A photograph of a woman in a light blue shirt and dark skirt carrying a young child on her back. They are standing next to a concrete water tap structure with a red bucket. The background shows a dry, rural landscape with a dirt path and some vegetation.

AGUA POTABLE PARA POBLACIONES RURALES

sistemas de
abastecimiento
por gravedad
sin tratamiento

Roger Agüero Pittman



INDICE

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

1.	ESTUDIO DE CAMPO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	
1.1	INFORMACIÓN SOCIAL	
	A) Población	9
	B) Nivel de organización de la población	10
	C) Actividad económica	10
1.2	INFORMACIÓN TÉCNICA	
	A) Investigación de la fuente	11
	B) Topografía	12
	C) Tipo de suelo	16
	D) Clima	16
1.3	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	17
2.	POBLACIÓN DE DISEÑO Y DEMANDA DE AGUA	
2.1	POBLACIÓN FUTURA	
	A) Período de diseño	19
	B) Métodos de cálculo	20
2.2	DEMANDA DE AGUA	
	A) Factores que afectan el consumo	23
	B) Demanda de dotaciones	23
	C) Variaciones periódicas	24
3.	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	27
3.1	TIPOS DE FUENTES DE AGUA	
	A) Aguas de lluvia	27
	B) Aguas superficiales	27
	C) Aguas subterráneas	28
3.2	SELECCION DEL TIPO DE FUENTE	
	A) Manantiales	28
3.3	CANTIDAD DE AGUA	
	A) Método volumétrico	30
	B) Método de velocidad - área	31
3.4	CALIDAD DE AGUA	32
3.5	ASPECTOS LEGALES	36

4.	CAMARA DE CAPTACIÓN	37
4.1	TIPOS DE CAPTACIÓN	37
4.2	DISEÑO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO	
	A) Captación de un manantial de ladera y concentrado	39
	B) Captación de un manantial de fondo y concentrado	47
4.3	DISEÑO ESTRUCTURAL	50
5.	LÍNEA DE CONDUCCIÓN	53
5.1	CRITERIOS DE DISEÑO	
	A) Carga disponible	53
	B) Gasto de diseño	53
	C) Clases de tubería	54
	D) Diámetros	55
	E) Estructuras complementarias	55
5.2	LÍNEA DE GRADIENTE HIDRÁULICA	56
5.3	PÉRDIDA DE CARGA	
	A) Pérdida de carga unitaria	57
	B) Pérdida de carga por tramo	59
5.4	PRESION	61
5.5	COMBINACIÓN DE TUBERÍAS	63
5.6	PERFILES EN "U"	71
5.7	DISEÑO HIDRÁULICO DE LA CÁMARA ROMPE PRESIÓN	72
6.	RESERVORIO DE ALMACENAMIENTO	77
6.1	CONSIDERACIONES BÁSICAS	
	A) Capacidad del reservorio	77
	B) Tipos de reservorios	78
	C) Ubicación del reservorio	78
6.2	CASETA DE VÁLVULAS	
	A) Tubería de llegada	78
	B) Tubería de salida	79
	C) Tubería de limpia	79
	D) Tubería de rebose	79
	E) By-pass	
6.3	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL RESERVORIO	80
6.4	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO	
	A) Cálculo de momentos y espesor	82
	B) Distribución de la armadura	87
	C) Chequeo por esfuerzo cortante y adherencia	88
7.	RED DE DISTRIBUCIÓN	93
7.1	CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO	93
7.2	TIPOS DE REDES	
	A) Sistema abierto o ramificado	94
	B) Sistema cerrado	97
7.3	CONEXIONES DE SERVICIO	114

