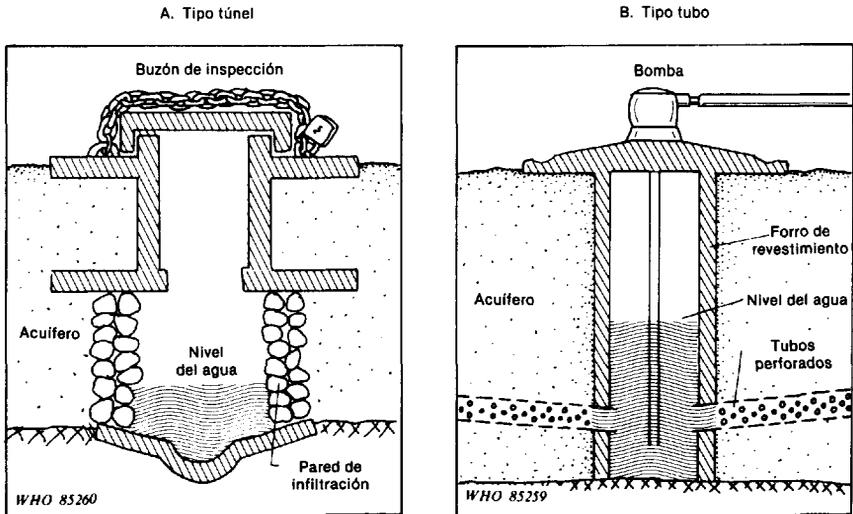
¿Existe un tubo de revestimiento hasta por lo menos 3 m por debajo del suelo y no presenta fisuras?

¿El área circundante al pozo drena de modo tal que el drenaje se aleje del pozo?

*2.1.4 Galerías de infiltración*

Las galerías de infiltración son conductos horizontales construidos adyacentemente a una corriente de agua, río, etc. La forma y el tamaño de estas galerías varían, yendo desde simples tubos perforados hasta túneles con secciones transversales irregulares. Las galerías se tienden a diferentes profundidades, por lo que rara vez es posible la observación directa, a menos que sean muy grandes y tengan buzones de inspección. Toda parte visible del sistema debe ser inspeccionada. Donde esto sea posible, la inspección debe realizarse tomando como referencia los diseños originales del sistema. En las Figuras 4 A y 4 B se muestran ejemplos de galerías de infiltración del tipo túnel y tubo, respectivamente.

Figura 4. Galerías de infiltración protegidas



Lista de control para galerías de infiltración

¿Tiene la galería un buzón de inspección?

¿Está el buzón de inspección protegido por una tapa y un candado?

¿Existe una plataforma impermeable para impedir el ingreso de aguas superficiales?

¿Se extiende el revestimiento 30 cm por encima de la plataforma y no presenta fisuras?

¿Se extiende el revestimiento por lo menos 3 m por debajo del suelo y no presenta fisuras?

¿El área circundante al cabezal de la bomba drena de modo tal que el drenaje se aleje en forma efectiva?

2.2 Captación y tratamiento de aguas superficiales

Dado que las aguas superficiales generalmente están expuestas a contaminarse con relativa facilidad, son frecuentemente tratadas y desinfectadas antes de su distribución a los consumidores. Los sistemas más comúnmente usados son dos:

- filtración lenta a través de arena;
- coagulación seguida por filtración rápida en arena.

A continuación se describen las características esenciales de ambos sistemas, las que deben ser verificadas durante la inspección sanitaria.

2.2.1 Filtración lenta en arena

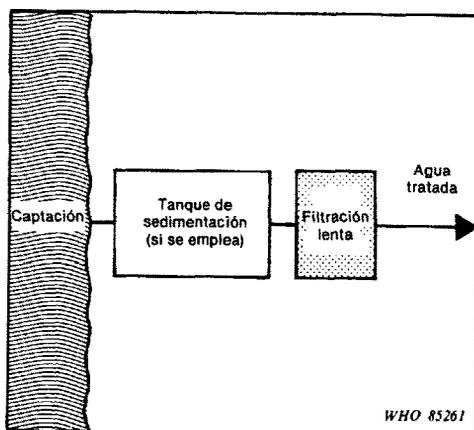
La filtración lenta en arena es un método conveniente, de bajo costo, para tratar agua superficial que no esté altamente contaminada. Durante el tratamiento, se retienen partículas coloidales y las sustancias orgánicas son biodegradadas. Una limitación operativa de los filtros lentos de arena es que la turbiedad del agua natural no debe exceder 15 UNT (unidades nefelométricas de turbidez). Cuando se trata de aguas de mayor turbiedad, deberá aplicarse una sedimentación simple antes de pasar a la filtración lenta (Figura 5).

La inspección sanitaria debe incluir una revisión crítica de los registros sobre las carreras de los filtros, pérdidas de carga, tiempo para el reacondicionamiento de los filtros, etc. Esta información debe obtenerse del operador de la planta.

La característica más importante que se debe registrar rutinariamente es la turbiedad. Como el agua no pasará por ningún otro tratamiento aparte de la desinfección (si esta es necesaria), el efluente del filtro debe cumplir con el valor guía para la turbiedad, que es 5 UJT (unidades Jackson de turbidez).

El inspector sanitario debe usar el equipo disponible en la planta para verificar la turbiedad. Como método alternativo, se puede tomar muestras y enviarlas para su examen en un laboratorio de control. Se debe anotar la demora resultante, pues la turbiedad puede modificarse con el tiempo.

Figura 5. Esquema de una planta de filtración lenta



Lista de control para filtración lenta en arena

¿Es la turbiedad del agua que ingresa al filtro lento de arena menor de 15 UNT?

¿Es la turbiedad del agua extraída del filtro lento de arena menor de 5 UNT?

2.2.2 Coagulación y filtración rápida en arena

Las plantas de tratamiento del tipo de coagulación y filtración rápida en arena son normalmente las más complicadas entre las disponibles para abas-

tecimientos de agua en pequeñas comunidades. En ellas se puede tratar agua superficial con un alto grado de turbiedad. La turbiedad es controlada mediante los procesos de adición de coagulantes, floculación, sedimentación y filtración a través de un lecho de arena. En la Figura 6 se muestra el esquema de una planta típica.

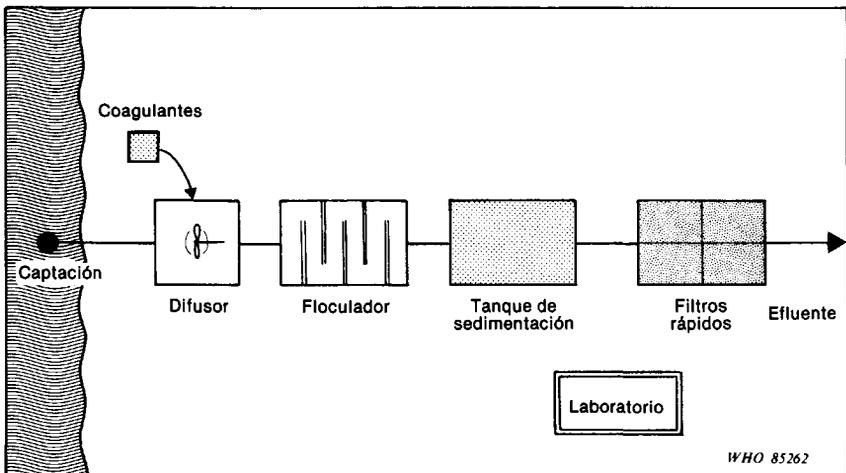
Los coagulantes se agregan utilizando un alimentador y mezclador (difusor) que debe ser controlado para garantizar un funcionamiento correcto y eficiente. En el floculador, se producen grandes grumos o flóculos, los que se sedimentan en el tanque de sedimentación que viene a continuación. Si este proceso de sedimentación es incompleto, se producirán problemas de sobrecarga en la filtración subsecuente. Como regla general, una turbiedad no mayor de 10 UNT garantiza una filtración adecuada.

La revisión total de los filtros rápidos para asegurarse de que estén funcionando apropiadamente es algo complicada y exige un buen conocimiento técnico o una amplia capacitación en el uso de dicho equipo. Sin embargo, un control rápido y eficiente consiste en medir la turbiedad del agua corriente agua abajo del filtro; es esencial que la misma cumpla con el valor guía de 5 UNT.

La complejidad de las etapas del tratamiento exige que se cuente con un laboratorio de control del proceso donde puedan efectuarse algunas pruebas básicas. Debe contarse con los equipos, instalaciones y facilidades necesarios para la prueba normalizada de jarras, así como para ciertas determinaciones físicas y químicas, como la turbiedad y el pH.

El inspector sanitario debe usar el equipo de laboratorio *in situ* para verificar el control de la turbiedad en la planta. Si no se cuenta con equipos para medir la turbiedad, deberá tomarse una muestra para su examen en un laboratorio de control. También debe tomarse muestras para análisis bacteriológicos en un laboratorio de control.

Figura 6. Esquema de una planta de coagulación y filtración rápida en arena



*Lista de control para coagulación y filtración rápida**(a) Coagulation/sedimentación*

¿Está funcionando adecuadamente el difusor de coagulantes? ¿Se está controlando correctamente la dosis de coagulantes?

¿Durará el suministro de coagulantes hasta que llegue la siguiente remesa?

¿Está funcionando adecuadamente el floculador?

¿Es la turbiedad del agua que sale del tanque de sedimentación menor de 10 UNT?

(b) Filtración rápida en arena

¿Es la turbiedad del agua que sale del filtro menor de 5 UNT?

¿Se está registrando la frecuencia y la duración del lavado a contracorriente de los filtros?

(c) Laboratorio de control del proceso

¿Existen en la planta instalaciones adecuadas para llevar a cabo la prueba de jarras?

¿Se cuenta en la planta con los instrumentos para medir la turbiedad?

¿Se cuenta en la planta con medios para medir el pH?

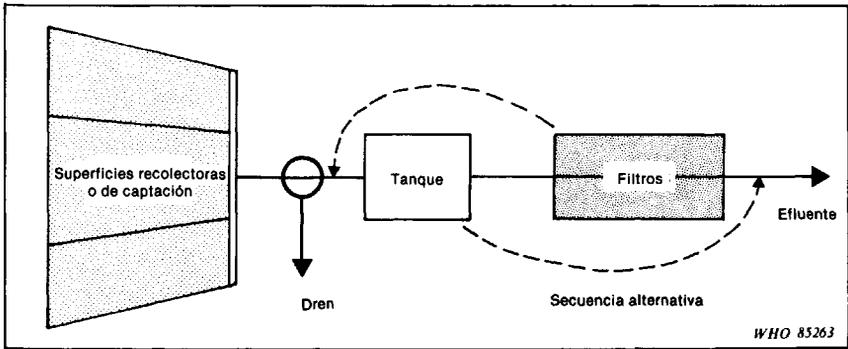
¿Se está llevando registros de los análisis y pruebas?

2.3 Recolección y tratamiento de agua de lluvia

No siempre se requiere tratar el agua de lluvia y, cuando es necesario hacerlo, el tratamiento puede ser simple, ya que esta agua es normalmente bastante pura. Sin embargo, a medida que fluye por las superficies de recolección, puede contaminarse con suciedad, desechos vegetales, excrementos de aves, etc. Aun cuando la escorrentía de las primeras aguas, que arrastra tierra, haya sido drenada y desaguada, el agua recolectada puede contener todavía algunos sólidos finos.

La filtración lenta en arena o la simple filtración rápida serán suficientes para remover dicho material. Generalmente, el agua fluye de un tanque de reserva al filtro y luego a la tubería de distribución. Como alternativa, la filtración puede llevarse a cabo antes de que el agua llegue a los tanques de reserva. En la Figura 7 se muestra un diagrama de flujo.

Figura 7. Esquema del tratamiento de agua de lluvia



Lista de control para el tratamiento de agua de lluvia

- ¿El agua es tratada mediante filtración lenta/rápida en arena?
- ¿Es la turbiedad del agua que sale del filtro menor de 5 UNT?

3. Desinfección

Nunca será demasiado el énfasis que se ponga en la importancia de la desinfección de los abastecimientos de agua para controlar la contaminación microbiana. No importa cuán buena sea la calidad del agua en la fuente, la misma puede contaminarse durante la recolección, procesamiento, conservación o distribución. Una política justa y conveniente de desinfección de los abastecimientos de agua, normalmente usando cloro, minimizará el riesgo de las enfermedades transmitidas por agua.

Los productos que liberan cloro, y el cloro mismo, son los agentes más usados para la desinfección de los abastecimientos de agua. En aquellos lugares donde la fuente de agua no es considerada segura ni protegida, debe realizarse un esfuerzo para introducir la desinfección lo más pronto posible y, así, minimizar los riesgos para la salud. La inspección sanitaria debe concentrarse en el uso regular de desinfectantes y en determinar si la desinfección se está llevando a cabo apropiadamente. En particular, debe existir una concentración de cloro residual suficiente antes de que el agua deje las instalaciones de captación y tratamiento.

Cuando se utilizan pozos o manantiales como fuentes de agua, la cloración se lleva a cabo en el mismo pozo o cámara de recolección, utilizando ya sea equipos colocados en la superficie que descarguen el desinfectante en el agua, o equipos simples ubicados bajo el agua. En el caso de pozos perforados, la cloración generalmente se realiza en la tubería de descarga o en la de captación. En sistemas de aguas superficiales o agua de lluvia en los que se emplea

filtración lenta o rápida, la cloración generalmente se lleva a cabo después de la filtración (poscloración).

En algunos casos, el cloro se agrega cuando el agua entra a un depósito. Cualquiera sea el método utilizado, el cloro o la sustancia liberadora de cloro debe estar en contacto con el agua durante por lo menos 30 minutos. Este tiempo de contacto se define en el presente trabajo como la diferencia entre el momento en que se agrega el cloro y el momento en que el agua llega al primer consumidor de la red de distribución.

El inspector sanitario no solo debe verificar si se está llevando a cabo la cloración, sino también determinar si la cloración es continua y si el equipo dosificador está funcionando apropiadamente. También debe verificarse si existe suficiente cantidad del compuesto liberador de cloro para que dure hasta que llegue la siguiente remesa. Además, es necesario verificar si existe una unidad comparativa para determinar la concentración de cloro, así como si se están llevando apropiados registros de la cloración. Se recomienda que se lleven registros por lo menos en forma diaria.

Lista de control para la cloración

- ¿Se estaba llevando a cabo la cloración en el momento de la inspección?
- ¿La cloración se realiza en forma continua?
- ¿Está funcionando correctamente el equipo de cloración?
- ¿Es el tiempo de contacto de 30 minutos o más?
- ¿Existe suficiente reserva de cloro, o sustancia liberadora de cloro, como para que dure durante algún tiempo más?
- ¿Existe un medio para determinar el cloro total o residual en el agua tratada?
- ¿Se llevan registros diarios de la cloración?

4. Depósitos de reserva

Los depósitos de reserva (tanques, cisternas) se usan normalmente para guardar agua con el fin de poder enfrentar los períodos de máxima demanda en el sistema de abastecimiento. Sin embargo, tales depósitos pueden convertirse en verdaderos criaderos de microorganismos si no existe una protección adecuada contra la contaminación externa. En consecuencia, el inspector sanitario debe prestar especial atención a que los mismos estén debidamente protegidos y asegurarse de que el acceso de personas o animales al interior del depósito sea imposible.

La abertura de cualquier tubería de rebose, boca de limpieza o tubo de ventilación debe mirar hacia abajo para impedir el ingreso de lluvia y debe estar protegida por una malla para evitar el ingreso de aves, insectos, roedores, etc. La tapa del depósito debe estar colocada firmemente en su lugar y su superficie debe tener un ángulo de inclinación para evitar la entrada

de agua de lluvia. Debe existir un buzón de inspección, igualmente protegido contra el ingreso de personas o animales. En la Figura 8 se ilustran estas medidas de protección.

Lista de control para los depósitos de reserva

¿Tiene el reservorio un buzón de inspección?

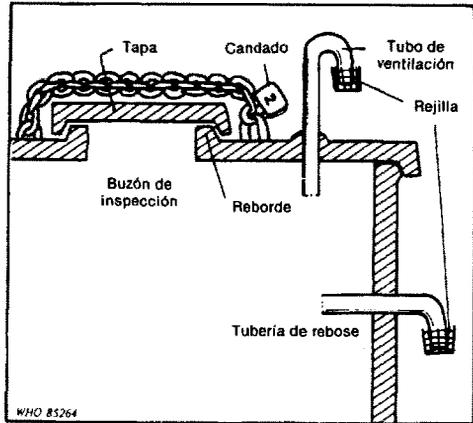
¿Está protegido el buzón de inspección con una tapa y un candado?

¿Las aberturas de los tubos de ventilación y de rebose miran hacia abajo?

¿Están los tubos de ventilación y de rebose protegidos con rejillas?

¿Se impide que el agua de lluvia ingrese al depósito?

Figura 8. Depósito de reserva protegido



5. Redes de distribución

La red de distribución se define en el presente trabajo como el sistema de tuberías a través del cual el agua es transportada desde las obras de captación, tratamiento y preservación hasta los usuarios. Desafortunadamente, existen muchas maneras mediante las cuales tales redes se pueden contaminar y, por lo tanto, el inspector debe prestar particular atención a las mismas. Sin embargo, este control es quizás el más difícil de todos, pues el sistema de distribución raramente es accesible o visible.

Antes de comenzar la inspección sanitaria, en el terreno debe revisarse las principales causas que producen la contaminación durante la distribución. A continuación se brindan lineamientos básicos sobre el punto.

Si existen defectos en el sistema, pueden infiltrarse en él diferentes sustancias contaminantes, incluyendo aguas residuales. En tanto exista una presión positiva de agua en las tuberías de distribución, no se generará contaminación; sin embargo, un descenso en la presión del agua aumentará el riesgo de infiltración de agua potencialmente contaminada. Si se cuenta con instrumentos adecuados, es relativamente fácil determinar si existe una fuga significativa o no. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, estos instrumentos no están disponibles en los sistemas de abastecimiento de pequeñas comunidades, especialmente en las áreas rurales. En estos casos, el inspector

debe buscar otras indicaciones de la existencia de fugas, como por ejemplo la presencia de agua o humedad en el pavimento, el crecimiento de musgo en las paredes, irregularidades en el pavimento, presión baja o nula en predios adyacentes, la nieve o escarcha derretida, descenso anormal en los niveles de cloro residual, quejas de los consumidores de que el agua está sucia, registros anómalos en el bombeo, etc.

La falta de una presión de agua adecuada también puede detectarse verificando si sale agua de los grifos ubicados en diferentes puntos de la red. Además, debe utilizarse un manómetro. Los usuarios también pueden brindar información útil respecto a si el servicio es intermitente o no.

Una conexión cruzada, sea temporal o permanente, puede causar la contaminación del agua potable. La causa de contaminación más común es el uso de agua no tratada proveniente de otra fuente para incrementar el volumen del abastecimiento. En muchas instalaciones existe una tubería directa que no pasa por la planta de tratamiento y permite que el agua no tratada ingrese en el sistema directamente; debe verificarse si existen conexiones cruzadas de este tipo.

No es poco común que después de haberse ejecutado reparaciones no se desinfecten los sistemas de distribución o partes de los mismos. El consiguiente riesgo es potencialmente serio, pues tales sistemas pueden contaminarse muy fácilmente. El inspector que está llevando a cabo la actividad de vigilancia en el momento en que se efectúa una reparación debe realizar un control en el sitio. El inspector sanitario también deberá examinar los registros llevados por la empresa de abastecimiento de agua.

La determinación del cloro residual presente en el agua del sistema de distribución complementa los análisis realizados en la planta. El análisis de cloro residual, que siempre debe acompañar la recolección de muestras para análisis bacteriológico, también sirve para verificar si la desinfección es satisfactoria y si se mantiene el nivel de cloro residual necesario.

