

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>TABLA</b> |                                                                                                                                                                                                     | <b>Pág.</b> |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1            | El agua se puede clasificar según sus niveles de sólido disuelto totales (SDT).....                                                                                                                 | 5           |
| 2            | Límites máximos de los parámetros evaluados de la norma oficial mexicana MODNOM-127-SSA-1994....                                                                                                    | 14          |
| 3            | Sitios de muestreo.....                                                                                                                                                                             | 15          |
| 4            | Número más probable de microorganismos y límites de confianza para diferentes combinaciones de tubos positivos cuando se inoculan 5 tubos con 10 ml, uno con 1 ml, y uno con 0.1 ml de muestra..... | 18          |
| 5            | Resultados de la cuenta total viable de bacterias mesofilas aerobias.....                                                                                                                           | 24          |
| 6            | Resultados de numero mas probable (NMP/100 ml) de coliformes totales y coliformes fecales.....                                                                                                      | 25          |
| 7            | Valores promedio de los análisis fisicoquímicos del agua del municipio de Huatabampo, Sonora, durante el periodo de agosto a diciembre 2003.....                                                    | 26          |

El presente trabajo de investigación se desarrollo en los laboratorios de la dirección de recursos naturales del Instituto Tecnológico de Sonora, formando parte del proyecto “Evaluación fisicoquímica y microbiológica en agua y alimentos”; siendo asesorado por el M.I. Anacleto Félix Fuentes.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de consumo humano del municipio de Huatabampo, Sonora. Este estudio se llevo a cabo en los laboratorios de la dirección de recursos naturales del Instituto Tecnológico de Sonora, durante el periodo comprendido entre los meses de Agosto a Diciembre 2003.

Se seleccionaron 8 sitios de muestreo, estratégicamente ubicados para obtener muestras representativas de las tomas domiciliara realizándose muestreos cada 15 días los sitios de muestreo son : canal de abastecimiento, tanque de almacenamiento y seis tomas domiciliarias, a las, cuales se les realizaron los análisis bacteriológicos establecidos por MODNOM-127SSA-1994; la cuenta total viable de bacterias mesofílicas aerobias, determinación del número mas probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales, determinación de *Salmonella* Los análisis fisicoquímicos realizados fueron: dureza total, sulfatos , sólidos disueltos totales, alcalinidad , conductividad eléctrica, pH , cloruros.

Las 64 muestras analizadas manifiestan una calidad sanitaria satisfactoria, en cuanto a *Salmonella* ya que se comprueba una ausencia total de este patógeno además se presentó una alta carga bacterias mesofílicas aerobias pues el 51.78% de las muestras sobrepasaron el criterio permisible de 200 UCF/ml. De igual forma se logró detectar la presencia de coliformes totales con un 73.21% y coliformes fecales 51.78% en rangos de 2 a 200 NMP/100 ml.

Respecto a los análisis fisicoquímicos el 100% de las muestras cumplen con los parámetros de pH, alcalinidad, sólidos disueltos totales (SDT), cloruros. Pero para sulfatos 75% y dureza total 51.78% se exceden el límite establecido, los cuales en su mayoría se presentaron durante los primeros meses de muestreo. Se puede concluir que el agua es de calidad bacteriológica no aceptable ya que puede representar un riesgo para la salud de los consumidores lo cual requiere de un tratamiento adicional. De igual forma se recomienda un tratamiento fisicoquímico para tener control en cuanto a sulfatos y dureza total.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital para la existencia humana, de su uso adecuado depende la alimentación, la salud, el bienestar, la producción agrícola y el progreso de la sociedad; desde toda la historia de la humanidad, la calidad del agua ha sido un factor determinante en el bienestar de los seres vivos.

En toda la historia, el agua ha sido la gran hacedora de comunidades. Gente de orígenes diversos aprendieron a compartir las mismas fuentes y a cohabitar al lado de los mismos ríos y, por el acto de concluir acuerdos, pusieron las bases de una comunidad (Robert, 1998). De ahí que Bachelard (1958), afirme que hablar del agua históricamente es hablar de la historia de los lugares; del poder topogénico del agua.

El agua exenta de microorganismos patógenos y sustancias químicas perjudiciales para la salud, se le denomina potable. Sin embargo después del proceso de potabilización, aun puede contener elementos no deseables para algunos de los consumidores. Motivo por el cual cada día es muy frecuente utilizar tratamientos que alcancen mejores niveles de tratabilidad desde el punto de vista microbiológico como fisicoquímico.

Actualmente el agua distribuida por los servicios públicos ya no es potable; que ya no se puede beber, lo cual es una deslegitimación de los servicios públicos de distribución de agua potable. El agua dejó de ser lo que había siempre sido, un bien esencialmente gratuito.

Ante esa pérdida de credibilidad, se hace necesario realizar estudios de la calidad del agua para consumo humano, que mediante bases técnicas y científicas demuestren las características fisicoquímicas y bacteriológicas; además esto es necesario por los riesgos que implica la contaminación.

De acuerdo con eso, se propuso investigar la calidad del agua de consumo humano del municipio de Huatabampo, Sonora, el cual tiene, en el área urbana, 3 fuentes de abastecimiento, dos de ellas son plantas potabilizadoras y el tercero es un pozo profundo; los estudios consistirán en análisis bacteriológicos y fisicoquímicos, para evaluar su calidad y determinar si es apta para este uso, con base en las normas oficiales MODNOM-127-SSA1-1994.