8.	PRESENTACIÓN DE PLANOS Y EXPEDIENTE TÉCNICO	117
8.1	PLANOS	117
8.2	EXPEDIENTE TÉCNICO	118

ANEXOS

A.	CAPTACIONES ESPECIALES	
1.	Diseño de una captación con instalación de hipoclorador	123
2.	Diseño de una captación en un manantial de fondo y difuso	125
B.	ESTRUCTURAS DE ALBAÑILERÍA	132
C.	RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN Y PRUEBA HIDRAÚLICA DE TUBERÍAS	134
1.	Instalación de tuberías	134
2.	Prueba hidráulica	135
D.	DESINFECCIÓN DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE	136
E.	HIPOCLORADOR DE FLUJO DIFUSIÓN	138
F.	MORTERO Y CONCRETO	139
1.	Mortero	139
2.	Concreto	140
G.	ENCOFRADOS, RECUBRIMIENTOS Y PRUEBAS DE FUGAS	142
1.	Encofrados	142
2.	Recubrimientos	142
3.	Pruebas de fugas	142
H.	RENDIMIENTO DE PEGAMENTO. PESO DE TUBERÍAS Y CARACTERÍSTICAS DE VARILLAS DE REFUERZO	143
I.	PROGRAMAS EN BASIC	146
J.	FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE AGUA POTABLE	159

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 3

FUENTES DE ABASTECIMIENTO

Las fuentes de agua constituyen el elemento primordial en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable y antes de dar cualquier paso es necesario definir su ubicación, tipo, cantidad y calidad. De acuerdo a la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento así como a la topografía del terreno, se consideran dos tipos de sistemas: los de gravedad y los de bombeo.

En los sistemas de agua potable por gravedad, la fuente de agua debe estar ubicada en la parte alta de la población para que el agua fluya a través de tuberías, usando sólo la fuerza de la gravedad. En los sistemas de agua potable por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento ubicados en elevaciones superiores al centro poblado.

Para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, es importante seleccionar una fuente adecuada o una combinación de fuentes para abastecer de agua en cantidad suficiente a la población. De acuerdo a la forma de abastecimiento se consideran tres tipos principales de fuente: aguas de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas.

En el presente capítulo se desarrollan los tipos, selección, cantidad y calidad de fuentes de agua.

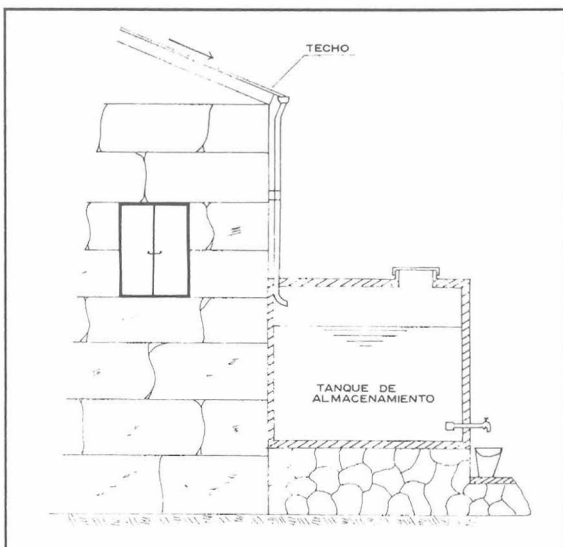


Figura 3.1 : Captación de agua de lluvia

3.1 TIPOS DE FUENTES DE AGUA

A) AGUA DE LLUVIA

La captación de agua de lluvia se emplea en aquellos casos en los que no es posible obtener aguas superficiales y subterráneas de buena calidad y cuando el régimen de lluvias sea importante. Para ello se utilizan los techos de las casas o algunas superficies impermeables para captar el agua y conducirla a sistemas cuya capacidad depende del gasto requerido y del régimen pluviométrico. En la Figura 3.1 se muestra la captación del agua de lluvia mediante el techo de una vivienda.

B) AGUAS SUPERFICIALES

Las aguas superficiales están constituidas por los arroyos, ríos, lagos, etc. que discurren natu-

ralmente en la superficie terrestre. Estas fuentes no son tan deseables, especialmente si existen zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba. Sin embargo a veces no existe otra fuente alternativa en la comunidad, siendo necesario para su utilización, contar con información detallada y completa que permita visualizar su estado sanitario, caudales disponibles y calidad de agua (ver Figura 3.2).