El retrosifonaje implica el ingreso de aguas usadas (residuales) en el sistema de distribución como consecuencia de una conexión cruzada o la falta de una presión adecuada en la tubería. En la Figura 9 se muestran las causas comunes del retrosifonaje y las medidas de protección contra el mismo. Este tipo de fallas pueden ser controladas mediante una apropiada aplicación de los reglamentos de plomería, en los que se debe describir claramente los procedimientos para la instalación.

Figura 9. Protección contra el retrosifonaje: la distancia entre la abertura de la tubería de salida y el nivel del agua debe ser siempre por lo menos dos veces el diámetro de la tubería de salida

Lista de control para las redes de distribución

¿No existen fugas en el sistema de distribución?

¿La presión se mantiene en forma continua a lo largo de todo el sistema?

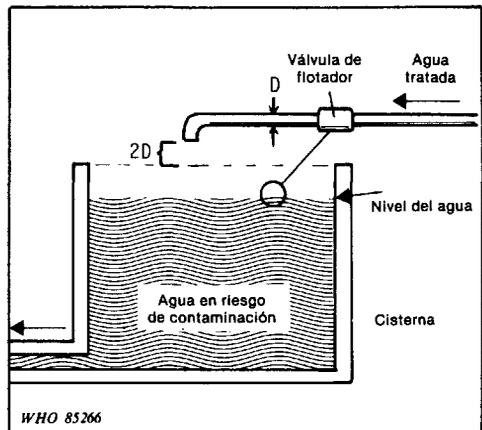
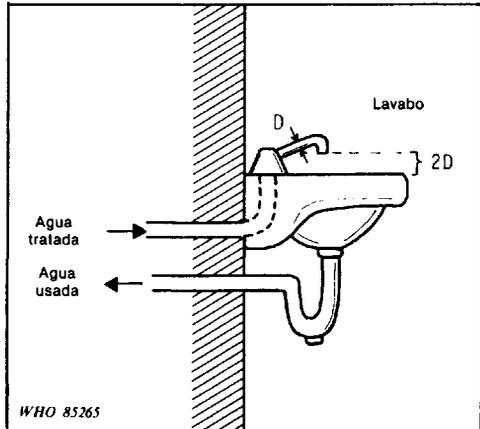
¿No existen conexiones cruzadas con agua de calidad eficiente?

¿Se ha desinfectado las tuberías nuevas o reparadas?

¿Existe cloro residual en los diferentes puntos del sistema?

¿No existen en el sistema problemas de retrosifonaje?

¿Existe alguna disposición en el reglamento de plomería o salas respecto al retrosifonaje?



6. Operadores de sistemas de abastecimiento de agua

El personal responsable de la operación y el mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua tiene una gran responsabilidad por la salud de los consumidores. Aunque en los poblados pequeños puede ser difícil encontrar

personal completamente satisfactorio, es esencial que las personas a cargo de la planta y responsables por su operación y funcionamiento cuenten con una experiencia y una capacitación adecuadas. Por lo tanto, el inspector sanitario debe tomar en cuenta la idoneidad de su capacitación, así como la forma en que se llevan a cabo las diferentes operaciones. Esto incluye actividades como lavado de filtros, cloración, análisis del cloro residual, limpieza de depósitos, reparación de tuberías, etc. Idealmente, el inspector sanitario, durante sus visitas, también debe asesorar al personal sobre la forma adecuada de llevar a cabo las diferentes operaciones.

Lista de control para los operadores de sistemas de abastecimiento

El nivel de estudios del responsable del servicio es:

Universidad Secundaria Primaria Otro

El nivel de capacitación en el tratamiento de agua fue obtenido por el responsable en:

Universidad Escuela técnica Cursillo No tiene

¿Cuántos años de experiencia en el tratamiento de agua tiene el responsable?
años

¿Cuánto tiempo tiene el responsable trabajando en este servicio?
años

¿Trabaja a tiempo completo? Sí No

¿Es adecuado el número de personal actualmente empleado?
Sí No

Es la calidad del personal actualmente empleado la adecuada?
Sí No

¿Cuál es el nivel de estudios del jefe del laboratorio (de existir)?

Universidad Secundaria Primaria Otro

7. Formularios de registro

El inspector sanitario debe elaborar un formulario o un cuadro para evaluar rápidamente cada sistema y resumir sus hallazgos y conclusiones. Tal formulario debe ser elaborado con ocasión de la primera visita y permanecerá posteriormente inalterado, a menos que se produzcan cambios en el sistema de abastecimiento, por ejemplo si se modifica el tipo de tratamiento, se adoptan nuevas fuentes para el abastecimiento de agua o se cambia el número y la calidad de los operadores.

El formulario debe incluir ciertos puntos de control comunes a todos los sistemas y otros que se apliquen específicamente al sistema inspeccionado. La mayoría de las preguntas o puntos de control deben ser del tipo SI/NO y estarán presentados de tal manera que la respuesta SI signifique la probable ausencia de problemas y riesgos para la salud. La respuesta NO sugiere problemas potenciales, los cuales pueden identificarse revisando completamente el formulario después de haberse completado la inspección sanitaria. Se sugiere que el formulario específico se base en el modelo y los principios ilustrados en la Figura 10. El formulario deberá ser llenado completamente por el inspector sanitario durante su visita.

Figura 10. Formulario de registro integral

PROGRAMA DE CONTROL
DE LA CALIDAD DEL AGUA

(Nombre del organismo responsable)

I. INFORMACION GENERAL

01. Localidad

02. Nombre del servicio

03. Propietario

04. Dirección

(a) *Población servida por:*

05. Conexiones domiciliarias

06. Fuentes públicas

07. Número total

(b) *Producción total de agua*

08. Promedio diario

09. Promedio anual

10. Desconocida

(c) *Restricciones en el abastecimiento durante el año pasado*

11. Número de ocasiones

12. Desconocidas

II. FUENTES DE AGUA

	SI	NO
a) Aguas subterráneas		
13. ¿Está la vecindad inmediata del punto de extracción (pozo) libre de cualquier fuente de contaminación potencial?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(b) Aguas superficiales		
14. ¿Está la captación correctamente ubicada respecto a las descargas contaminantes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. ¿Está la bocATOMA correctamente situada respecto a su profundidad y a su distancia del fondo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. ¿Está la tubería de captación firme y en posición estable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. ¿Está funcionando adecuadamente el sistema de captación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(c) Aguas de lluvia		
18. ¿Está la superficie de recolección de agua libre de malezas y suciedad?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. ¿Existe un sistema de drenaje para desviar y desechar la primera parte de la precipitación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
III. RECOLECCION Y TRATAMIENTO DEL AGUA		
(a) Pozos excavados		
20. ¿Está el sistema de elevación del agua (cubos, cuerdas, etc.) fuera del alcance de los usuarios, animales, aves, insectos, etc. y es imposible que el agua extraída del pozo vuelva a drenar hacia él?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. ¿Existe una plataforma impermeable que impida el ingreso de cualquier agua superficial en el pozo? (Esto es particularmente importante si pudieran producirse inundaciones en la localidad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(b) Manantiales		
22. ¿Existe una zanja para desviar las aguas superficiales?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. ¿La cámara de recolección tiene un buzón de inspección?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. ¿Existe un tubo de drenaje?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. ¿Están todas las aberturas protegidas contra el ingreso de animales y contra el acceso directo de las personas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(c) Pozos perforados		
26. ¿Existe una plataforma impermeable y "mortero" adecuado alrededor del revestimiento de la bomba para evitar el ingreso de aguas superficiales?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. ¿El revestimiento del pozo se extiende 30 cm por encima de la plataforma y no presenta fisuras?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. ¿Existe un tubo de revestimiento hasta por lo menos 3 m por debajo del suelo y no presenta fisuras?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. ¿El área circundante al pozo drena de bien lejos del pozo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(d) Galerías de infiltración		
30. ¿Tiene la galería un buzón de inspección?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. ¿Está el buzón de inspección protegido por una tapa y un candado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

32. ¿Existe una plataforma impermeable para impedir el ingreso de aguas superficiales?
33. ¿Se extiende el revestimiento 30 cm por encima de la plataforma y no presenta fisuras?
34. ¿Se extiende el revestimiento por lo menos 3 m por debajo del suelo y no presenta fisuras?
35. ¿El área circundante al cabezal de la bomba drena bien y lejos del lugar?
- (e) *Filtración lenta en arena*
36. ¿Es la turbiedad del agua que ingresa en el filtro lento de arena menor de 15 UNT?
37. ¿Es la turbiedad del agua extraída del filtro lento de arena menor de 5 UNT?
- (f) *Coagulación/sedimentación*
38. ¿Está funcionando adecuadamente el difusor de coagulantes y se está controlando correctamente la dosis de coagulantes?
39. ¿Durará el suministro de coagulantes hasta que llegue la siguiente remesa?
40. ¿Está funcionando adecuadamente el floculador?
41. ¿Es la turbiedad del agua que sale del tanque de sedimentación menor de 10 UNT?
- (g) *Filtración rápida en arena*
42. ¿Es la turbiedad del agua que sale del filtro menor de 5 UNT?
43. ¿Se está registrando la frecuencia y la duración del lavado a contracorriente de los filtros?
- (h) *Laboratorios de control del proceso*
44. ¿Existen en la planta los medios adecuados para llevar a cabo la prueba de jarras?
45. ¿Se cuenta en la planta con los instrumentos para medir la turbiedad?
46. ¿Se cuenta en la planta con los medios para medir el pH?
47. ¿Se está llevando registros de los análisis y pruebas?
- (i) *Tratamiento de agua de lluvia*
48. ¿El agua es tratada mediante filtración rápida/lenta en arena?
49. ¿Es la turbiedad del agua que sale del filtro menor de 5 UNT?
- IV. DESINFECCION
50. ¿Se estaba llevando a cabo la cloración en el momento de la inspección?
51. ¿La cloración se realiza en forma continua?
52. ¿Está funcionando correctamente el equipo de cloración?
53. ¿Es el tiempo de contacto de 30 minutos o más?
54. ¿Existe suficiente reserva de cloro, o sustancia liberadora de cloro, como para que dure durante algún tiempo más?

55. ¿Existe un medio para determinar el cloro total o residual en el agua tratada?
56. ¿Se llevan registros diarios de la cloración?

V. DEPOSITOS DE RESERVA

57. ¿Tiene el reservorio un buzón de inspección?
58. ¿Está protegido el buzón de inspección con una tapa y un candado?
59. ¿Las aberturas de los tubos de ventilación y de rebose miran hacia abajo?
60. ¿Están los tubos de ventilación y de rebose protegidos con rejillas?
61. ¿Se impide que el agua de lluvia ingrese en el depósito?

VI. REDES DE DISTRIBUCION

62. ¿No existen fugas en el sistema de distribución?
63. ¿La presión se mantiene en forma continua a lo largo de todo el sistema?
64. ¿No existen conexiones cruzadas con agua de calidad deficiente?
65. ¿Se ha desinfectado las tuberías nuevas o reparadas?
66. ¿Existe cloro residual en los diferentes puntos del sistema?
67. ¿No existen en el sistema problemas de retro-sifonaje?
68. ¿Existe alguna disposición en el reglamento de plomería respecto al retro-sifonaje?

VII. OPERADORES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

69. ¿El nivel de estudios del responsable del servicio es:
 Universidad Secundaria Primaria Otro
70. ¿El nivel de capacitación en el tratamiento de agua fue obtenido por el responsable en:
 Universidad Escuela técnica Cursillo No tiene
71. ¿Cuántos años de experiencia en el tratamiento de agua tiene el responsable? años [
72. ¿Cuánto tiempo tiene el responsable trabajando en este servicio? años [
73. ¿Trabaja a tiempo completo? Sí No
74. ¿Es adecuado el número de personal actualmente empleado? Sí No
75. ¿Es la calidad del personal actualmente empleado la adecuada? Sí No
76. ¿Cuál es el nivel de estudios del jefe del laboratorio (de existir)?
 Universidad Secundaria Primaria Otro

VIII. OBSERVACIONES DE LOS CONSUMIDORES

77. Los principales comentarios y quejas fueron:

- (i).....
- (ii).....
- (iii).....

IX. MEDIDAS CORRECTIVAS

78. Corrección forzosa y obligatoria de deficiencias en orden de prioridad:

- (i)
- (ii)
- (iii)

79. Mejoras sugeridas

- (i)
- (ii)
- (iii)

X. RELACION CON LA INSPECCION PREVIA

80. Fecha de la inspección previa Día Mes Años
 81. ¿Las medidas correctivas propuestas se han ejecutado en el tiempo transcurrido? Sí No
 82. ¿Qué medidas correctivas no se ejecutaron?
 (i)
- (ii)
 - (iii)

XI. REALIZACION DE LA PRESENTE INSPECCION

83. Fecha de la inspección Día Mes Año
 84. Nombre del inspector
85. Nombre del supervisor
86. Observaciones:
 (i)
- (ii)
 - (iii)

La preparación de formularios de registro específicos para cada sistema de abastecimiento de agua puede ilustrarse mejor mediante un ejemplo. Con este fin se presenta un caso, que es intencionalmente complicado y se refiere a un sistema de abastecimiento de agua para una comunidad rural relativamente grande, donde el agua se extrae de tres fuentes diferentes: un río, un manantial y un pozo perforado.

El agua del río es tratada mediante un filtro lento de arena (sin sedimentación previa); el agua tratada pasa luego a un tanque de reserva que alimenta al sistema de distribución. El agua del manantial también es depositada en un tanque para luego pasar al sistema de distribución. Por el contrario, el agua del pozo perforado es bombeada directamente al sistema. Se cuenta con

equipo para la cloración del agua extraída del río y del manantial; el agua del pozo perforado es bombeada al sistema sin cloración.

El servicio tiene un jefe responsable y un operador bajo su supervisión. No se cuenta con laboratorio.

En la Figura 11 se presenta el diagrama de flujo de este sistema de abastecimiento. Las preguntas relevantes para la inspección sanitaria, seleccionadas del formulario de registro integral (Figura 10), están identificadas mediante su número en la Figura 12.

Figura 11. Ejemplo de un sistema de abastecimiento de agua a una comunidad

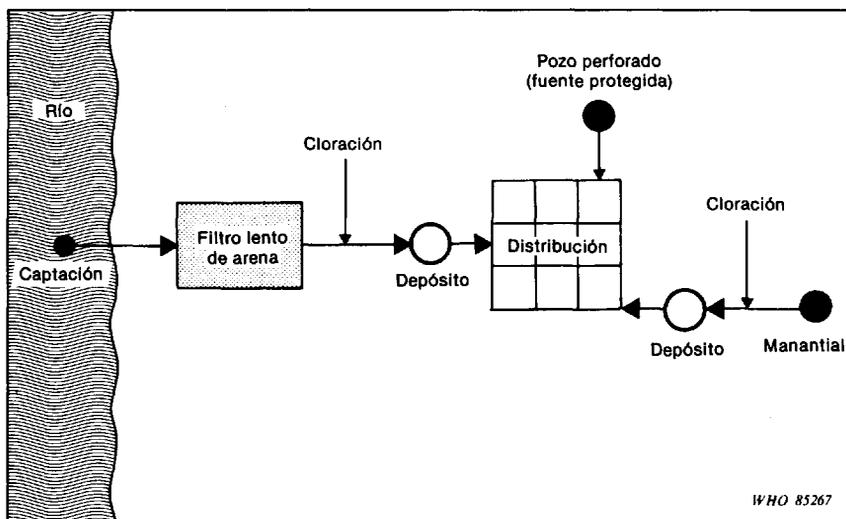


Figura 12. Ejemplo de un formulario de registro específico para el sistema de abastecimiento a una comunidad ilustrado en la Figura 11 (los números hacen referencia a las preguntas del formulario de registro integral de la Figura 10)

-
- A. *Información general* (Sección I)
Preguntas 01-12
 - B. *Fuentes de agua y tratamiento* (Secciones II-V)
 - (a) Captación del agua fluvial
Preguntas 14-17, 36-37, 50-56, 57-61
 - (b) Captación del agua del manantial
Preguntas 13, 22-25, 50-56, 57-61
 - (c) Pozo perforado
Preguntas 13, 26-29 (Nota: No hay cloración)
 - C. *Red de distribución* (Sección VI)
Preguntas 62-68
 - D. *Operadores del sistema de abastecimiento de agua* (Sección VII)
Preguntas 69-75
 - E. *Observaciones de los consumidores* (Sección VIII)
Pregunta 77
 - F. *Medidas correctivas* (Sección IX)
Preguntas 78-79
 - G. *Relación con la inspección previa* (Sección X)
Preguntas 80-82
 - H. *Realización de la presente inspección* (Sección XI)
Preguntas 83-86
-

ANEXO 3

RECOLECCION DE MUESTRAS DE AGUA PARA EXAMEN MICROBIOLOGICO

Aunque la recolección de una muestra de agua quizás parezca sencilla, pueden producirse errores y, por lo tanto, la actividad necesita un especial cuidado; además, pueden surgir problemas independientemente de la técnica de muestreo utilizada. A menos que se recolecten muestras válidas, el trabajo cuidadoso que se lleve a cabo en el análisis posterior podría resultar un completo desperdicio de tiempo.

Para los propósitos del muestreo, el agua puede dividirse en tres tipos básicos:

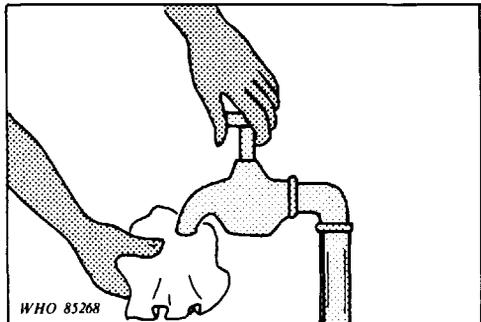
1. agua de un grifo en un sistema de distribución o de una bomba de mano fija, etc.;
2. agua de una corriente de agua o de un depósito (río, lago, tanque);
3. agua de un pozo excavado, etc., donde el muestreo es más difícil que en el caso de una fuente abierta.

1. Muestreo de un grifo o de la salida de una bomba

Los pasos que se deben seguir al tomar una muestra de un grifo o de la salida de una bomba se describen en la secuencia que viene a continuación.

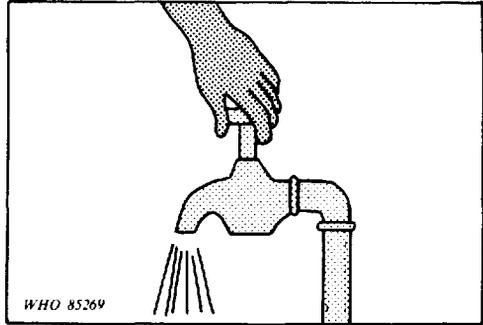
A. Limpie el grifo

Retire del grifo cualquier cosa que se le haya adherido que pueda causar salpicaduras y, utilizando una tela limpia, frote la boca de salida para quitar cualquier suciedad que pudiera existir.



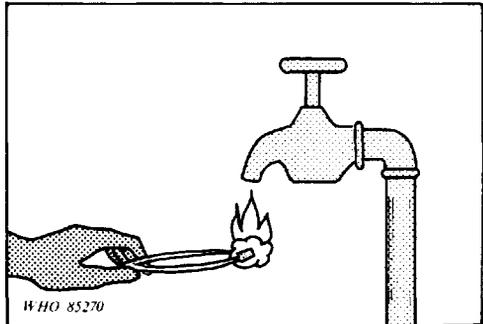
B. Abra el grifo

Dé vuelta a la llave del grifo hasta que alcance su flujo máximo y deje correr el agua durante 1-2 minutos.



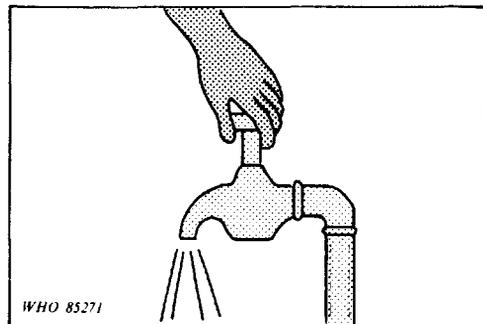
C. Esterilice el grifo

Esterilice el grifo durante un minuto con la llama encendida de una mota de algodón hidrófilo remojado en alcohol; como alternativa se puede utilizar un mechero de gas o un encendedor.