C) AGUAS SUBTERRÁNEAS

Parte de la precipitación en la cuenca se infiltra en el suelo hasta la zona de saturación, formando así las aguas subterráneas. La explotación de éstas dependerá de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero.

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos (excavados y tubulares). En la Figura 3.3 se observa una de las muchas formas de aprovechamiento del agua subterránea con fines de consumo humano.

3.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE FUENTE

En la mayoría de poblaciones rurales de nuestro país, existen dos tipos de fuentes de agua: superficial y subterránea. La primera representada por las quebradas, riachuelos y ríos, que generalmente conduce agua contaminada con la presencia de sedimentos y residuos orgánicos; siendo necesario plantear para su captación un sistema de tratamiento, que implica la construcción de obras civiles como bocatomas, desarenadores, cámaras de filtros e instalación de sistemas de cloración. Plantear dicha alternativa representa un costo elevado y en la mayoría de centros poblados rurales del país esta propuesta no tiene resultados satisfactorios debido principalmente al mantenimiento que requiere el sistema.

La segunda alternativa representada por manantiales localizados en la parte alta de la población, generalmente tiene agua de buena calidad, y es el tipo de fuente considerada en los sistemas de abastecimiento de agua potable por gravedad sin tratamiento. Esta alternativa será desarrollada en el presente capítulo.

A) MANANTIALES

Se puede definir un manantial como un lugar donde se produce un afloramiento natural de agua subterránea. El agua del manantial fluye por lo general a través de una formación de estratos con grava, arena o roca fisurada. En los lugares donde existen estratos impermeables, éstos bloquean el

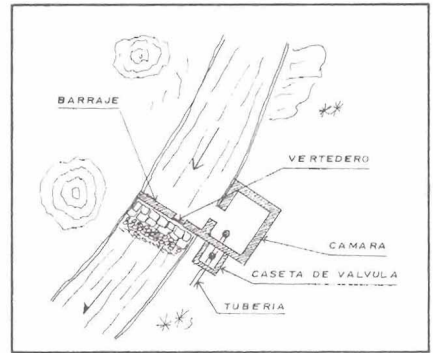


Figura 3.2 : Captación de agua superficial

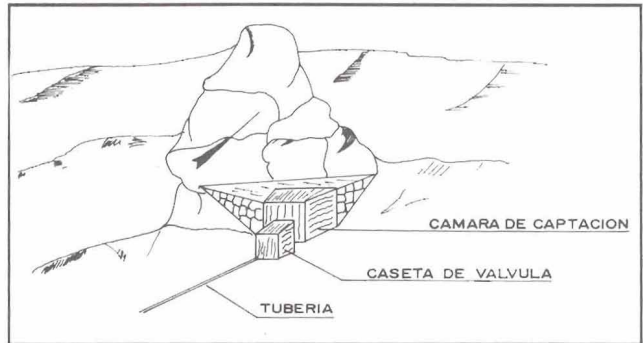


Figura 3.3 : Captación de agua subterránea (manantial)

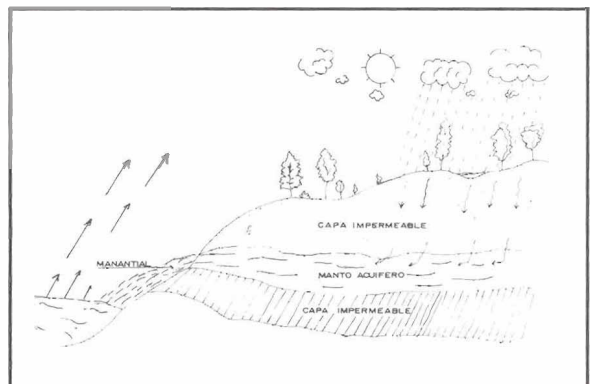


Figura 3.4 : Recarga del manantial

flujo subterráneo del agua y permiten que aflore a la superficie. En la Figura 3.4 se observa el proceso de recarga del manantial.

El agua del manantial es pura y, por lo general, se la puede usar sin tratamiento, a condición de que el manantial esté adecuadamente protegido con una estructura que impida la contaminación del agua. Se debe asegurar que el agua provenga realmente de un acuífero y que no se trate de agua de un arroyo que se ha sumergido a corta distancia.

En el país, el Ministerio de Salud, clasifica los manantiales por su ubicación y su afloramiento. De acuerdo a lo primero, pueden ser de ladera o de fondo; y de acuerdo a lo segundo, de afloramiento concentrado o difuso.

Los manantiales generalmente se localizan en las laderas de las colinas y los valles ribereños. En los de ladera el agua aflora en forma horizontal; mientras que en los de fondo el agua aflora en forma ascendente hacia la superficie. Para ambos casos, si el afloramiento es por un solo punto y sobre un área pequeña, es un manantial concentrado y cuando aflora el agua por varios puntos en un área mayor, es un manantial difuso, tal como puede apreciarse en la Figura 3.5.

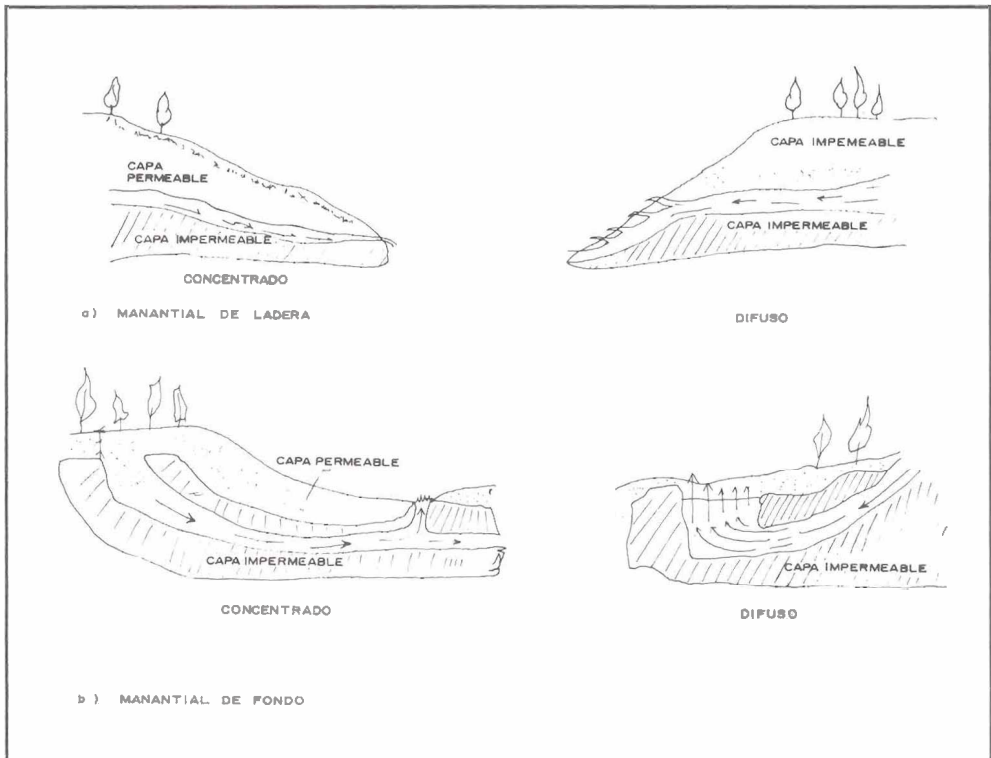


Figura 3.5 : Tipos de manantiales

3.3 CANTIDAD DE AGUA

La mayoría de sistemas de abastecimientos de agua potable en las poblaciones rurales de nuestro país, tiene como fuente los manantiales. La carencia de registros hidrológicos nos obliga a realizar una concienzuda investigación de las fuentes. Lo ideal sería que los aforos se efectuaran en la temporada crítica de rendimientos que corresponde a los meses de estiaje y lluvias, con la finalidad de conocer los caudales mínimos y máximos. El valor del caudal mínimo debe ser mayor que el consumo máximo diario (Qmd) con la finalidad de cubrir la demanda de agua de la población futura.