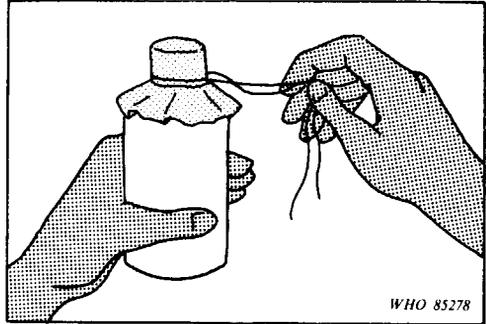
D. Abra el grifo antes de la muestra

Abra el grifo cuidadosamente y permita que el agua fluya durante 1-2 minutos con un flujo medio.

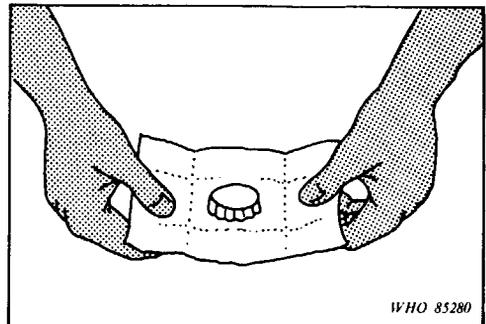
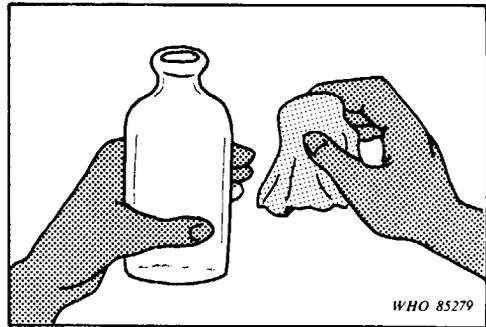


E. Abra un frasco esterilizado

(a) *Técnica clásica:* Desamarre el cordón que ajusta la cubierta protectora de papel de estroza y jale hacia afuera o desenrosque el tapón.

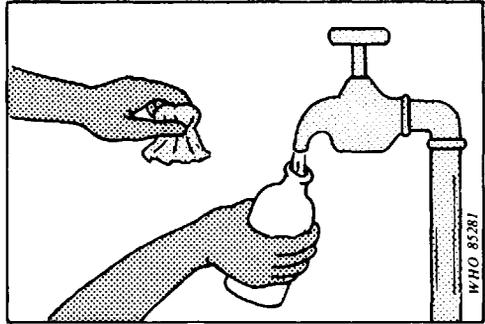


(b) *Técnica utilizando una máquina taponadora:* Desamarre el cordón que ajusta la cubierta protectora de papel de estroza, mientras un asistente abre el paquete que contiene la tapa esterilizada.

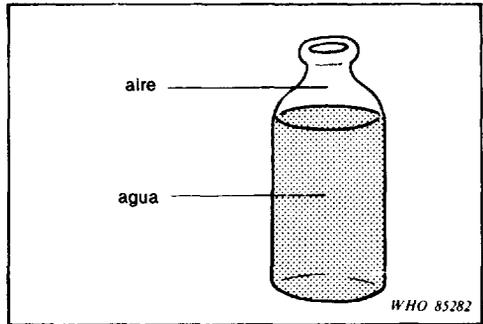


F. Llene el frasco

Mientras mantiene la tapa y la cubierta protectora hacia abajo (para evitar la entrada de polvo portador de microorganismos), ponga inmediatamente el frasco debajo del chorro de agua y llénelo.

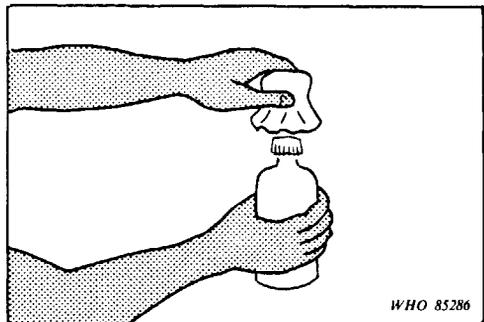


Se debe dejar un pequeño espacio de aire para facilitar la agitación en el momento de inoculación antes del análisis.

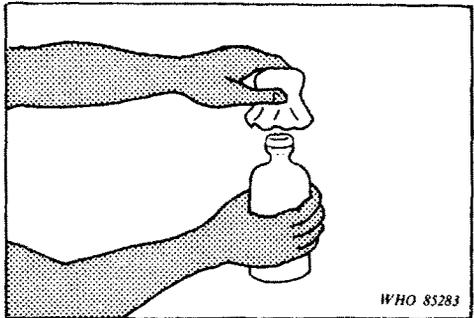
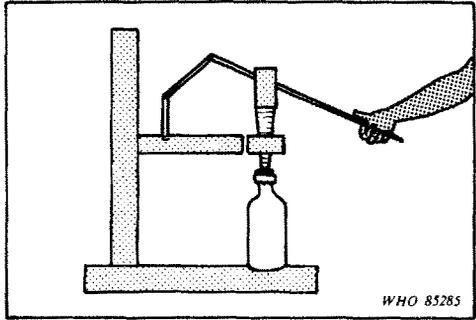


G. Coloque el tapón al frasco

(a) *Técnica clásica:* Coloque el tapón en el frasco o enrosque la tapa fijando la cubierta protectora de papel de estraza en su lugar mediante un cordón.



(b) Técnica utilizando una máquina taponadora: Coloque la tapa en su lugar y luego fíjela y ajústela usando la máquina taponadora; coloque la cubierta de papel de estraza utilizando el cordón.



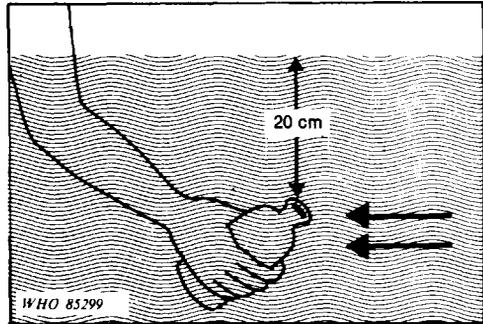
2. Recolección de muestras de una corriente o un depósito de agua

Abra el frasco esterilizado mediante las técnicas descritas en la sección 1.

A. Llene el frasco

Sostenga el frasco por la parte inferior y sumérjalo hasta una profundidad de aproximadamente 20 cm con la boca ligeramente hacia arriba; si existe corriente, la boca del frasco debe orientarse hacia la corriente.

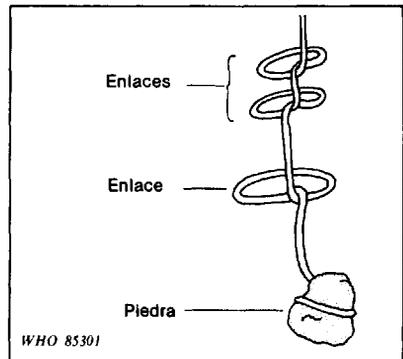
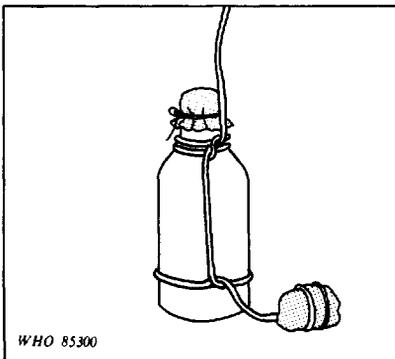
Posteriormente, se debe colocar el tapón o la tapa al frasco como se describió anteriormente.



3. Recolección de muestras de pozos excavados y fuentes similares

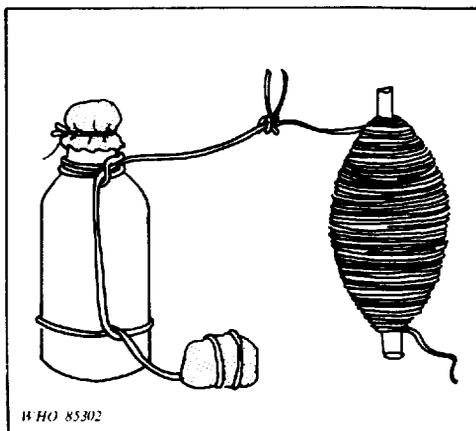
A. Prepare el frasco

Con un pedazo de cordón, amarre una piedra de tamaño adecuado al frasco de muestra.



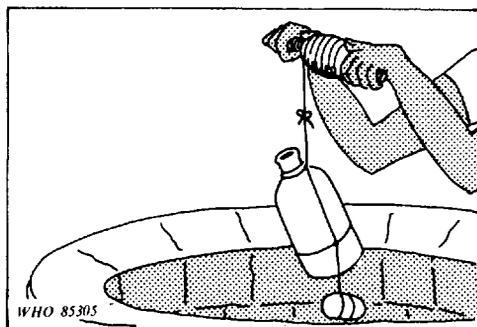
B. Amarre el frasco al cordón

Tome 20 m de un cordón limpio enrollado alrededor de una estaca y amárrelo con la cuerda del frasco. Abra el frasco como se describió en la sección 1.



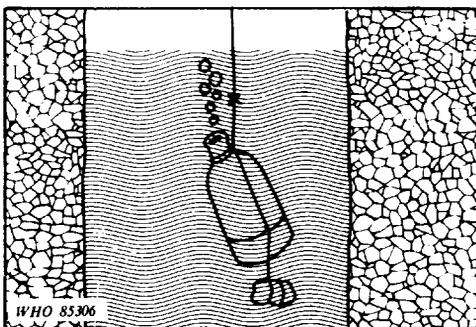
C. Haga descender el frasco

Desenrollando lentamente el cordón, haga descender el frasco dentro del pozo; el peso de la piedra tirará del frasco hacia abajo. No permita que el frasco toque los lados del pozo.



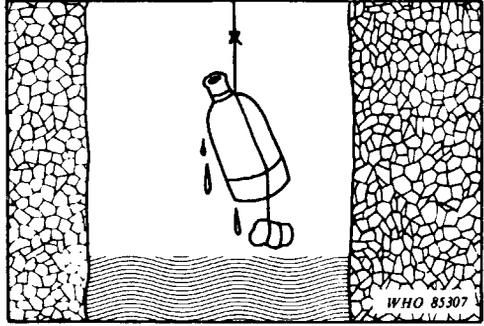
D. Llene el frasco

Sumerja el frasco completamente en el agua y hágalo descender hasta el fondo del pozo.



E. Eleve el frasco

Una vez que considere que el frasco está lleno, vuelva a enrollar la cuerda alrededor de la estaca para subir el frasco. Si este estuviera completamente lleno, deseche parte del agua para crear un espacio de aire.



Coloque el tapón o la tapa del frasco como se describió anteriormente.

ANEXO 4

PRUEBAS DE CAMPO PARA ANALISIS BACTERIOLOGICO

El análisis bacteriológico debe llevarse a cabo de preferencia en un laboratorio equipado por lo menos con las instalaciones básicas. Si las muestras no pueden ser procesadas en un laboratorio dentro de las 24 horas siguientes a su recolección (lo cual puede acontecer en zonas o poblados alejados), deberá utilizarse equipos portátiles instalados en un centro de salud, una escuela o un inmueble similar. Tales investigaciones de campo son apropiadas cuando las encuestas, estudios o inspecciones sobre la calidad del agua potable que duren varios días tienen lugar en zonas que no cuentan con laboratorios microbiológicos apropiados, o donde el suministro eléctrico es inadecuado. Debido a que frecuentemente existen problemas de transporte en las áreas alejadas, la cantidad de equipos de laboratorio en esas inspecciones tendrá que mantenerse al mínimo. Esto puede limitar el número de parámetros de calidad del agua que podrán medirse. En el caso de abastecimientos sin cloración, normalmente solo se tendrá que medir los coliformes fecales. Sin embargo, en el caso de fuentes de agua cloradas, se deberá considerar la medición de coliformes totales y coliformes fecales, junto con la determinación del cloro residual. Para el análisis se puede utilizar ya sea el método de tubos múltiples (TM) o el método de la membrana filtrante (MF).

El examen bacteriológico siempre deberá llevarse a cabo en combinación con una inspección sanitaria. De esa manera, los resultados bacteriológicos obtenidos podrán servir como una verificación de los resultados de la inspección sanitaria, y ayudarán a definir las prioridades de las medidas correctivas.

1. Equipo básico de laboratorio

En zonas remotas, donde los análisis bacteriológicos se realizan con poca frecuencia, es aconsejable instalar en un poblado conveniente dentro del área de estudio un pequeño laboratorio que contenga el equipo básico.

Normalmente, los medios preesterilizados y otros materiales tendrán que ser traídos de un laboratorio regional en vez de ser preparados a nivel local. Sin embargo, si las instalaciones y facilidades locales son adecuadas, deberán obtenerse materiales y equipos para la elaboración de los medios, como por ejemplo una cocina a presión, una plancha de calentamiento y porciones previamente pesadas de medios deshidratados.

1.1 Método de tubos múltiples

Para el método de tubos múltiples, se requiere el siguiente equipo básico:

- (a) un pequeño baño María, cuya temperatura se pueda fijar a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ y $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$;
- (b) tubos preesterilizados con medios de doble y simple concentración de la composición elegida y tubos Durham para contenerlos;
- (c) gradillas para los tubos de prueba;
- (d) pipetas preesterilizadas;
- (e) frascos estériles para el muestreo.

1.2 Método de la membrana filtrante

Se requiere el siguiente equipo básico:

- (a) un pequeño baño María o una incubadora, cuya temperatura se pueda fijar a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ y $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$;
- (b) una unidad de membrana filtrante;
- (c) filtros de membrana estériles;
- (d) platillos Petri estériles con almohadillas absorbentes;
- (e) ampollitas con medios o frascos con caldo preesterilizado de composición elegida;
- (f) mechero de gas o etanol para la llama;
- (g) pipetas y pinzas preesterilizadas;
- (h) bolsas plásticas impermeables (si se utiliza baño María);
- (i) frascos estériles para el muestreo.

2. Métodos para pruebas de campo

Para las investigaciones de campo que se llevan a cabo en zonas donde no existe suministro eléctrico, o se cuenta con este solo periódicamente, se tiene que adoptar una metodología alternativa para llevar a cabo los análisis bacteriológicos. Se dispone de las siguientes opciones:

- (a) método de incubación retardada;
- (b) método TM para coliformes fecales con modificaciones para su aplicación en campo (véase Anexo 5);
- (c) método FM, con modificaciones para su aplicación en campo (véase Anexo 6).

2.1 Método de incubación retardada

2.1.1 Principios

Cuando la distancia entre el lugar de muestreo y el laboratorio es demasiado grande para permitir el procesamiento de las muestras en el laboratorio dentro de las 24 horas de su recolección, y si no se cuenta con una incubadora

de campo, puede utilizarse la incubación retardada. En este procedimiento, se filtra la muestra en el campo y el filtro se coloca en una almohadilla saturada con un medio de retención (medio de transporte); esto mantiene vivas a las bacterias, pero impide su crecimiento visible y hasta por 72 horas. Si se les coloca en recipientes fuertes y resistentes o en fundas adecuadamente acolchadas, los filtros podrán ser enviados al laboratorio por correo o cualquier otro medio de transporte. Debe evitarse el calor y el frío extremos durante el transporte; si se encuentran temperaturas elevadas, podría producirse algún crecimiento visible en el medio de retención.

Existen disponibles medios de retención tanto para coliformes totales como para coliformes fecales. Se tiene, por ejemplo, el medio de retención LES MF para coliformes totales (y fecales) y el M-VFC para coliformes fecales. Se ha demostrado que los medios de retención para coliformes totales también pueden usarse para coliformes fecales; sin embargo, debe anotarse que si se adopta este procedimiento se observarán ligeros cambios en el color de las colonias de coliformes.

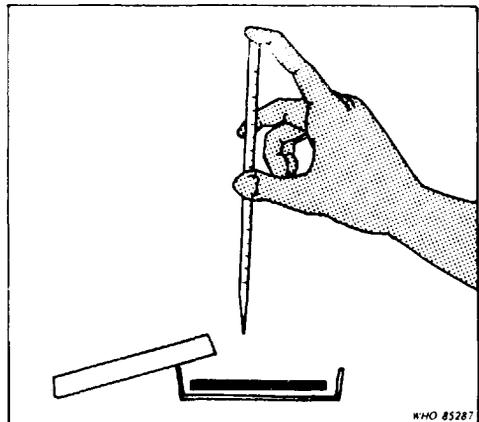
2.1.1 *Equipo y materiales*

Se requiere del equipo y materiales siguientes:

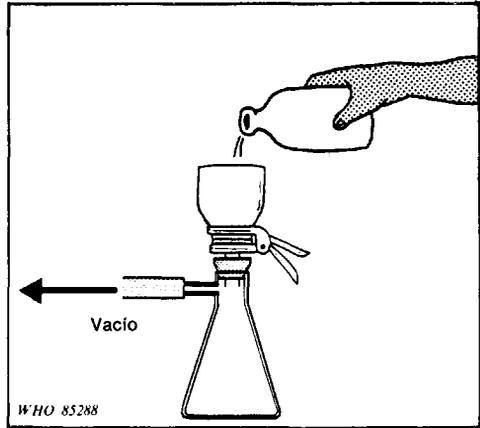
- (a) unidad de filtración de campo (para los requisitos de esterilización, véase el Anexo 6);
- (b) jeringa de succión;
- (c) platillos Petri con tapas de ajuste hermético y almohadillas absorbentes;
- (d) medios de retención previamente preparados y estériles;
- (e) pipetas preesterilizadas;
- (f) pinzas estériles;
- (g) mechero de gas o etanol para la llama;
- (h) frascos estériles para muestras (no se necesitan si se cuenta con una taza de muestreo esterilizable);

2.1.3 *Procedimiento*

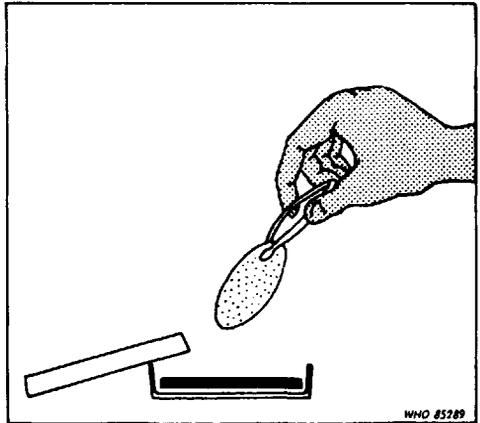
A. Utilizando una pipeta, coloque el medio de retención estéril en un platillo Petri que contenga una almohadilla de absorción estéril. Espere hasta que la almohadilla esté completamente empapada y elimine del platillo el exceso de medio.



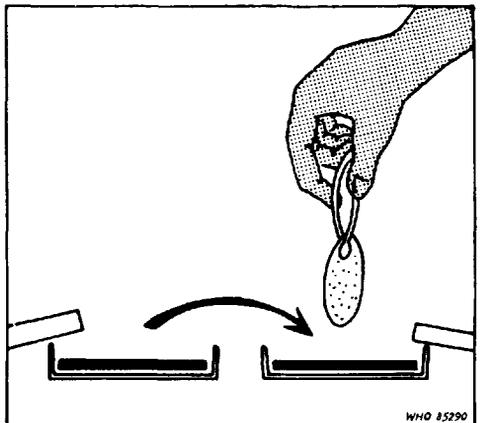
B. Filtre 100 ml de la muestra de agua a través de un filtro de membrana estéril, utilizando para ello la unidad de filtración esterilizada.



C. Desconecte la unidad de filtración y, utilizando las pinzas, coloque la membrana filtrante (el lado reticulado hacia arriba) en la almohadilla de absorción previamente remojada del platillo Petri. Asegúrese de que no queden atrapadas burbujas de aire entre la almohadilla y el filtro. Coloque el platillo Petri en un recipiente adecuado para su transporte al laboratorio (este no debe tomar más de 72 horas). Si se envía por correo, el platillo Petri debe ser empacado en una funda adecuadamente acolchada.



D. Después del arribo al laboratorio, transferir la membrana a un Endomedio LES para coliformes totales, o a un medio MFC para coliformes fecales, y procédase según se describe en el método MF (véase Anexo 6).



2.2 Método de tubos múltiples

La técnica es esencialmente la que se usa en el laboratorio para coliformes totales y fecales y que se describe en el Anexo 5. Si solo se va a determinar el número de coliformes fecales, puede utilizarse el método alternativo descrito para este caso en el Anexo 5.

Para la incubación de campo se puede utilizar un baño María eléctrico, controlado termostáticamente, el cual se puede conectar a una batería o al encaje del encendedor de cigarrillos en un automóvil. También se dispone de incubadoras de "baño seco" de bloque de aluminio para investigaciones de pequeña escala. Los tubos con tapas roscadas que contengan medios de doble y simple concentración son adecuados para su transporte en el campo.

2.3 Método de la membrana filtrante

2.3.1 Principios

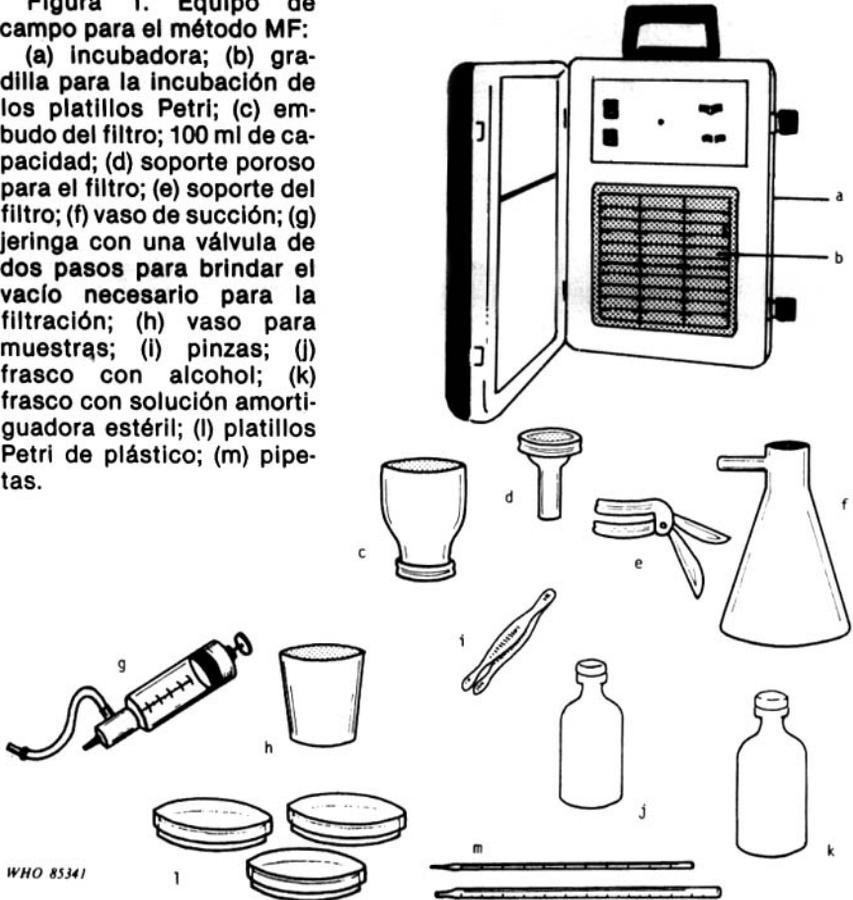
La técnica es básicamente la que se utiliza en el laboratorio y se describe en el Anexo 6, con la única diferencia de que el equipo es portátil. El vacío requerido puede producirse mediante una jeringa especial o una bomba de mano adecuada. Diferentes fabricantes producen varios tipos de equipo portátil.

2.3.2 Equipo

En la Figura 1 se muestran los componentes esenciales de un equipo de campo.

Figura 1. Equipo de campo para el método MF:

(a) incubadora; (b) gradilla para la incubación de los platillos Petri; (c) embudo del filtro; 100 ml de capacidad; (d) soporte poroso para el filtro; (e) soporte del filtro; (f) vaso de succión; (g) jeringa con una válvula de dos pasos para brindar el vacío necesario para la filtración; (h) vaso para muestras; (i) pinzas; (j) frasco con alcohol; (k) frasco con solución amortiguadora estéril; (l) platillos Petri de plástico; (m) pipetas.



WHO 85341

Es necesario precisar algunos puntos sobre instrumentos:

(a) *Incubadora*. Se necesita una incubadora portátil o una unidad de baño María adecuada, de tal manera que la temperatura pueda fijarse de antemano; algunas unidades de este tipo pueden ser conectadas a corrientes continuas de 6, 12 ó 24 voltios DC o a corrientes alternas de 115 ó 230 voltios AC. Es posible hacerlas funcionar con una batería o conectándolas al enchufe del encendedor de un automóvil o a una toma corriente normal en la pared (utilizando los adaptadores adecuados). Las incubadoras portátiles, si bien son caras, son muy apropiadas para la medición en campo del número de coliformes totales y fecales.

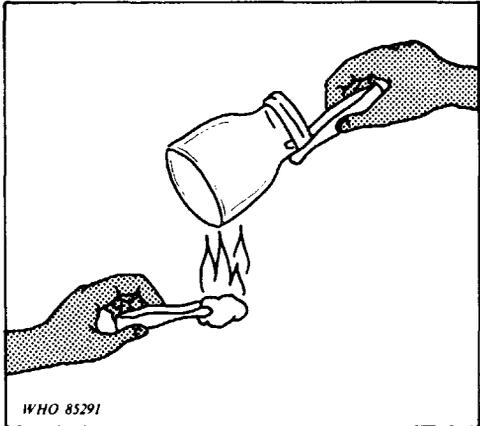
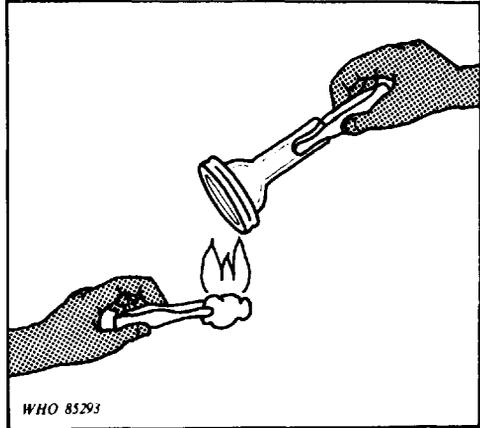
(b) *Unidades de filtración.* Se cuenta con varios sistemas de filtración especialmente diseñados, desde simples monitores y jeringas de campo, pasando por sistemas de vacío de plástico de policarbonato equipados con jeringas, hasta sistemas completos de acero inoxidable. Sin embargo, los monitores de campo simples son difíciles de usar y en algunos casos han producido recuperaciones deficientes de bacterias coliformes. Los embudos usados en las unidades de filtración de campo pueden ser esterilizados entre una filtración y otra sumergiéndolos en agua hirviendo durante 5 minutos (algo más a mayores alturas). Las unidades de acero inoxidable pueden ser flameadas con alcohol ardiente, o con un mechero de gas. Algunas unidades vienen equipadas con un aro en la base del embudo; este aro puede ser empapado con metanol y encendido; después de dejar que el metanol arda durante unos segundos se puede sellar la unidad, colocando el matraz de acero inoxidable sobre el embudo y la base. Esto da como resultado una combustión incompleta del metanol, formándose de esa manera formaldehído, que tiene efecto esterilizante. La unidad debe permanecer sellada durante 15 minutos para garantizar que esté completamente esterilizada.

(c) *Medios de cultivo.* Varios abastecedores entregan los medios de cultivo esterilizados en ampollitas listas para usarse. Como alternativa, puede usarse caldos estériles previamente preparados de composición elegida o placas de agar previamente preparado; en este caso, es importante asegurarse de que el período de conservación que resisten estos componentes sea lo suficientemente prolongado como para poder realizar el viaje hasta el campo.

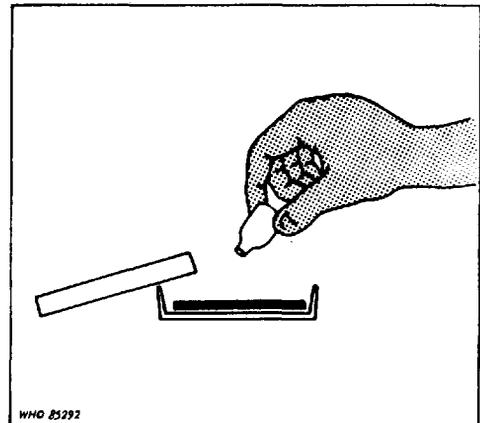
2.3.3 Determinación de coliformes totales y fecales

Los procedimientos para la determinación del número de coliformes totales y fecales son, en esencia, similares; sólo cambia el medio de cultivo empleado y la temperatura de incubación. Los pasos a seguir en el proceso son los siguientes:

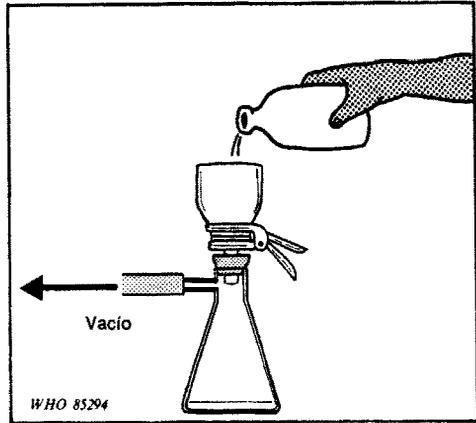
A. Esterilice la unidad de filtración.



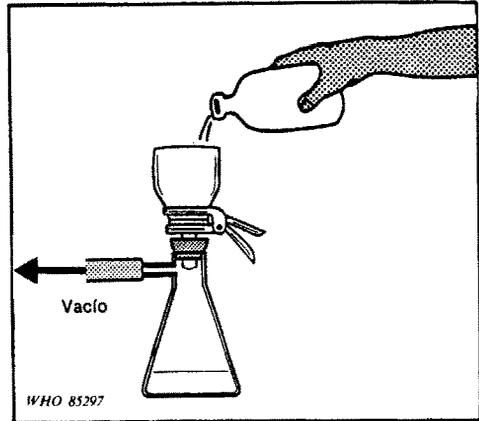
B. Si se utiliza como medio un caldo, agregue una ampolleta del medio de cultivo (o suficiente caldo tomado de un recipiente adecuado) a una almohadilla absorbente colocada en un platillo Petri estéril; es importante asegurarse de que la almohadilla esté completamente impregnada.



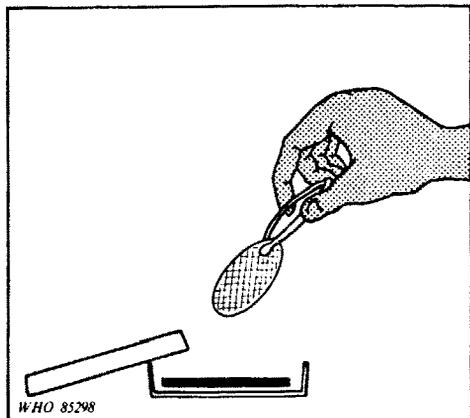
C. Vacíe un volumen conocido de la muestra en el embudo del filtro; la filtración se lleva a cabo aplicando vacío mediante una bomba de mano o una jeringa.



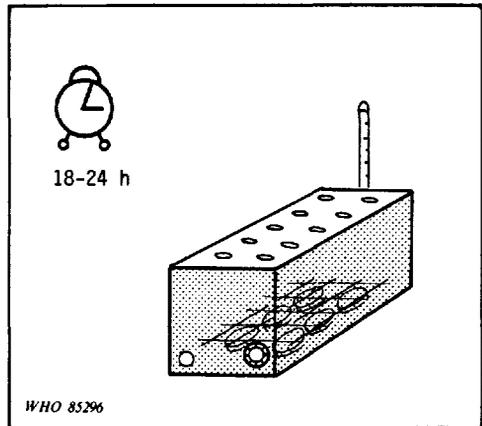
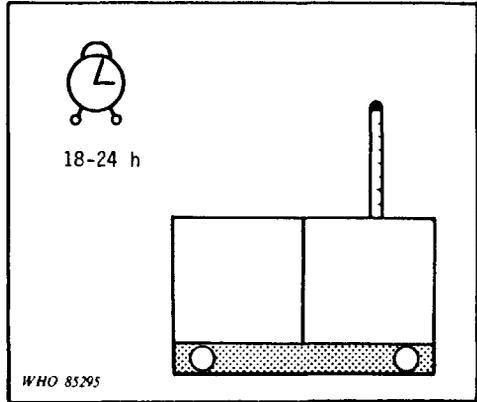
D. Enjuague el embudo con dos porciones de 20-30 ml de solución amortiguadora (para información sobre la solución amortiguadora, véase el Anexo 6).



E. Retire el embudo y transfiera el filtro, usando las pinzas estériles, a la almohadilla impregnada (o a la placa de agar); el lado reticulado debe estar hacia arriba y debe utilizarse un movimiento de enrollamiento para evitar que queden atrapadas burbujas de aire.



F. Coloque el platillo Petri en la incubadora; si se está utilizando baño María el platillo debe ser colocado en un recipiente pesado, el cual se sumergirá en el agua, habiéndose sellado previamente el platillo con una cinta impermeable. Para los coliformes totales, el tiempo de incubación debe ser de 18-24 horas a 35 ó 37°C. Para los coliformes fecales, se necesita una temperatura de $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$.



La detección, el recuento y el cálculo de las bacterias presentes se realiza exactamente de la misma manera que en la técnica de laboratorio del método MF (véase Anexo 6).

2.4 Métodos simples de tamizado

Existe una serie de métodos simples de tamizado que se pueden usar bajo ciertas circunstancias, específicamente los métodos de placa de distribución superficial, filtración en membrana filtrante con almohadilla de absorción, y conteo por inmersión, pero no se recomiendan en el presente trabajo ya que los resultados que brindan no son compatibles con los valores guía especificados para la calidad bacteriológica de los abastecimientos de agua potable.

ANEXO 5

METODO DE LOS TUBOS MULTIPLES

1. Fundamento

En el método de los tubos múltiples (TM), se siembran o inoculan volúmenes parciales de una muestra de agua en una serie de tubos de ensayo que contienen un medio de caldo de cultivo adecuado.

Después de un período de incubación específico a una temperatura dada, cada tubo que muestra formación de gas es considerado como “presuntamente positivo”, ya que esto indica la posible presencia de bacterias coliformes; sin embargo, como también otros organismos pueden producir gas, es aconsejable una subsecuente prueba de confirmación. A las dos pruebas se les conoce como prueba *presuntiva* y prueba *confirmativa*.

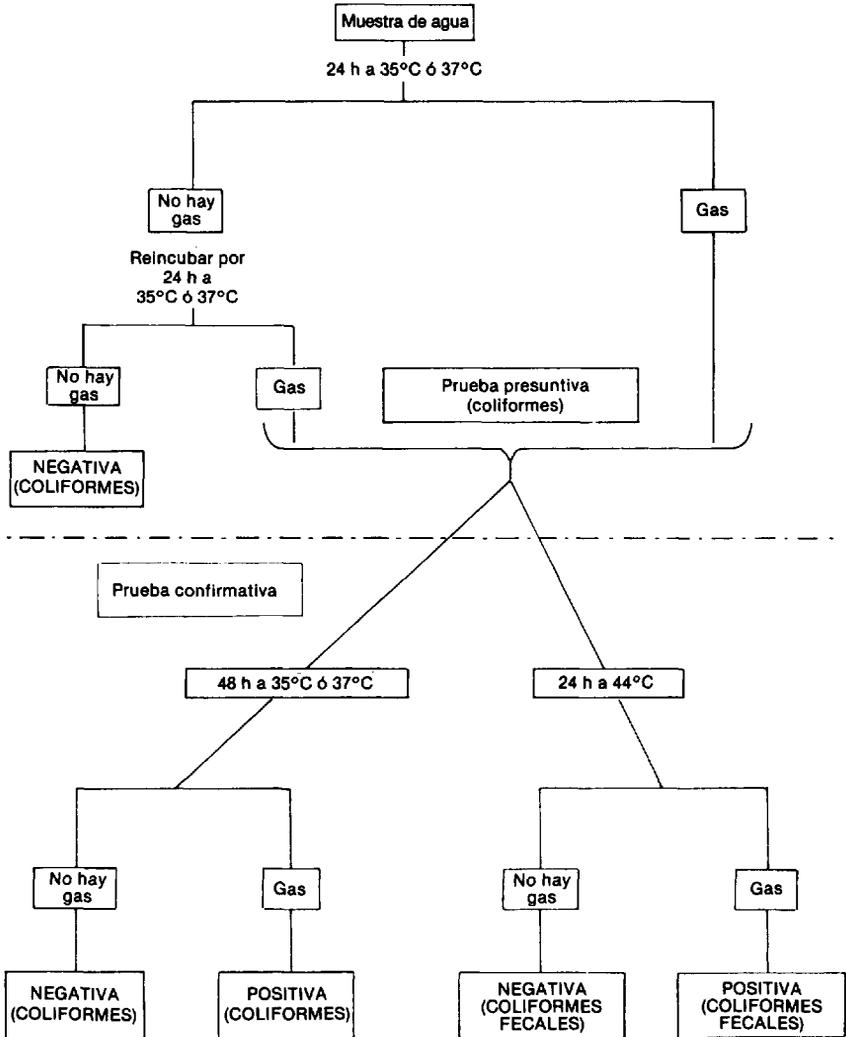
Para la prueba confirmativa, se siembra material tomado de los tubos con reacción positiva en un medio de cultivo más selectivo. Después de un intervalo de tiempo apropiado, se examinan los tubos para detectar la formación de gas, como en la prueba anterior. Entonces, a partir del número de tubos inoculados y del número de tubos con resultado positivo obtenidos en la prueba confirmativa, se puede estimar la concentración de bacterias en la muestra. El número más probable (NMP) de bacterias presentes se puede calcular utilizando tablas estadísticas especialmente diseñadas. A esta técnica se le conoce como el método NMP.

La Figura 1 muestra los procedimientos que comprende el análisis bacteriológico de una muestra de agua, además de los tiempos y temperaturas de incubación adecuados. Según el tipo de agua que se está analizando, se necesitan diferentes grados de dilución de la muestra.

2. Inoculación

Pueden utilizarse diferentes porciones de prueba para obtener etapas de dilución con una progresión geométrica de 10, basándose los grados de dilución en el número de bacterias coliforme que se espera encontrar en la muestra de agua sometida a análisis. La confiabilidad del resultado obtenido depende del número de tubos inoculados con cada porción de prueba. En ciertos casos, este número puede reducirse a tres en cada etapa de dilución. Cada combinación de tubos inoculados tendrá su propia tabla de valores de NMP.

Figura 1. Diagrama de los procedimientos que comprenden las pruebas presuntiva y confirmativa en método de tubos múltiples.



2.1 Agua no contaminada

Generalmente puede asumirse que el agua que ingresa en el sistema de distribución, o que ya está en él, contiene poca o ninguna contaminación. En este caso, solo cinco volúmenes de 10 ml de muestra de agua tendrán que inocularse en cinco tubos de ensayo; cada tubo deberá contener 10 ml de un medio de doble potencia.