Se recomienda preguntar a los pobladores de mayor edad acerca del comportamiento y las variaciones de caudal que pueden existir en el manantial, ya que ellos conocen con mayor certeza si la fuente de agua se seca o no.

Existen varios métodos para determinar el caudal de agua y los más utilizados en los proyectos de abastecimiento de agua potable en zonas rurales, son los métodos volumétrico y de velocidad-área. El primero es utilizado para calcular caudales hasta un máximo de 10 l/s, y el segundo para caudales mayores a 10 l/s.

A) MÉTODO VOLUMÉTRICO

Para aplicar este método es necesario encauzar el agua generando una corriente del fluido de tal manera que se pueda provocar un chorro (ver Figura 3.6). Dicho método consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal (l/s).

$$Q = V/t$$

donde:

Q =Caudal en l/s.

V =Volumen del recipiente en litros.

t =Tiempo promedio en seg.



Figura 3.6 : Aforo del agua por el método volumétrico

Con la finalidad de definir el tiempo promedio, se recomienda realizar como mínimo 5 mediciones. Para ilustrar el método se presenta un ejemplo a continuación:

EJEMPLO:

Datos:

Centro Poblado : Shiquish - Ancash
Nombre de la fuente : Shiquishpuquio
Fecha : Setiembre 1989

Nro de Prueba	VOLUMEN (litros)	TIEMPO (seg)
1	10	7
2	10	8
3	10	8
4	10	8
5	10	9
TOTAL	—	40

El tiempo promedio (t) = $40/5 = 8$ seg., resultando un caudal (Q) = 1.25 l/s.

B) MÉTODO DE VELOCIDAD - ÁREA

Con este método se mide la velocidad del agua superficial que discurre del manantial tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme, habiéndose previamente definido la distancia entre ambos puntos (ver Figura 3.7). Cuando la profundidad del agua es menor a 1 m., la velocidad promedio del flujo se considera el 80% de la velocidad superficial.

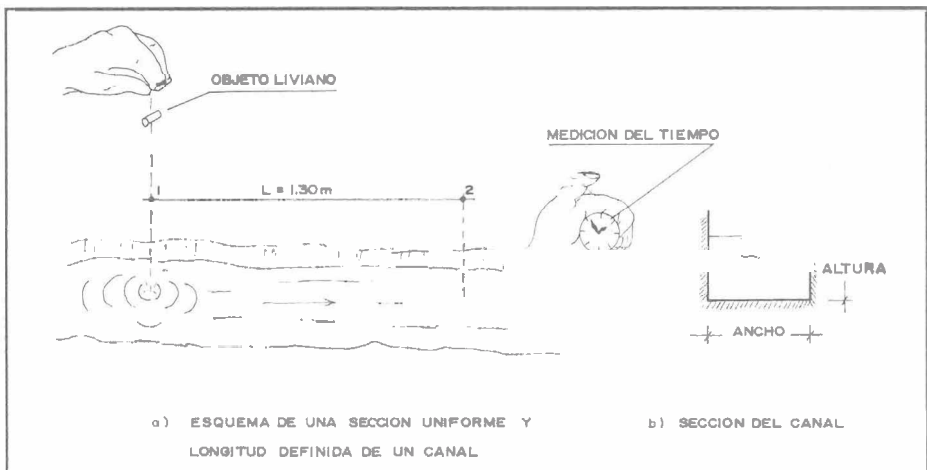


Figura 3.7 : Aforo del agua por el método de velocidad - área

El caudal se determina de la siguiente manera:

$$Q = 800 \times V \times A$$

donde:

Q = Caudal en l/s.

V = Velocidad superficial en m/s.

A = Área de sección transversal en m².

A continuación se presenta un ejemplo de la aplicación de este método:

EJEMPLO:

Datos:

Centro Poblado : Yurayaco - Ancash
Nombre el manantial : Ishancaragra
Fecha : Setiembre 1993

Nro de Prueba	LONG. TRAMO (m)	TIEMPO (seg)
1	1.30	4
2	1.30	4
3	1.30	3
4	1.30	4
5	1.30	5
TOTAL	—	20

El tiempo promedio (t) = $20/5 = 4$ seg.

La velocidad superficial (V) = longitud/tiempo promedio
= $1.30/4 = 0.325$ m/s.

El área de la sección transversal (A) = ancho x altura
= $.4 \times .17 = 0.068$ m².

El valor del caudal resulta:

$$Q = 800 \times V \times A = 17.68 \text{ l/s.}$$

Al igual que en el método volumétrico, para determinar el tiempo promedio se recomienda realizar un mínimo de 5 pruebas.

3.4 CALIDAD DE AGUA

El agua potable es aquella que al consumirla no daña el organismo del ser humano ni daña los materiales a ser usados en la construcción del sistema.

Los requerimientos básicos para que el agua sea potable, son⁽¹⁾:

- Estar libre de organismos patógenos causantes de enfermedades.
- No contener compuestos que tengan un efecto adverso, agudo o crónico sobre la salud humana.
- Ser aceptablemente clara (por ejemplo: baja turbidez, poco color, etc.).
- No salina.

(1) Centro Internacional de Agua y Saneamiento. "Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable para Pequeñas Comunidades". Holanda 1988, pp 32.

- Que no contenga compuestos que causen sabor y olor desagradables.
- Que no cause corrosión o incrustaciones en el sistema de abastecimiento de agua, y que no manche la ropa lavada con ella.

En cada país existen reglamentos en los que se consideran los límites de tolerancia en los requisitos que debe satisfacer una fuente. Con la finalidad de conocer la calidad de agua de la fuente que se pretende utilizar se deben realizar los análisis físico, químico y bacteriológico, siendo necesario tomar muestras de agua siguiendo las instrucciones que se dan a continuación.

Toma de muestra para el análisis físico y químico:

- Limpiar el área cercana al manantial eliminando la vegetación y cuerpos extraños, en un radio mayor al afloramiento.
- Ubicar el ojo del manantial y construir un embalse lo más pequeño posible utilizando para el efecto material libre de vegetación y dotarlo, en su salida, de un salto hidráulico para la obtención de la muestra.
- Retirar los cuerpos extraños que se encuentran dentro del embalse.
- Dejar transcurrir un mínimo de 30 minutos entre el paso anterior y la toma de muestra.
- Tomar la muestra en un envase de vidrio de boca ancha.
- Enviar la muestra al laboratorio lo más pronto posible, con tiempo límite de 72 horas.

Toma de muestra para el análisis bacteriológico:

- Utilizar frascos de vidrio esterilizados proporcionados por el laboratorio.
- Si el agua de la muestra contiene cloro, solicitar un frasco para este propósito.
- Durante el muestreo, sujetar el frasco por el fondo, no tocar el cuello ni la tapa.
- Llenar el frasco sin enjuagarlo, dejando un espacio de un tercio (1/3) de aire.
- Tapar y colocar el capuchón de papel.
- Etiquetar con claridad los datos del remitente, localidad, nombre de la fuente, punto de muestreo, el nombre del muestreador y la fecha de muestreo.
- Enviar la muestra al laboratorio a la brevedad posible de acuerdo a las siguientes condiciones:

1 a 6 horas sin refrigeración.

6 a 30 horas con refrigeración.

En los Cuadros 3.1, 3.2 y 3.3 se presentan los rangos tolerables para las características físico-químicas del agua y en el Cuadro 3.4 se indican los requisitos bacteriológicos; de acuerdo a las Normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estos valores son los mismos que establece el Ministerio de Salud.