2.2 Agua contaminada

El agua de la que se sospeche esté más contaminada, por ejemplo, el agua sin tratamiento de ciertas fuentes de agua natural, deberá ser examinada utilizando diferentes volúmenes de inoculación en grados de dilución que tengan una progresión geométrica de 10. Normalmente, se inoculan los siguientes volúmenes:

- (a) 10 ml de muestra a cada uno de cinco tubos con 10 ml de medio de doble potencia;
- (b) 1.0 ml de muestra en cada uno de cinco tubos con 10 ml de un medio de simple potencia;
- (c) 1.0 ml de una muestra con una dilución de 1:10 (es decir, en realidad 0.1 ml de muestra) a cada uno de cinco tubos con 10 ml de un medio de simple potencia.

Si se espera que la muestra esté altamente contaminada, alícuotas de 1.0 ml de cada uno de los grados de dilución en una progresión geométrica de 10 se inocularán en cinco tubos con 10 ml de un medio de simple potencia.

Si la carga de trabajo es muy pesada y el tiempo disponible es limitado, el número de tubos se puede reducir a tres en cada serie. Sin embargo, la inoculación de cinco tubos con cada volumen de muestra brinda un resultado del NMP que es estadísticamente más confiable que el obtenido mediante la inoculación de solo tres tubos.

3. Equipo

Es necesario contar con el siguiente equipo básico de laboratorio:

(a) *Estufa de aire caliente.* Esta debe ser lo suficientemente grande para dar cabida fácilmente a todas las pipetas, tubos de ensayo, frascos de muestras y otros utensilios de vidrio y aparatos que necesiten ser esterilizados mediante calor seco. Es esencial que el aire caliente circule libremente en el interior de la estufa para obtener una esterilización adecuada. La temperatura de la estufa debe estar controlada a 170°C; debe utilizarse un termómetro para verificar la temperatura. El tiempo de esterilización requerido es de una hora.

(b) *Autoclave.* La autoclave debe ser lo suficientemente grande para permitir el libre flujo de vapor alrededor de la carga normal que se va a esterilizar. Debe estar equipada con un manómetro y un termómetro, estando la

mayor parte del termómetro ubicada en la abertura de salida de la autoclave (esto minimiza la probabilidad de que se rompa el termómetro). La autoclave debe hacerse funcionar siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante; ello garantizará que todo el aire en la cámara pueda ser reemplazado por vapor. La esterilización debe alcanzarse en no más de 30 minutos. Debe cumplirse estrictamente con las temperaturas y los tiempos de esterilización recomendados para los diferentes tipos de medios de cultivo.

(c) *Incubadora*. Este elemento debe estar equipado con un control de temperatura y ser capaz de mantener una temperatura uniforme correcta, con una tolerancia de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. El interior debe ser lo suficientemente grande como para permitir el flujo libre del aire cuando la incubadora esté llena. Debe colocarse termómetros en puntos representativos de la incubadora y la temperatura debe vigilarse periódicamente (de preferencia, en forma diaria).

(d) *Baño María*. El baño María debe estar equipado con un termostato, de tal manera que se pueda mantener una temperatura uniforme de $44 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ para el cultivo de los coliformes fecales. Debe estar equipado con gradillas de acero inoxidable y su calentamiento debe ser eléctrico.

(e) *Medidor de pH*. Se necesita para medir el pH del medio nutriente.

(f) *Balanza*. Se necesita para pesar los medios de cultivo en polvo y los compuestos químicos utilizados para preparar las soluciones. La mayoría de los pesos están entre 1 y 100 g. La balanza debe tener, con una carga de 150 g, una precisión de ± 1 g.

(g) *Dispositivo para destilación del agua o desionizador de agua*. Se requiere para producir agua no tóxica, es decir, agua libre de cualquier sustancia que pudiera interferir con el crecimiento bacteriano.

(h) *Frascos de dilución*. Los frascos con tapas roscadas libres de sustancias tóxicas solubles son excelentes para este propósito. Deben ser lo suficientemente grandes como para permitir suficiente espacio de aire por encima del líquido, de tal manera que se produzca una buena mezcla al agitarse. El volumen depende de la relación de dilución preferida. Si se prefiere una relación de dilución de 1:10, se utilizan generalmente frascos con 9 ml de solución diluyente (para que reciban alícuotas de 1 ml de las muestras) o con 90 ml de solución diluyente (para que reciban alícuotas de 10 ml de las muestras); estos frascos deben ser lo suficientemente grandes para mantener estos volúmenes después de la esterilización, proceso que se lleva durante 20 min a 121°C .

(i) *Pipetas*. Se requieren dos tamaños de pipetas (de 1 y 10 ml) con tapones de algodón en la boquilla. Las pipetas de 1 ml deben estar graduadas con incrementos de 0.1 ml. Deben desecharse las pipetas con las puntas quebradas o astilladas. Las pipetas se guardan adecuadamente en un recipiente de metal esterilizable. Debe emplearse un recipiente separado para cada tamaño de pipeta. De igual manera, las pipetas pueden envolverse individualmente en papel y esterilizarlas aplicando calor.

(j) *Equipo para preparación de los medios*. Se requiere de recipientes de vidrio o acero inoxidable. Todos los equipos de calentamiento y agitadores utilizados en la preparación de los medios deben estar limpios y libres de materiales tóxicos solubles.

(k) *Mechero de gas.* El mechero Bunsen, o uno similar, sería adecuado.

(l) *Tubos de cultivo con ampollitas invertidas en su interior (tubos Durham).* Los tubos y las ampollitas deben ser de tal tamaño que la ampollita pueda ser llenada completamente con el medio de cultivo y sumergida en el tubo.

(m) *Gradillas para los tubos de ensayo.* Las aberturas en las gradillas deben ser lo suficientemente grandes como para dar cabida a los tubos de cultivo de mayor diámetro utilizados.

(n) *Lazo de inoculación y sujetador.* Debe utilizarse trozos de alambre de calibre 24 ó 26 (7.5–10 cm de longitud). El alambre de nicromio es aceptable, pero el de platino-iridio es mejor. Los trozos de alambre (gazas) se insertan en manguitos de metal o vidrio con un diámetro similar al de un lápiz. Para formar la gaza de inoculación, se dobla el alambre haciendo un círculo de 3–4 mm de diámetro.

(o) *Equipo general de laboratorio.* Varios matraces redondos y de Erlenmeyer, cubiletes, soportes, etc.

4. Medios de cultivo y agua de dilución

Los medios deshidratados disponibles en el mercado simplifican la preparación de caldos de cultivo y, por lo tanto, son recomendados para el trabajo en laboratorio. Diferentes fabricantes producen estos medios en forma de polvos, que pueden ser fácilmente pesados, disueltos en agua destilada y colocados en los tubos de cultivo antes de la esterilización.

Se dispone de diderentes medios de cultivo para la *prueba presuntiva*, como por ejemplo:

- caldo de triptosa de laurilo (CTL);
- caldo de MacConkey;
- caldo de lactosa o caldo lactosado.

Estos tres caldos son de uso común en muchos países. La selectividad del cultivo de MacConkey y del CTL depende, respectivamente, de la presencia de sales biliares y del agente tensoactivo sulfato de laurilo; el caldo de lactosa es un medio no selectivo.

Como un *medio confirmativo* para los organismos coliformes totales el que más se usa es el caldo lactosado con verde brillante y bilis (CBV).

Para confirmar la presencia de coliformes fecales, se utiliza ya sea el caldo CBV o el caldo de *Escherichia coli* (EC).

4.1 Preparación de los medios

Los medios deben prepararse siguiendo las instrucciones de los fabricantes de la siguiente manera:

(a) Disuelva la cantidad fijada del medio deshidratado en agua destilada para obtener el medio presuntivo de doble potencia o de simple potencia (para los análisis confirmativos se utiliza solo medios de simple potencia).

(b) Agregue el volumen requerido en los tubos de cultivo que contienen un tubo Durham invertido y colóqueles la tapa a los tubos de cultivo.

(c) Proceda a la esterilización en una autoclave o una olla a presión a 114°C durante 10 minutos (o según las especificaciones del fabricante). Es muy importante que los medios que contengan disacáridos, por ejemplo, lactosa, no sean expuestos a temperaturas más elevadas en la autoclave.

(d) El medio esterilizado debe ser preservado a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) para mantenerlo estéril. Además, dado que varios tintes son sensibles a la luz, la solución debe estar protegida contra la exposición a la luz.

4.2 Preparación del agua de dilución

Se utiliza un agua especial esterilizada y amortiguada para preparar diluciones de la muestra para su inoculación en el medio de cultivo. Esta agua se prepara de una solución madre concentrada de amortiguador de fosfato. Para hacer la solución madre, disuelva 34.0 g de fosfato dehidrogenado de potasio (KH_2PO_4) en 500 ml de agua destilada. Esta solución debe tener un pH de 7.2 (lo cual debe verificarse con un medidor de pH). El pH puede incrementarse si es necesario añadiendo unas cuantas gotas de una solución de hidróxido de sodio de 1 mol/litro (4.0 g disueltos en 100 ml de agua destilada). Luego añada suficiente agua destilada para obtener 1 litro. Cuando la solución madre no esté en uso, debe guardársele en una botella firmemente cerrada a 4-10°C con el fin de demorar el crecimiento microbiano.

Cuando use el agua de dilución, añada 1.25 ml de la solución madre a 1 litro de agua destilada y coloque la mezcla en frascos o botellas para su esterilización en la autoclave. Antes de la esterilización, afloje los tapones de las botellas. Esterilice durante 20 minutos a 121°C. Después de la esterilización, ajuste los tapones y guarde el agua de dilución en un lugar limpio hasta que se le necesite.

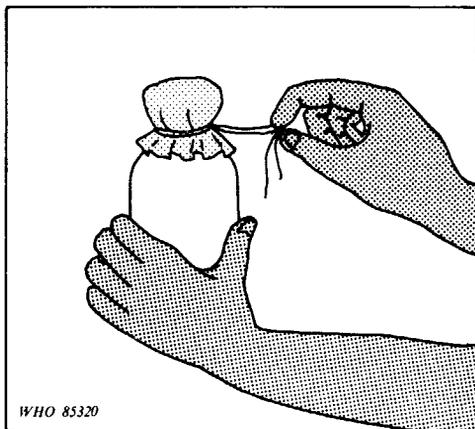
Un agua de dilución alternativa puede prepararse agregando cloruro de magnesio; esta mezcla ha demostrado ofrecer una tasa de recuperación ligeramente más alta. También puede utilizarse una solución estéril al 0.1% de peptona en agua destilada (pH final: 6.8). Finalmente, en los centros de salud se utiliza ampliamente para propósitos de dilución una solución salina fisiológica estéril (9 g de cloruro de sodio por litro).

5. Aplicación a un agua no contaminada

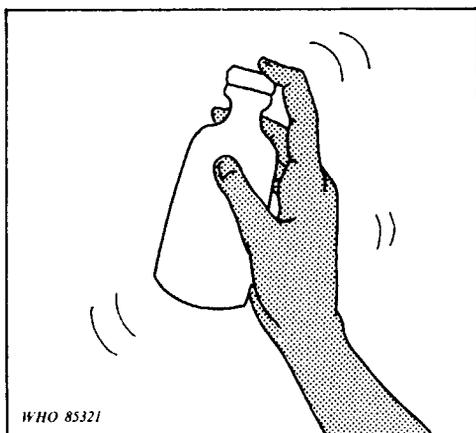
5.1 Procedimiento

El procedimiento que se debe usar para realizar pruebas en agua relativamente no contaminada, como el agua tratada de las plantas de abastecimiento, es el que se muestra a continuación.

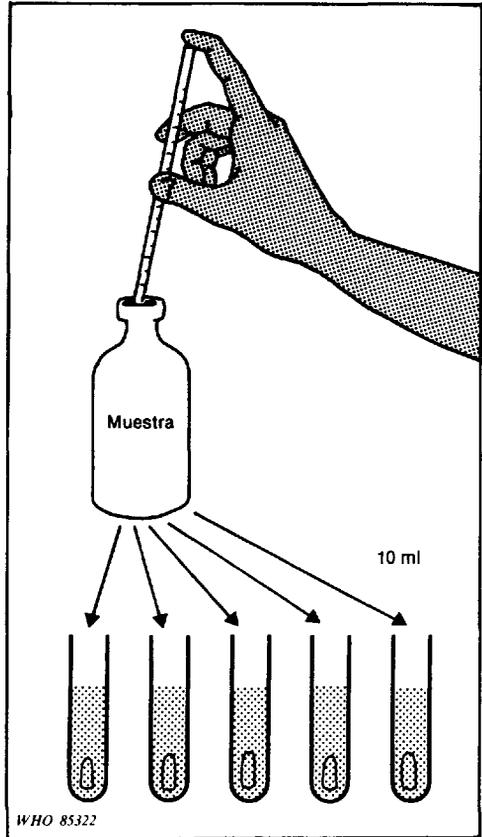
A. Retire la envoltura de papel del frasco con la muestra.



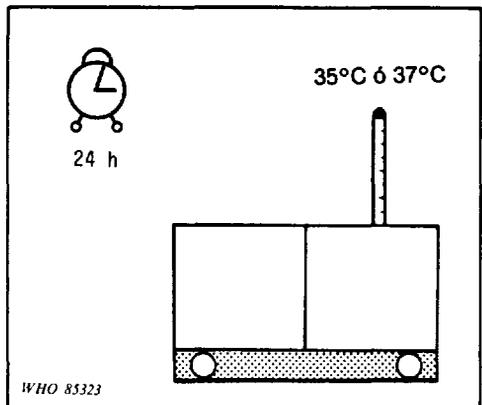
B. Con el tapón puesto, agite vigorosamente el frasco para conseguir una dispersión homogénea de las bacterias (si la botella está completamente llena, saque el tapón y deseche alrededor de 20-30 ml de agua; luego vuelva a colocar el tapón y agite. Esto asegura una mezcla total).



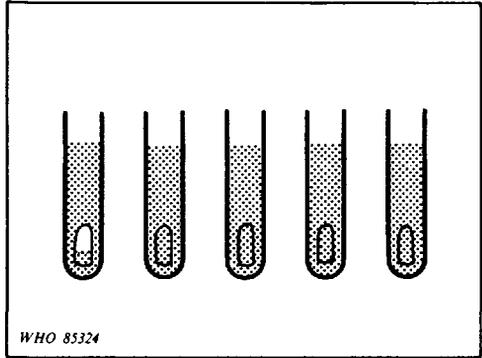
C. Con una pipeta estéril de 10 ml, inocule 10 ml de la muestra en cada uno de los cinco tubos con 10 ml de caldo presuntivo (doble potencia). Es aconsejable agitar los tubos suavemente para distribuir la muestra uniformemente a través de todo el medio.



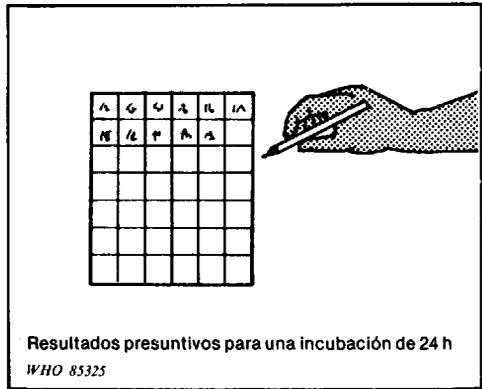
D. Incube los tubos a 35°C ó 37°C durante 24 horas.



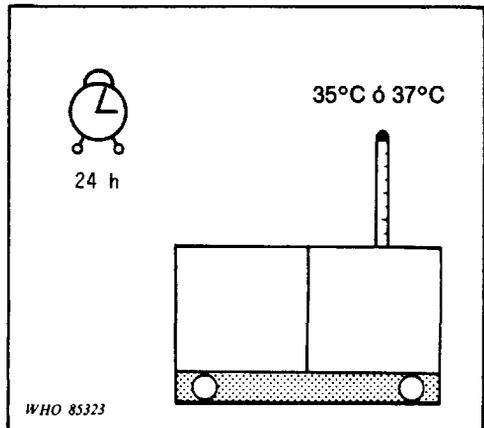
E. Al fin del período de incubación de 24 horas, observe cada tubo para detectar la presencia de gas. Si hay gas, podrá vérselo en el tubo de Durham; si este no fuera visible, agite suavemente el tubo. Si se observa cualquier tipo de efervescencia (corrientes de burbujas diminutas), el tubo debe ser considerado como positivo.



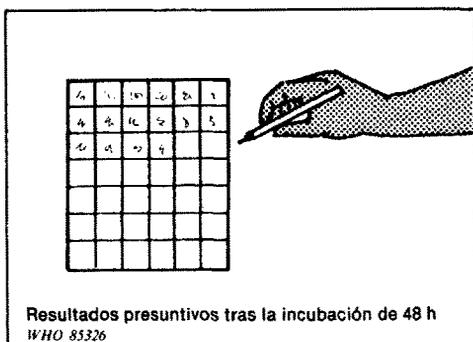
F. Anote el número de tubos positivos después de 24 horas de incubación en un cuadro.



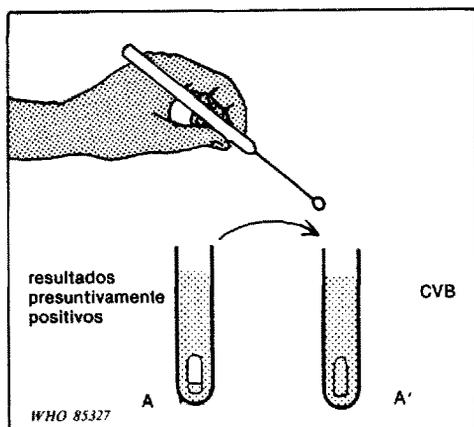
G. Vuelva a incubar los tubos negativos por un período adicional de 24 horas. Al final de este período, vuelva a observar los tubos para detectar la producción de gas como en el punto E. Se *presume* que la producción de gas al final de la incubación de 24 ó 48 horas sea causada por la presencia de organismos coliformes en la muestra.



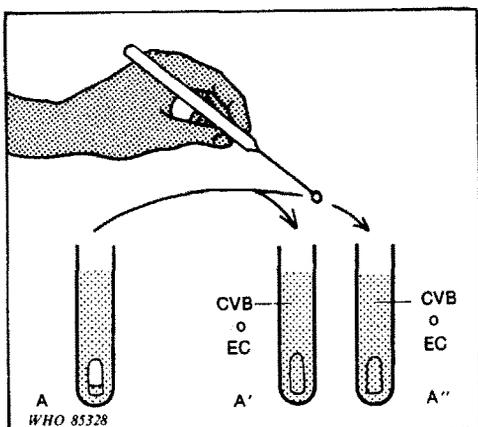
H. Anote en el cuadro el número de tubos positivos después de 48 horas.



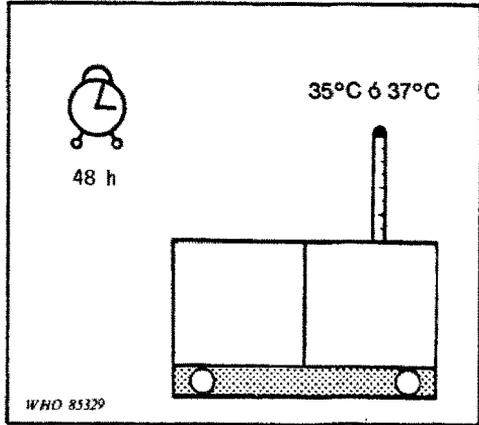
I. La prueba confirmativa debe llevarse a cabo al finalizar tanto la incubación de 24 horas como la de 48 horas. Utilizando una gaza, transfiera una o dos gotas de cada tubo presuntivamente positivo a su correspondiente tubo estéril de 10 ml para la confirmación; este tubo contendrá, por ejemplo, caldo CBV. Antes de cada transferencia, esterilice la gaza de inoculación sometiéndola al calor de una llama y luego dejándola enfriar.



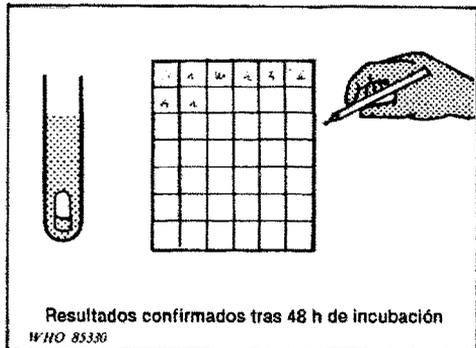
J. Si también se va a investigar la presencia de coliformes fecales, deben prepararse subcultivos en dos tubos con caldos de confirmación (por ejemplo CBV) por cada tubo presuntivamente positivo. En algunas áreas se prefiere el medio EC para la confirmación de la presencia de coliformes fecales.



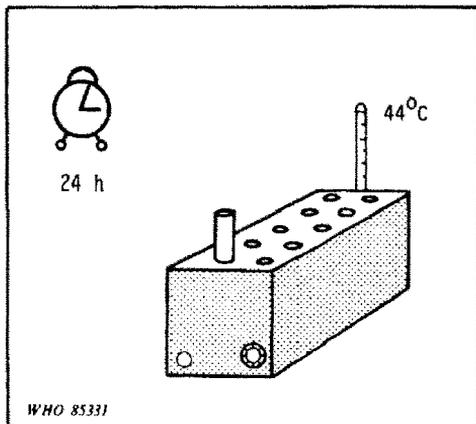
K. Para confirmar la presencia de coliformes, incube un tubo de subcultivo por cada tubo presuntivamente positivo durante 48 horas a 35°C ó 37°C .



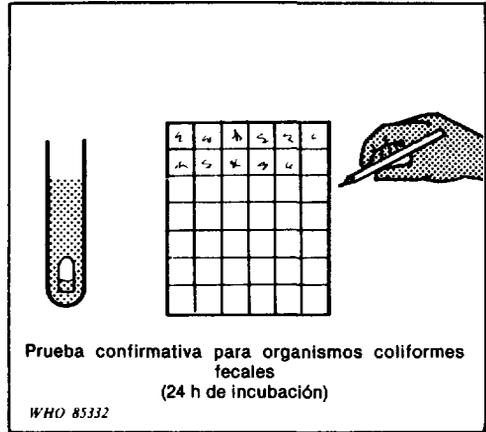
L. Revise los tubos al final del período de incubación de 48 horas; la presencia de gas confirma la presencia de coliformes en la muestra. Anote los resultados en el cuadro.



M. Para confirmar la presencia de coliformes fecales, incube un segundo tubo de subcultivo de cada tubo con resultado presuntivamente positivo durante 24 horas a $44 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.



N. Si al término de las 24 horas de incubación hay gas en los tubos, se confirma la presencia de coliformes fecales.



5.2 Determinación del NMP

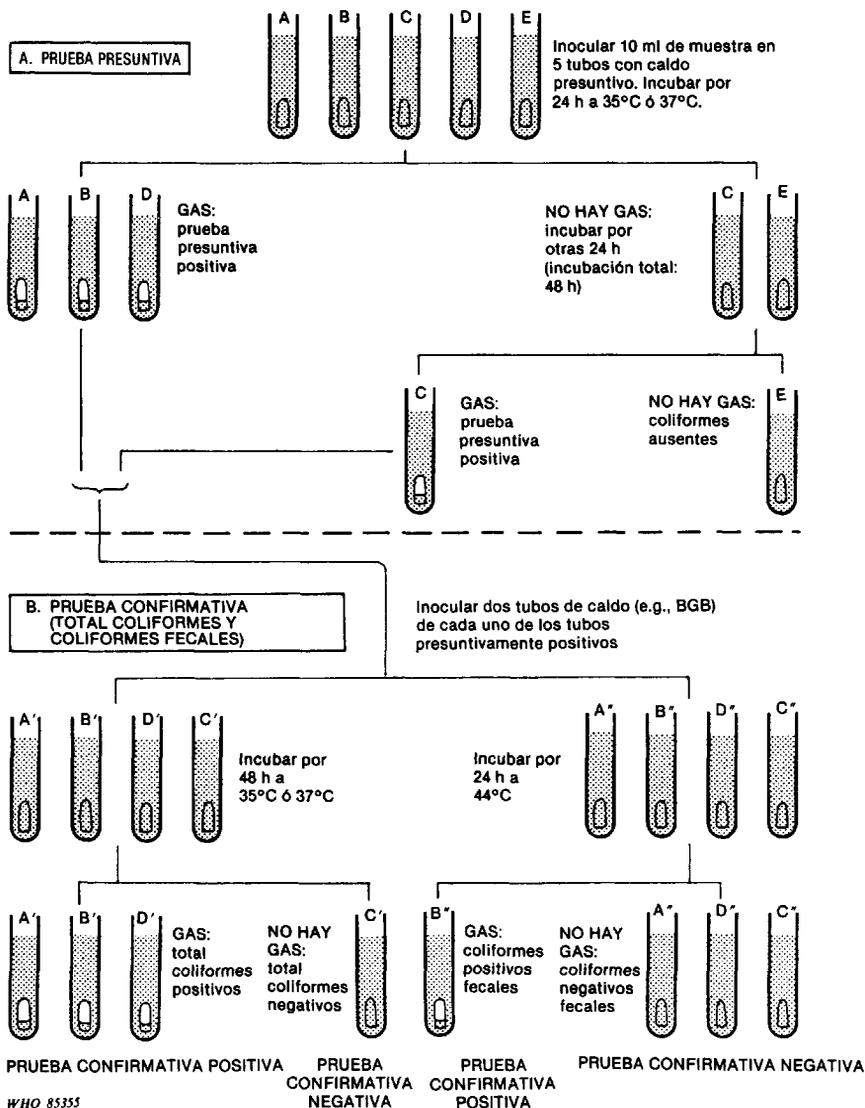
En el caso de agua tratada, cuando se inoculen cinco porciones de 10 ml, el NMP puede encontrarse confrontando los resultados de la prueba con los del Cuadro 1.

Cuadro 1. NMP para diferentes combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan cinco porciones de 10 ml

Número de tubos que dan resultado positivo de entre 5 de 10 ml cada uno	NMP
0	0
1	2.2
2	5.1
3	9.2
4	16.0
5	Indeterminado

En la Figura 2 se da un ejemplo sobre cómo interpretar los resultados de las pruebas. Se verá que se ha obtenido tres tubos positivos confirmados para el grupo coliforme total. Tomando el Cuadro 1, puede verse que el valor correspondiente del NMP es de 9.2 organismos coliformes por 100 ml de muestra. Con respecto a la prueba para coliformes fecales, solo hubo un tubo positivo confirmado. En consecuencia, el valor del NMP para este grupo será de 2.2 por 100 ml.

Figura 2. Ejemplo de determinación de coliformes totales y coliformes fecales

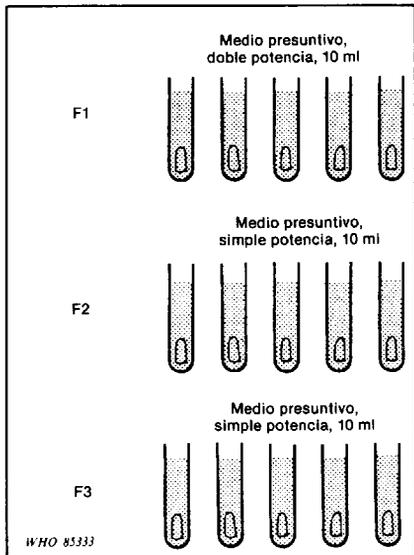


6. Aplicación al agua contaminada (método completo)

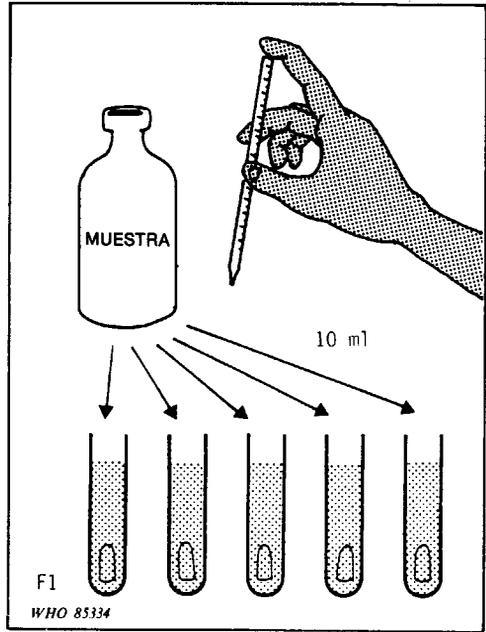
6.1 Procedimiento

A continuación se muestra el procedimiento a usarse para realizar las pruebas en agua que se espera esté contaminada, aun cuando haya sido sometida a tratamiento; el procedimiento es, en esencia, similar al descrito en la sección 5.1, con la diferencia de que se utilizan varios grados de dilución.

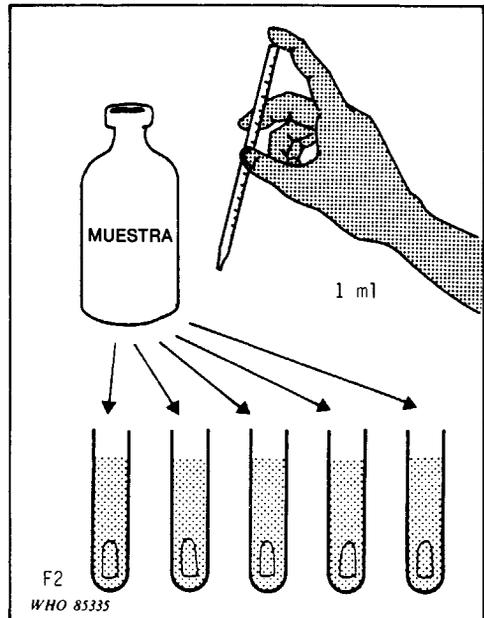
A. Ordene tres filas de cinco tubos, cada una en una gradilla para tubos de ensayo. Los tubos de la primera fila (F1) contienen 10 ml del medio presuntivo de doble potencia, mientras que los tubos en la segunda y tercera filas (F2, F3) contienen 10 ml de medio presuntivo de simple potencia.



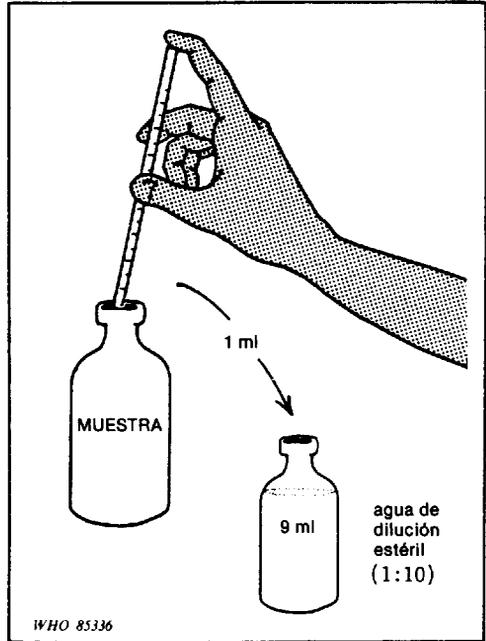
B. Con una pipeta estéril agregue 10 ml de muestra a cada uno de los cinco tubos en la fila F1.



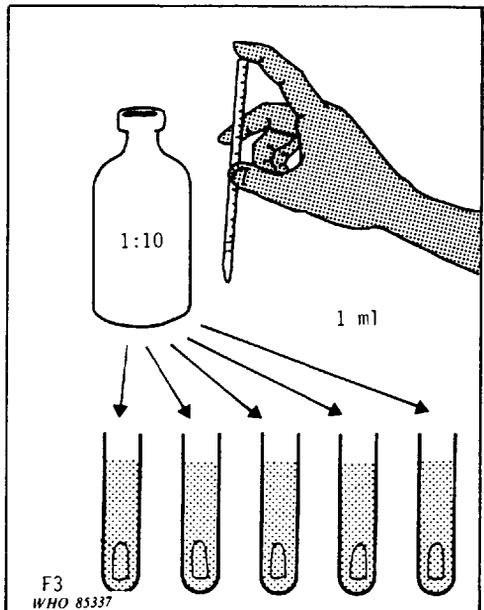
C. Con una pipeta estéril, agregue 1 ml de muestra a cada uno de los cinco tubos de la fila F2.



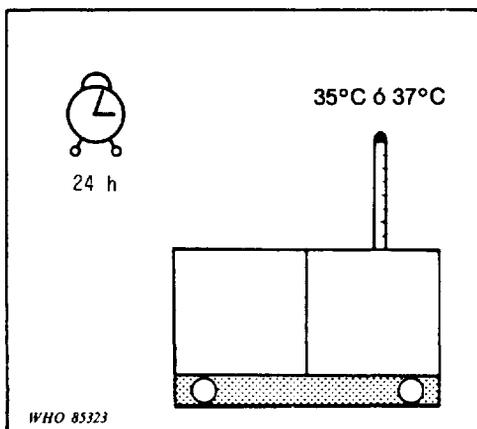
D. Prepare una dilución 1:10 de la muestra añadiendo 1 ml de muestra a 9 ml de agua de dilución (utilice una pipeta estéril de 1 ml). Vuelva a tapar el frasco que contiene ahora la muestra diluida y agítela vigorosamente.



E. Con otra pipeta estéril, agregue 1 ml de la dilución 1:10 a cada uno de los cinco tubos de la fila F3.



F. Después de agitar suavemente los tubos para mezclar el inóculo, ponga a incubar la gradilla con los 15 tubos a 35°C ó 37°C durante 24 horas. Luego, proceda de la misma manera que en el caso del agua *no contaminada*, a partir del punto 5.1E.



6.2 Determinación del NMP

El NMP se encuentra de manera similar a la descrita en la sección 5.2, pero, debido al gran número de tubos, debe utilizarse el Cuadro 2 que es algo más complicado.

El siguiente ejemplo muestra cómo se obtienen los resultados.

Supóngase que después de la confirmación de la presencia de coliformes totales se obtienen los siguientes resultados:

- 5 tubos positivos en la fila F1 (volumen de muestra inoculado, 10 ml);
- 3 tubos positivos en la fila F2 (volumen de muestra inoculado, 1 ml);
- 1 tubo positivo en la fila F3 (volumen de muestra inoculado, 0.1 ml).

Por lo tanto, los resultados pueden codificarse como 5-3-1, que representan el resultado de la *prueba confirmativa* para organismos coliformes. El Cuadro 2 indica que un resultado codificado 5-3-1 (5 × 10 ml positivos, 3 × 1 ml positivos, 1 × 0.1 ml positivos) da un valor de NMP de 110, es decir, que la muestra de agua contiene un número estimado de 110 organismos coliformes por 100 ml.

La prueba confirmativa para coliformes fecales se realiza transfiriendo una gaza de muestra desde cada uno de los tubos presuntivos positivos hasta un medio confirmatorio y dejando que incube a 44 0.5C durante 24 horas. Supongamos que esta prueba da un resultado codificado 4-3-0. El Cuadro 2, entonces, brinda un valor NMP de 27, es decir, 27 coliformes fecales por cada 100 ml de muestra.

A continuación, consideremos un ejemplo con agua altamente contaminada. El procedimiento descrito líneas arriba puede dar un resultado codificado de 5-5-5. Tal resultado no genera un valor de NMP definido. Cuando se sospecha de una contaminación tan fuerte, es usual inocular más de tres diluciones en series de progresión geométrica de 10. Estas series de diluciones de que se habla deben hacerse de tal manera que sea probable obtener un

resultado negativo por lo menos en el mayor grado de dilución inoculado. Si inicialmente se inoculan 5×1.0 ml, 5×0.1 ml, 5×0.01 ml y 5×0.001 ml (es decir, 4 diluciones) y se obtiene un código de resultados de la prueba confirmativa de 5-5-4-1, solo se utilizarán tres de estos resultados para obtener el valor NMP del Cuadro 2. Estos se seleccionarán tomando el volumen de muestra más pequeño en el que todos los tubos dan resultado positivo (en este caso, 0.1 ml) y los dos siguientes grados de mayor dilución. El resultado codificado de estos tres volúmenes se utiliza para obtener el valor NMP del Cuadro 2. En el ejemplo anterior, se escogería el resultado 5-4-1, que representa los volúmenes de 0.1, 0.01 y 0.001 ml de la muestra. El valor NMP obtenido del Cuadro 2 *deberá multiplicarse por 100* para obtener el NMP de esta muestra específica (ver más abajo) en el caso que estamos examinando el resultado es de 17,000 por cada 100 ml.

Cuadro 2. NMP para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan cinco porciones de 10 ml., cinco porciones de 1 ml y cinco porciones de 0.1 ml

Número de tubos que dan reacción positiva				Número de tubos que dan reacción positiva			
5 de 10 ml c/u	5 de 1 ml c/u	5 de 0.1 ml c/u	NMP	5 de 10 ml c/u	5 de 1 ml c/u	5 de 0.1 ml c/u	NMP
0	0	0	<2	4	2	1	26
0	0	1	2	4	3	0	27
0	1	0	2	4	3	1	33
0	2	0	4	4	4	0	34
1	0	0	2	5	0	0	23
1	0	1	4	5	0	1	31
1	1	0	4	5	0	2	43
1	1	1	6	5	1	0	33
1	2	0	6	5	1	1	46
2	0	0	5	5	1	2	63
2	0	1	7	5	2	0	49
2	1	0	7	5	2	1	70
2	1	1	9	5	2	2	94
2	2	0	9	5	3	0	79
2	3	0	12	5	3	1	109
3	0	0	8	5	3	2	141
3	0	1	11	5	3	3	175
3	1	0	11	5	4	0	130
3	1	1	14	5	4	1	172
3	2	0	14	5	4	2	221
3	2	1	17	5	4	3	278
3	3	0	17	5	4	4	345
4	0	0	13	5	5	0	240
4	0	1	17	5	5	1	348
4	1	0	17	5	5	2	542
4	1	1	21	5	5	3	918
4	1	2	26	5	5	4	1609
4	2	0	22	5	5	5	≥ 2400

En algunas ocasiones, el operario del laboratorio puede encontrar difícil determinar el factor de multiplicación que se debe usar para obtener el NMP

de la muestra a la que se ha aplicado la prueba. Una forma simple de determinar el NMP consiste en dividir el valor NMP obtenido del Cuadro 2 entre el volumen de muestra representado por el *número medio* en el código escogido. Por ejemplo, considérese un código escogido 5-2-0, en el cual el 2 representa un volumen de muestra de 0.01 ml (véase Cuadro 3). Según el Cuadro 2, el NMP para un código 5-2-0 es 49. Por lo tanto, el valor NMP para la muestra a la que se ha aplicado la prueba será de :

$$\frac{49}{0.01} = 49 \times 100 = 4900$$

En el Cuadro 3 se brindan ejemplos de los factores que se deben utilizar para multiplicar el valor NMP encontrado en el Cuadro 2 y así obtener el NMP apropiado para las diferentes diluciones.

7. Aplicación al agua contaminada (método "corto")

El procedimiento del método corto es virtualmente idéntico al descrito en la sección 6.1, siendo la única diferencia que, en vez de cinco tubos de cada volumen de muestra, se inoculan solo tres. Esto exige el uso de una tabla diferente (Cuadro 4) para determinar el NMP.

Cuadro 3. Ejemplos de factores de multiplicación para determinar el NMP para diferentes grados de dilución de la muestra

Ejemplo	Número de tubos con reacción positiva					Resultado codificado elegido	Factor de multiplicación del NMP
	5 de 1 ml c/u	5 de 0.1 ml c/u	5 de 0.01 ml c/u	5 de 0.001 ml c/u	5 de 0.0001 ml c/u		
1	5	5	2	0	0	5-2-0	100
2	5	5	4	1	0	5-4-1	100
3	5	3	0	0	0	5-3-0	10
4	5	5	5	3	1	5-3-1	1000
5	0	1	0	0	0	0-1-0	10

8. Selección de tubos para la prueba confirmativa

Todo análisis bacteriológico debe incluir siempre la prueba confirmativa. Si solo se someten a prueba cinco porciones de 10 ml la prueba confirmativa para coliformes totales y fecales debe llevarse a cabo en todos los tubos que muestren producción de gas. Sin embargo, si la inoculación involucra cinco (o tres^a) tubos por cada uno de más de tres volúmenes de muestra (por ejem-

^a En el método corto.