CUADRO 3.1

Sustancias y propiedades químicas que influyen sobre la aceptabilidad del agua para usos domésticos

CONCENTRACIÓN O PROPIEDAD	CONCENTRACIÓN MÁXIMA DESEABLE	CONCENTRACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE
SUSTANCIAS	5 unidades	50 unidades
Decolorantes (coloración)		
SUSTANCIAS Olorosas	ninguna	ninguna
SUSTANCIAS QUE DAN SABOR	ninguna	ninguna
MATERIAS EN SUSPENSIÓN (Turbidez)	5 unidades	25 unidades
SÓLIDOS TOTALES	500 mg/l	1500 mg/l
p.H.	7.0 a 8.5	6.5 a 9.2
DETERGENTES ANIÓNICOS	0.2 mg/l	1.0 mg/l
ACEITE MINERAL	0.001 mg/l	0.30 mg/l
COMPUESTOS FENÓLICOS	0.001 mg/l	0.002 mg/l
DUREZA TOTAL	2 m Eq/l (100mg/lCaCO ₃)	10 m Eq/l (500mg/lCaCO ₃)
NITRATOS (NO ₃)	—	45 mg/l
CLORUROS (en Cl)	200 mg/l	600 mg/l
COBRE (en Cu)	0.05 mg/l	1.5 mg/l
CALCIO (en Ca)	75 mg/l	200 mg/l
HIERRO (en Fe)	0.1 mg/l	1.0 mg/l
MAGNESIO (en Mg)	30 mg/l	150 mg/l
MANGANESO (en Mn)	0.05 mg/l	0.5 mg/l
SULFATO (en SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
ZINC (en Zn)	5.0 mg/l	15 mg/l

Fuente: OMS - Ministerio de Salud (1972)

CUADRO 3.2:

Límites provisionales para las sustancias tóxicas en el agua potable

SUSTANCIA	CON CONCENTRACIÓN MÁXIMA mg/l
ARSÉNICO (en As)	0.05
CADMIO (en Cd)	0.01
CIANURO (en Cn)	0.05
MERCURIO TOTAL (en Hg)	0.001
PLOMO (en Pb)	0.1
SELENIO (en Se)	0.01

Fuente: OMS - Ministerio de Salud (1972)

CUADRO 3.3:

Concentraciones de fluoruros recomendadas para el agua potable

PROMEDIO ANUAL DE TEMPERATURAS MÁXIMAS DE AIRE EN °C	LÍMITES RECOMENDADOS PARA LOS FLUORUROS (en F) (mg/l)	
	INFERIOR	MÁXIMA
10.0 - 12.0	0.90	1.70
12.1 - 14.6	0.80	1.50
14.7 - 17.6	0.80	1.30
17.7 - 21.4	0.70	1.20
21.5 - 26.2	0.70	1.00
26.3 - 32.6	0.60	0.80

Fuente: OMS - Ministerio de Salud (1972)

CUADRO 3.4:

Normas de calidad bacteriológica aplicables a los abastecimientos de agua potable

1. EL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> a. En el curso del año el 95% de las muestras no deben contener ningún germen coliforme en 100 m.l. b. Ninguna muestra ha de contener E. Coli en 100 m.l. c. Ninguna muestra ha de contener más de 10 gérmenes coliforme por 100 m.l. d. En ningún caso han de hallarse gérmenes en 100 m.l. de dos muestras consecutivas
2. AL ENTRAR EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN
<p>AGUA SIN DESINFECTAR.... Ningún agua que entre en la red de distribución debe considerarse satisfactoria si en una muestra de 100 m.l. se halla E-Coli; en ausencia de este puede tolerarse hasta tres gérmenes coliformes en algunas muestras de 100 m.l. de agua no desinfectada.</p>

Fuente: OMS - Ministerio de Salud (1972)

3.5 ASPECTOS LEGALES

La fuente de agua seleccionada puede estar ubicada en la propiedad de una persona o pertenecer a otro pueblo siendo necesario resolver los derechos del agua. A pesar de no ser responsabilidad del investigador, es importante asegurarse que las disputas se resuelvan satisfactoriamente.

El Ministerio de Salud exige para aprobar los proyectos un certificado de la comunidad o de las personas afectadas como una constancia de que la fuente no tiene problema legal.