Cuadro 4. NMP para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan tres porciones de 10 ml, tres porciones de 1 ml y tres porciones de 0.1 ml (método corto)

Número de tubos que dan reacción positiva de			
3 de 10 ml	3 de 1 ml	3 de 0.1 ml	NMP
0	0	0	<3
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	1	9
2	0	1	14

plo, 10, 1.0, 0.1, 0.01 y 0.001 ml), no es necesario llevar a cabo pruebas de confirmación en todos los tubos positivos.

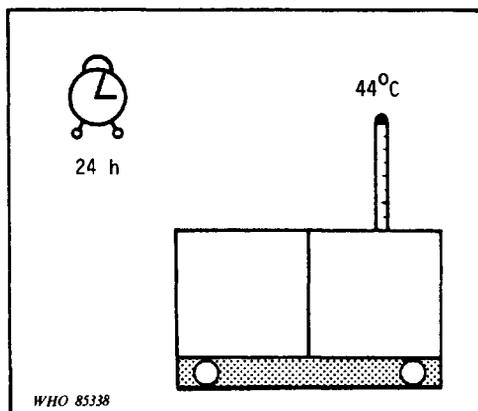
Si los cinco (tres) tubos de dos o más grados de dilución consecutivos son todos positivos, se debe seleccionar el grupo de tubos que represente el volumen de muestra más pequeño en el cual todos los tubos sean positivos. La prueba confirmativa deberá llevarse a cabo en *todos estos tubos* y en *todos los tubos positivos* que correspondan a los volúmenes menores siguientes. El siguiente ejemplo debe ayudar a ilustrar este procedimiento. Después de un período de incubación de 24 horas, cinco tubos con 10 ml, cinco con 1.0 ml, cuatro con 0.01 ml y uno con 0.001 ml dieron resultados positivos. Por lo tanto, la prueba confirmativa deberá llevarse a cabo en los tubos positivos inicialmente inoculados con 0.1 ml, 0.01 ml y 0.001 ml de la muestra.

9. Método directo para coliformes fecales

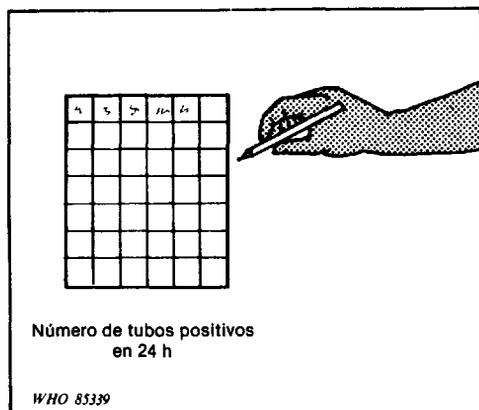
Si se están haciendo pruebas con agua no clorada de sistemas de abastecimiento en pequeñas comunidades, y solo interesa el número de bacterias coliformes fecales, se puede utilizar un método de tubos múltiples directo para coliformes fecales. Este método también se puede utilizar en los países en desarrollo o durante las investigaciones de campo si el espacio, el personal o las instalaciones de incubación son limitados. El método se basa en el procedimiento normal para el NMP en el cual se utiliza un caldo lactosado como medio presuntivo, pero los tubos se incuban directamente en un baño María a $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$, sin la prueba previa para coliformes totales a 35°C ó 37°C durante 24 horas.

El procedimiento es similar al descrito para el examen de agua contaminada, pero utiliza lactosa o caldo de MacConkey como medio presuntivo (véase sección 6.1). Prepare 15 tubos de muestras y medios, como se describe en la sección 6.1 A-E.

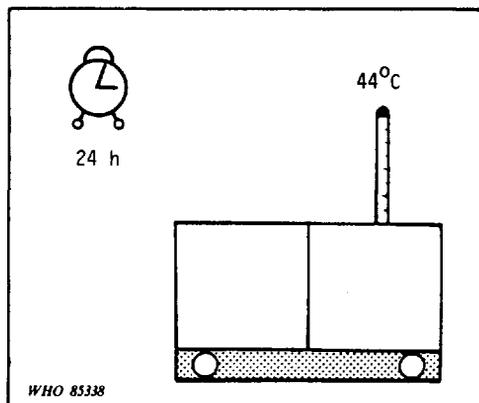
A. Después de agitar suavemente los tubos para mezclar el contenido, incube los 15 tubos a 44°C durante 24 horas.



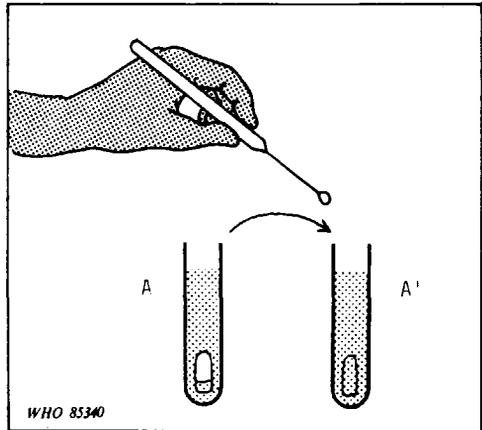
B. Observe cada tubo para detectar la presencia de gas y anote el número de tubos positivos luego de 24 horas en el cuadro respectivo.



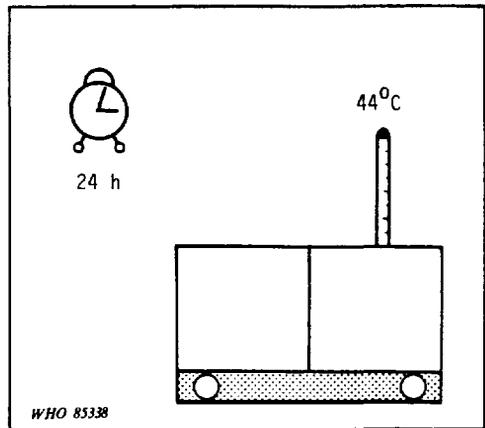
C. Los tubos negativos deberán incubarse nuevamente por otras 24 horas, luego de las cuales deberán ser observados para detectar la presencia de gas.



D. Confirme los resultados presuntivos después de 24 y 48 horas transfiriendo una gaza de caldo a un caldo confirmativo e incubándolo a 44°C durante 24 horas.



E. La presencia de coliformes fecales se confirma si se presenta gas en el cultivo confirmativo después de 24 horas a 44°C. Determine el NMP a partir del Cuadro 2.



10. Formularios de registro

El análisis de una muestra dada brindará varios resultados. El formulario diseñado para registrar estos resultados, si bien no debe ser complicado, debe ser completo. El formulario lleno debe contener información sobre el muestreo, que también debe servir para identificar las muestras, la información anotada en el formulario de envío de la muestra y la información sobre el análisis bacteriológico en sí. En la Figura 3 se muestra una alternativa de formulario integral. Una vez terminado el análisis, el laboratorio que está llevando a cabo el trabajo debe registrar los resultados obtenidos en un for-

Figura 4. Sugerencia de registro para los resultados del análisis bacteriológico

PROGRAMA DE CONTROL
DE CALIDAD DEL AGUA

ANALISIS
BACTERIOLOGICO
DEL AGUA

(Autoridad.....)

COMUNIDAD:

MUESTRA No.

PUNTO DE MUESTREO:

LUGAR:

FUENTE:

REMITENTE:

FECHA DE MUESTREO

--	--	--

HORA:

FECHA DE ANALISIS

--	--	--

HORA:

COLOR LIBRE RESIDUAL

mg/l

RESULTADOS

COLIFORMES TOTALES: / 100 ml

COLIFORMES FECALES: / 100 ml

AGUA BACTERIOLOGICAMENTE:

.....
Técnico laboratorista

BUENA — MALA

.....
Jefe

mulario unificado (registro); este debe seguir las recomendaciones sugeridas en el Capítulo 2. Este registro puede ser un informe muy simple, donde esté anotada la información de identificación de la muestra junto con el resultado del análisis y la clasificación apropiada del agua. En la Figura 4 se brinda un ejemplo de una hoja de registro de este tipo.

ANEXO 6

METODO DE LA MEMBRANA FILTRANTE

1. Fundamento

A diferencia del método de tubos múltiples, el método de filtración con membrana o método de la membrana filtrante (MF) brinda un recuento directo de los coliformes totales y fecales presentes en una muestra de agua determinada. El método se basa en la filtración de un volumen conocido a través de un filtro de membrana, hecha en base a algún compuesto de celulosa y con un diámetro de poros uniforme de 0.45 μ m; las bacterias son retenidas en la superficie de la membrana filtrante. Cuando la membrana que contiene las bacterias se incuba en un recipiente estéril, a una temperatura apropiada con un medio de cultivo selectivo diferencial, se desarrollan colonias características de coliformes totales y fecales, cuyo recuento se puede efectuar en forma directa. Las ventajas del método se describen en el Capítulo 5.

2. Volumen de la muestra de agua a ser filtrada

Como el área de filtración es relativamente pequeña, solo puede permitir el crecimiento de un número limitado de colonias. El número óptimo es entre 20 y 80 colonias, con un máximo de 200. Si se supera esta cifra, pueden desarrollarse colonias atípicas muy pequeñas, o desarrollarse colonias superpuestas, o puede inhibirse el crecimiento debido a la sobrepoblación. La elección del volumen de la muestra a filtrar dependerá del tipo de agua.

Como regla general, deben emplearse los siguientes volúmenes de filtración:

<i>Tipo de agua</i>	<i>Volumen de la muestra a filtrar (ml)</i>
Agua tratada de buena calidad	50-100
Agua potable no tratada	10-50
Agua superficial	1-10

Si no se conoce el origen de la muestra y su probable contenido bacteriano es incierto, deberán filtrarse diferentes volúmenes de agua que difieran entre sí por un factor de 10, con el fin de encontrar la gama de amplitud adecuada para el análisis. Si el volumen que se va a filtrar es menor de 10 ml, deberá colocarse por lo menos 20 ml de agua de dilución estéril en el embudo del filtro antes de empezar la filtración.

3. Equipo

Además del equipo básico y los utensilios de vidrio utilizados en el método TM (véase el Anexo 5), se necesitan los siguientes aparatos para llevar a cabo la técnica MF:

(a) *Aspirador de agua*, bomba de vacío eléctrica o cualquier dispositivo adecuado para producir un vacío parcial de por lo menos la mitad de la presión atmosférica.

(b) *Frasco Erlenmeyer de 1 litro (con brazo lateral)* equipado con un tubo de goma suficientemente grueso para que el tubo no se rompa cuando se aplique el vacío.

(c) *Soporte del filtro*, formado por una base o soporte poroso para el filtro, que puede montarse en el frasco Erlenmeyer mediante un tapón de goma, junto con un recipiente en la parte superior que pueda sujetarse al soporte poroso. Las dos partes del soporte del filtro deben ser envueltas en papel en forma separada y esterilizadas en la autoclave durante por lo menos 15 minutos a 121°C.

(d) *Discos o platillos Petri de vidrio o plástico*, de 60 × 15 mm (también pueden utilizarse latas para ungüentos del mismo tamaño).

(e) *Membranas filtrantes*, de 47-50 mm de diámetro, con un diámetro de poros de 0.45 µm. Son muy convenientes las membranas previamente esterilizadas y empaquetadas individualmente. Sin embargo, también se pueden utilizar membranas filtrantes no esterilizadas, las que deben ser envueltas en paquetes de papel en número adecuado (dependiendo del número de muestras de agua a ser analizadas); se les puede esterilizar en la autoclave y secar mediante un corte rápido del vapor.

(f) *Almohadillas absorbentes nutrientes*, que constan de discos de papel filtrante de aproximadamente 1 mm de espesor y tienen el mismo diámetro que las membranas filtrantes.

(g) *Pinzas*

(h) *Una lupa* con una amplificación de 4 a 5 para examinar y efectuar el recuento de las colonias en las membranas filtrantes.

4. Medios de cultivo y agua de dilución

Pueden utilizarse varios medios de cultivo para el examen de organismos coliformes mediante el método de la membrana filtrante. De estos, el agar de lactosa tergitol, agar de lactosa tergitol TTC y caldo de lactosa con sulfato de laurilo, pueden utilizarse para los organismos coliformes a 35°C ó 37°C y para los organismos coliformes fecales a 44°C. Los medios de tipo Endo solo deben utilizarse para el recuento de organismos coliformes a 35°C ó 37°C y el caldo MFC a 44°C para el recuento de coliformes fecales. Aunque todos estos medios dependen de la fermentación de la lactosa para la detección de los organismos coliformes presuntivos, las reacciones características varían según el medio. El característico brillo metálico de las colonias en los medios de tipo Endo depende de la formación de aldehído.

Aunque es posible preparar los medios a partir de sus ingredientes básicos,

esto puede resultar poco práctico para un laboratorio pequeño. Por lo tanto, se recomienda el uso de medios deshidratados. Los medios pueden prepararse en forma de caldo y utilizarseles junto con las almohadillas de absorción de nutrientes o en forma de placas de agar sólidas. Los caldos pueden ser solidificados mediante la adición de 1.2-1.5% de agar antes del hervido.

A manera de ejemplo se describe a continuación el procedimiento para preparar pequeñas cantidades de medios en el caso de M-Endo y caldo FM, y de caldo MFC.

(a) *M-Endo y caldo FM*

- (i) Disuelva 2.4 g de medio de cultivo deshidratado en 50 ml de agua destilada y agregue 1 ml de alcohol étílico al 95%.
- (ii) Esterilice calentando lentamente justo hasta el punto de ebullición.

El medio puede guardarse hasta por 4 días en el refrigerador; aproximadamente 50 ml de medio es suficiente para unas 25 pruebas.

(b) Caldo MFC

- (i) Disuelva 1.9 g del medio deshidratado en 50 ml de agua destilada con un 1.0% de ácido rosólico en una solución de hidróxido de sodio de 0.2 mol/litro.
- (ii) Caliente el medio hasta el punto de ebullición.
- (iii) Retire rápidamente del fuego y enfríelo por debajo de los 45°C.

El medio preparado no debe ser esterilizado por autoclave; puede ser guardado hasta por 4 días en el refrigerador.

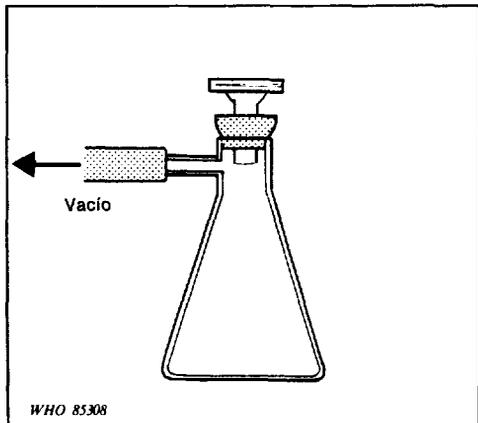
El agua de dilución debe prepararse según lo descrito en la sección 4.2.

5. Procedimientos

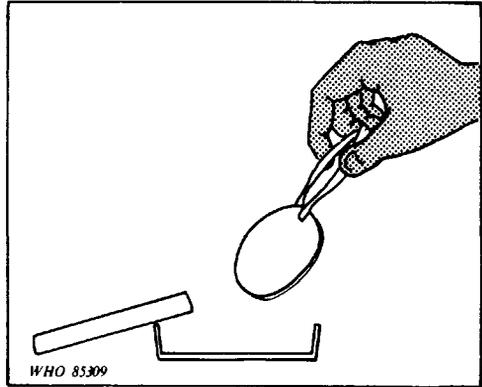
A continuación se describen procedimientos generales; sin embargo, se hace notar que existen diferentes tipos de unidades y equipos de filtración.

5.1 Determinación de coliformes totales

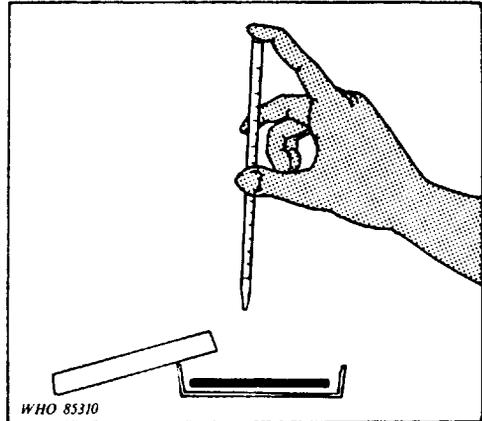
A. Conecte el frasco Erlenmeyer (con un brazo lateral) a la fuente de vacío (apagada) y colóque en su sitio el soporte poroso. Si se utiliza una bomba eléctrica, se aconseja poner un segundo frasco entre el Erlenmeyer y la fuente de vacío; este segundo frasco actúa como una trampa de agua y de esa manera protege a la bomba eléctrica.



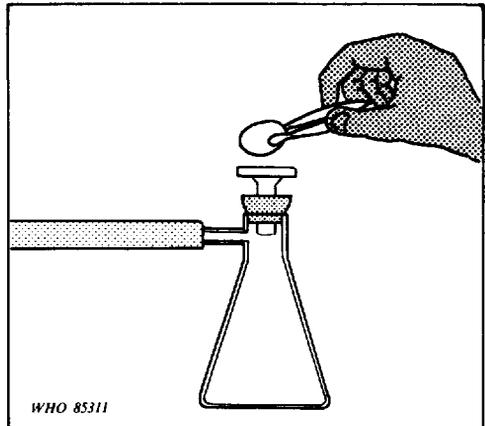
B. Abra un platillo Petri y coloque una almohadilla en él.



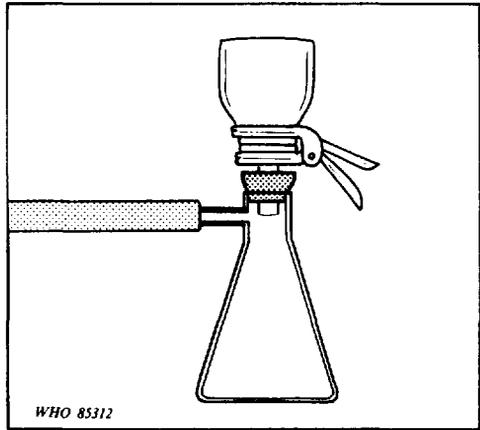
C. Con una pipeta estéril, agregue 2 ml de caldo selectivo para saturar la almohadilla.



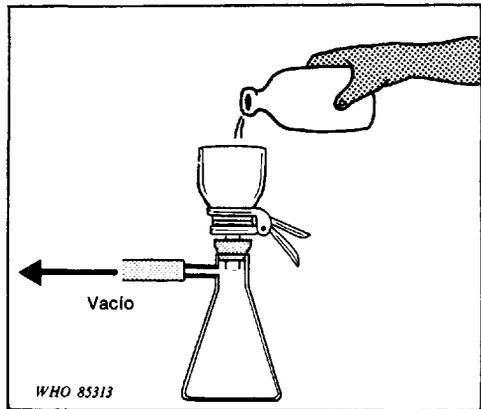
D. Ensamble la unidad de filtración colocando una membrana filtrante estéril sobre el soporte poroso, utilizando para ello pinzas previamente esterilizadas al fuego.



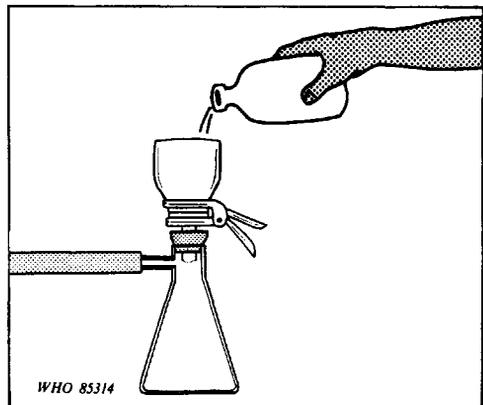
E. Coloque el recipiente superior en su sitio y asegúrelo con las abrazaderas especiales (el tipo de abrazaderas dependerá del tipo de equipo).



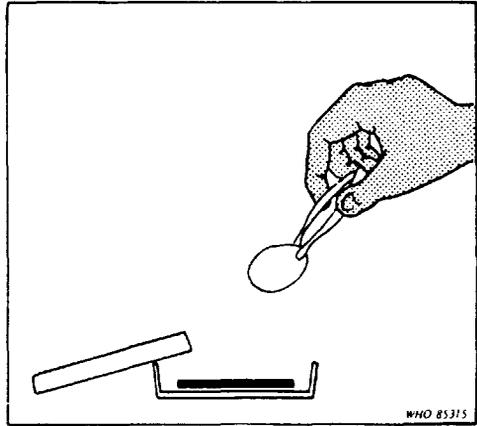
F. Vacíe en el recipiente superior el volumen de muestra elegido como óptimo según el tipo de agua. Si la muestra de prueba es de menos de 10 ml, se deberá añadir por lo menos 20 ml de agua de dilución estéril al recipiente superior antes de la filtración (véase sección 2 de este Anexo). Aplique el vacío.



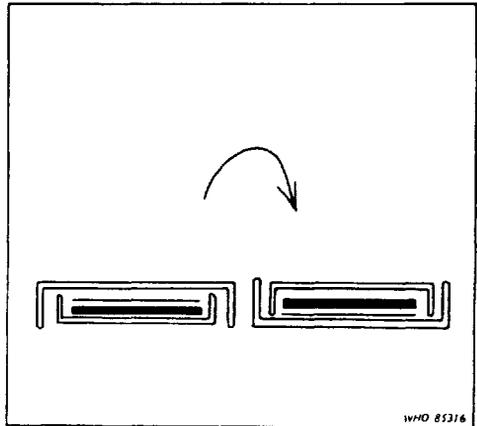
G. Después que la muestra haya pasado a través del filtro, desconecte el vacío y enjuague el recipiente con 20-30 ml de agua de dilución estéril. Enjuague otra vez después de que toda el agua del primer enjuague haya pasado a través del filtro.



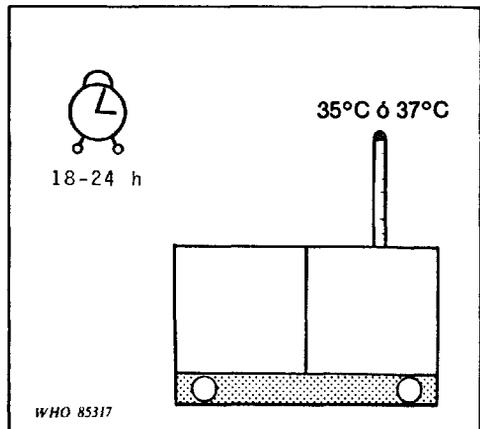
H. Desmonte la unidad de filtración y, utilizando las pinzas, coloque la membrana filtrante en el platillo Petri sobre la almohadilla, con el lado reticulado hacia arriba. Asegúrese de que no queden burbujas de aire atrapadas entre la almohadilla y la membrana filtrante.



I. Coloque el platillo Petri en posición invertida para la incubación.



J. Incube a 35°C ó 37°C durante 18-24 horas con un 100% de humedad (para garantizar esto, coloque un pedazo de algodón húmedo dentro de la incubadora). Si se están utilizando latas para ungüentos o platillos de plástico con tapas firmemente ajustadas, no es necesaria la humectación.



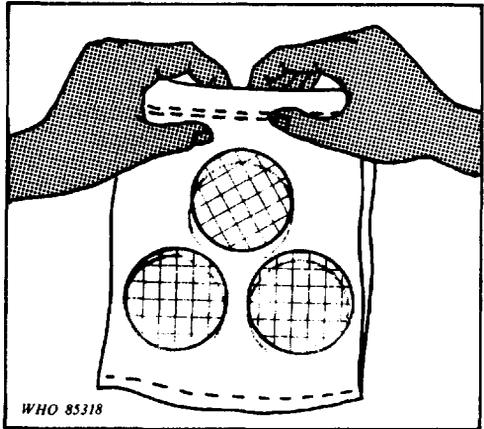
Las colonias de bacterias coliformes forman un medio de color rojo o rojo oscuro, con un brillo dorado verdoso o metálico en la superficie. Este brillo puede abarcar toda la colonia o aparecer solo en el centro de la misma. Las colonias de otro tipo no deben ser contadas. El recuento de las colonias puede hacerse con la ayuda de una lupa. El número de coliformes totales por 100 ml está dado por:

$$\text{Coliformes totales por 100 ml} = \frac{\text{No. de colonias coliformes contadas}}{\text{No. de ml de muestra filtrada}} \times 100$$

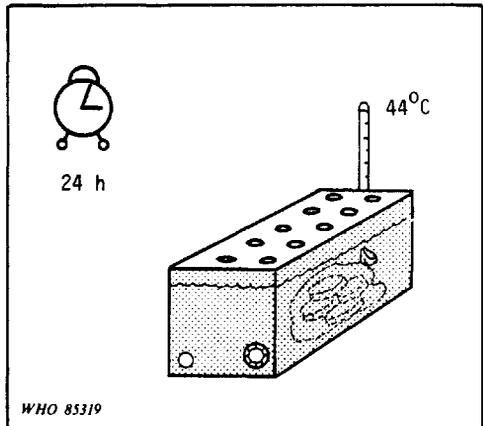
5.2 Determinación de coliformes fecales

El procedimiento para coliformes fecales es similar al usado para la determinación de coliformes totales. Filtre la muestra como se describió anteriormente y coloque la membrana filtrante sobre la almohadilla saturada con, por ejemplo, medio MFC.

A. Coloque los platillos Petri en una incubadora a $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$ durante 24 horas con 100% de humedad. Un método alternativo puede ser colocar los platillos Petri sellados o con tapas firmemente ajustadas en bolsas plásticas impermeables para la incubación.



B. Sumerja las bolsas en baño María, manteniéndolas a $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Las bolsas de plástico deben estar debajo de la superficie del agua durante todo el periodo de incubación. Ello puede lograrse utilizando un peso adecuado, por ejemplo una gralla o soporte de metal.



Las colonias de las bacterias coliformes fecales son de color azul. Las colonias de coliformes no fecales toman un color gris o crema. Se puede hacer el recuento de las colonias con la ayuda de una lupa. Finalmente, el número de coliformes fecales por 100 ml está dado por:

$$\text{Coliformes fecales por 100 ml} = \frac{\text{No. de colonias de coliformes fecales contadas}}{\text{No. de ml de muestra filtrada}} \times 100$$

ANEXO 7

DETERMINACION DEL CLORO LIBRE RESIDUAL

Pueden usarse dos procedimientos para determinar el cloro libre residual: uno se basa en un comparador visual comercial y el otro comprende la inspección visual y la comparación del color que presenta el agua en los tubos de ensayo. Se cuenta con dos reactivos diferentes para esto: N,N dietilparafenilenediamina (DPD) y ortotolidina (OT); el último tiene la desventaja de ser carcinógeno y, si llegara a usarse, habrá que manipularlo con extremo cuidado.

También se brinda aquí detalles sobre un método basado en el uso de almidón y yoduro de potasio. Sin embargo, este método no es específico para el cloro libre residual y, por lo tanto, puede brindar falsos resultados positivos. A pesar de esta limitación, se le ha incluido debido a su amplio uso en muchos países.

1. Técnica del comparador visual comercial

1.1 Equipo

Los comparadores comerciales son de dos tipos básicos: (i) del tipo disco, con una rueda de pequeños vidrios coloreados; y (ii) del tipo dispositivo con patrones líquidos en ampolletas de vidrio. Sin embargo, ambos tienen los mismos componentes: una caja con un lente ocular en la parte frontal y dos celdas; el conjunto está dispuesto de tal manera que ambas celdas están en el campo de visión del lente ocular.

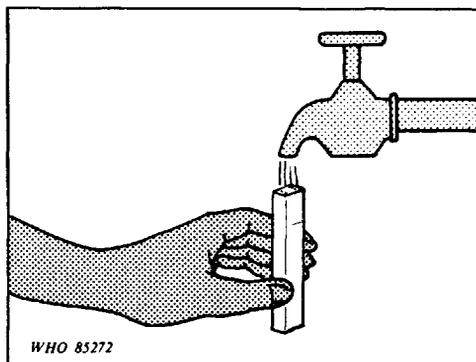
Una celda, que contenga una muestra de agua sin los reactivos, se coloca en línea con los vidrios coloreados giratorios o con las ampolletas que contienen los patrones líquidos. La muestra de agua con el reactivo se coloca en otra celda. Si existe cloro libre presente, se desarrollará un color. La concentración de cloro se estima comparando los colores de ambas celdas según se ven a través del lente ocular. Cada color del disco o ampolleta corresponde a cierta cantidad de cloro en el agua; para cada uno de los reactivos especificados, se necesitan diferentes discos o ampolletas de calibración.

1.2 Reactivos

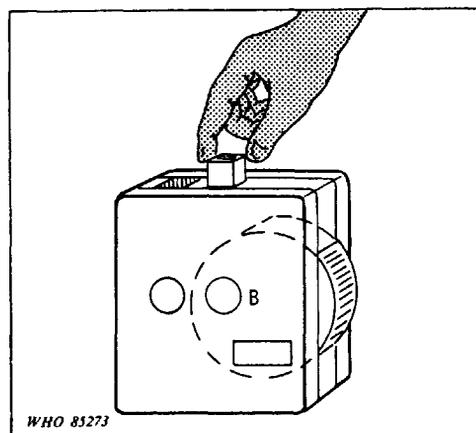
Como la mayoría de comparadores están hechos para usarlos con los reactivos del fabricante, debe tenerse cuidado de mantener una buena cantidad de estos. Esta es una desventaja, pues implica una dependencia del proveedor local y, en algunas ocasiones, pueden surgir problemas de importación. Por otro lado, una ventaja de la técnica consiste en que no es necesario preparar soluciones para patrones de color, lo que hace que sea muy fácil efectuar el procedimiento de comparación.

1.3 Determinación del cloro libre

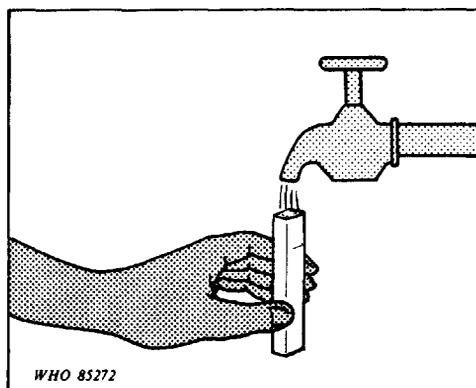
A. Enjuague una celda del comparador tres veces y luego llénela con la muestra de agua hasta la señal respectiva.



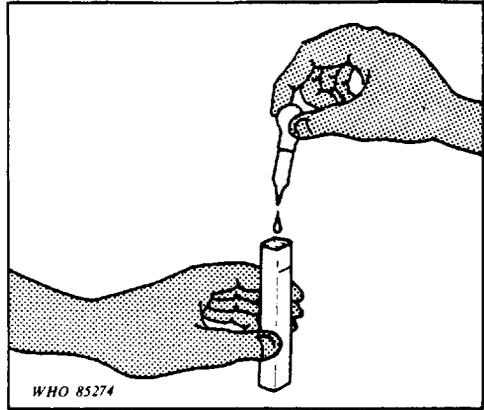
B. Coloque la celda en el portaceldas del comparador, que está alineado con los patrones coloreados (B).



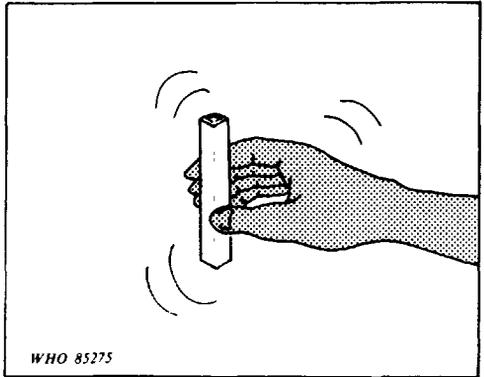
C. Enjuague la segunda celda y llénela con la misma agua.



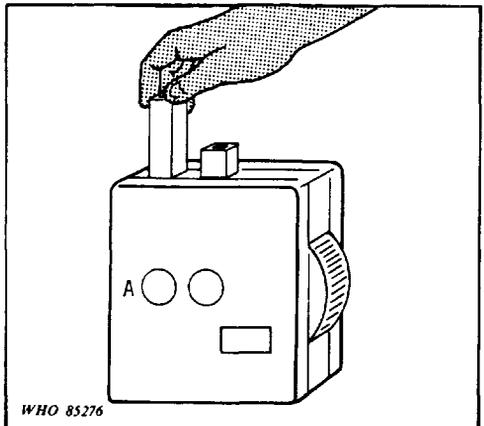
D. Añada el reactivo en la segunda celda según las instrucciones del fabricante.



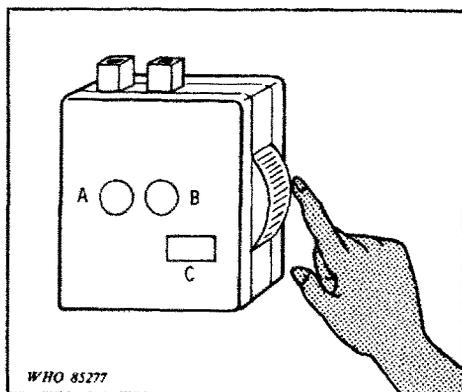
E. Agite la celda (durante no más de 3-5 segundos) para mezclar el reactivo.



F. Coloque la celda en el comparador.



G. Manteniendo el comparador de frente a la luz natural, gire el disco hasta que el color de uno de los patrones (B) sea el mismo que el que ha desarrollado el reactivo (A). Inmediatamente (es decir, en menos de 20 segundos), lea en C el valor de cloro libre en mg/litro. También es ventajoso enfriar la muestra hasta aproximadamente 1°C (véase el Capítulo 6).



2. Técnica con tubos de ensayo

La técnica clásica de tubos de ensayo supone el uso de tubos Nessler. Sin embargo, en el campo se pueden emplear tubos de ensayo comunes. El método se basa en la comparación visual entre el color que se desarrolla en un tubo al cual se le han agregado reactivos y el color de soluciones tipo previamente preparadas, contenidas en tubos de ensayo sellados.

Como la mayoría de las aguas potables se cloran para tener una concentración final de cloro residual menor a 1 mg/litro, los patrones permanentes de color son preparados solo para cubrir una gama de 0.0-1.0 mg/litro. Al igual que con la técnica del comparador comercial, la rapidez de la determinación (menos de 20 segundos) ayudará a evitar que el reactivo actúe sobre el cloro combinado que pueda encontrarse presente y de esta manera se reducirá el riesgo de obtener valores de cloro libre equivocadamente elevados. El enfriamiento de la muestra hasta aproximadamente 1°C también minimiza el error provocado por la presencia de cloro combinado (véase el Capítulo 6).

La aplicación de la técnica de tubos de ensayo requiere que un laboratorio local o regional prepare los patrones de color y los reactivos. El equipo necesario, los reactivos y el procedimiento se describen en los textos pertinentes sobre métodos de análisis (véase la Bibliografía).

3. Método de almidón y yoduro de potasio

3.1 Equipo

Se requiere el siguiente equipo:

- un recipiente cilíndrico de 100 ml
- una pipeta cuentagotas.

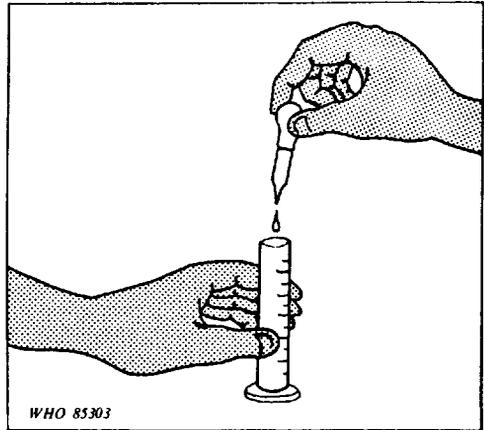
3.2 Reactivo

Disuelva 2 g de almidón soluble en 100 ml de agua destilada. Hierva la solución y déjala enfriar a temperatura ambiente. Agregue 8 g de yoduro de

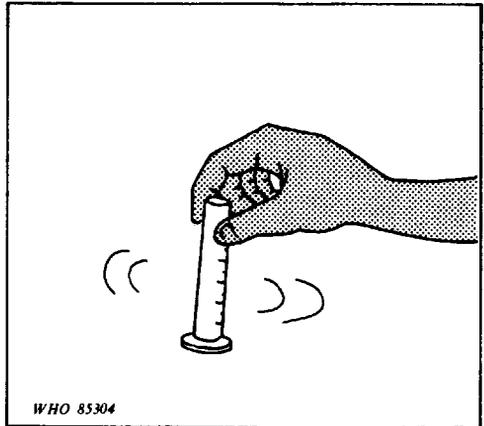
potasio y agite la mezcla hasta que esté completamente disuelta. Guarde la solución en un frasco de vidrio marrón. Si se agregan 2 ó 3 gotas de cloroformo (o formaldehído), la solución permanecerá estable durante 2-3 semanas.

3.3 Determinación del cloro residual

A. Agregue 3-6 gotas de la solución de almidón y yoduro a 100 ml de la muestra de agua en un cilindro de medición.



B. Mezcle completamente.



El contenido de cloro residual de la muestra de agua se calcula a partir del color obtenido, de la siguiente manera:

<i>Color</i>	<i>Color residual (mg/litro)</i>
Incoloro	0.0
Celeste	0.1-0.3
Azul oscuro	>0.3

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, *Standard methods for the examination of water and waste-water* (Métodos unificados para el examen del agua y aguas residuales), 15a. ed., Washington, DC, APHA, 1980.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, *Simplified procedures for water examination* (Procedimientos simplificados para el examen del agua), Denver, AWWA, 1975.
- Guidelines for drinking water quality. Volume 1, Recommendations* (Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Recomendaciones), Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1983. (Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud, 1985).
- Guidelines for drinking water quality. Volume 2, Health criteria and other supporting information* (Guías para la calidad del agua potable. Volumen 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base), Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1984. (Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud, 1987).
- HUTTON, L. G. *Field testing of water in developing countries* (Pruebas de campo para el agua en países en vías de desarrollo), Medmenham, Water Research Centre, 1983.
- International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation. *Small community water supplies—technology of small water supply systems in developing countries* (Sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades - tecnología de sistemas pequeños de abastecimiento de agua en países en vías de desarrollo), Rijswijk, 1981.
- Manual of basic techniques for a health laboratory* (Manual de técnicas básicas para un laboratorio sanitario), Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1980.
- RAJAGOPALAN, S. Y SHIFFMAN, M. A. *Guide to simple sanitary measures for the control of enteric diseases* (Guía para mediciones sanitarias simples para el control de enfermedades entéricas), Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1974.
- Surveillance of drinking water quality* (Vigilancia de la calidad del agua potable), Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1976 (Monograph Series, No. 63).
- SUESS, M. J., ed. *Examination of water for pollution control—a reference handbook* (Examen del agua para el control de la contaminación—manual de referencia), Oxford, Pergamon Press, 1982.
- WAGNER, E. G. y LANOIX, J. N. *Water supply for rural areas and small communities* (Abastecimiento de agua para zonas rurales y pequeñas comunidades), Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1959 (Monograph Series, No. 42).