## **JUSTIFICACIÓN**

El uso de agua potable es indispensable para el desarrollo de cualquier comunidad, por lo cual es importante realizar estudios de la calidad del agua, ya sean microbiológicos físicoquímicos para evitar la transmisión de enfermedades.

En Huatabampo, Sonora, se han generado quejas por parte de los consumidores con respecto a la calidad de dicha agua, y se han detectado algunas enfermedades gastrointestinales y molestias en la piel por resequedad.

De aquí que la preocupación e inconformidad de la población, ha ido en aumento, por tal motivo, es pertinente evaluar la calidad del agua de consumo en este municipio y mostrar si es apta para este uso.

- **OBJETIVO**

Realizar análisis bacteriológicos y fisicoquímicos en el agua para consumo humano de Huatabampo, Sonora. Para determinar Su calidad sanitaria y comprobar si apta para este uso en base a las normas oficiales MODNOM-127-SSA1-1994.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer sitios de muestreo en el municipio de Huatabampo, Sonora.
- Realizar la cuenta total de mesófilos aerobios
- Aislar e identificación por pruebas bioquímicas *Salmonella*
- Determinar el NMP de coliformes totales y coliformes fecales
- Realizar análisis fisicoquímicos
- Comparar los resultados obtenidos con las normas oficiales mexicanas para este uso y determinar si es apta para consumo humano.

### **HIPÓTESIS**

El agua de consumo humano de Huatabampo, Sonora. No cumple con las especificaciones de la MODNOM-127-SSSA1-1994.

## ÍNDICE

|                                                                                           | Pág  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                                                     | iii  |
| RESUMEN.....                                                                              | iv   |
| INTRODUCCIÓN.....                                                                         | v    |
| JUSTIFICACIÓN.....                                                                        | vii  |
| OBJETIVO GENERAL.....                                                                     | viii |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                                | viii |
| HIPÓTESIS.....                                                                            | ix   |
| I REVISIÓN BIBLOGRÁFICA.....                                                              | 1    |
| 1.1 Crisis del agua.....                                                                  | 1    |
| 1.2 Propiedades del agua.....                                                             | 1    |
| 1.3 Fuentes del agua.....                                                                 | 1    |
| 1.4 Uso y contaminación.....                                                              | 2    |
| 1.5 Calidad y composición del agua: Aspectos<br>físicoquímicos.....                       | 3    |
| 1.5.1 Cloruros.....                                                                       | 4    |
| 1.5.2 Sulfato.....                                                                        | 4    |
| 1.5.3 Sólidos disueltos totales.....                                                      | 5    |
| 1.5.4 Alcalinidad.....                                                                    | 5    |
| 1.5.5 Dureza.....                                                                         | 5    |
| 1.5.6 pH.....                                                                             | 6    |
| 1.5.7 Conductividad eléctrica.....                                                        | 7    |
| 1.5.8 Características del agua por exceso de color ,<br>materia suspendida, turbidez..... | 7    |
| 1.6 Aspectos microbiológicos.....                                                         | 8    |
| 1.6.1 Microbiología del agua.....                                                         | 8    |
| 1.6.2 Enfermedades producidas al ingerir agua.....                                        | 9    |
| 1.6.3 Protozoos.....                                                                      | 9    |
| 1.6.3.1 <i>Cryptosporidium</i> .....                                                      | 9    |
| 1.6.3.2 <i>Giardia</i> .....                                                              | 10   |
| 1.6.4 Virus.....                                                                          | 10   |
| 1.6.5 Bacterias.....                                                                      | 10   |
| 1.6.5.1 <i>Salmonella</i> .....                                                           | 11   |
| 1.6.5.2 <i>Campylobacter</i> .....                                                        | 11   |
| 1.6.5.3 <i>Shigella</i> .....                                                             | 11   |
| 1.6.5.4 <i>Escherichia coli</i> enteropatógena.....                                       | 12   |
| 1.6.5.5 Organismos del grupo coliforme.....                                               | 12   |
| 1.6.5.6 Organismos coliforme fecales.....                                                 | 12   |
| 1.6.5.7 Mesófilos aerobios.....                                                           | 13   |
| 1.6.5.8 <i>Vibrio cholerae</i> .....                                                      | 13   |
| 1.7 Normatividad para la calidad del agua.....                                            | 14   |

|                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                                                                                                   | <b>15</b> |
| 2.1 Descripción de la zona de estudio.....                                                                                            | 15        |
| 2.2 Sitios de muestreo.....                                                                                                           | 15        |
| 2.3 Periodo de muestreo.....                                                                                                          | 16        |
| 2.4 Toma transporte de muestras.....                                                                                                  | 16        |
| 2.5 Análisis bacteriológicos.....                                                                                                     | 16        |
| 2.5.1 Determinación de la cuenta total viable de<br>mesofilos aerobios por la técnica de vaciado en<br>placa.....                     | 16        |
| 2.5.2 Determinación del número más probable (NMP)<br>de coliformes totales y fecales por la técnica de<br>fermentación múltiples..... | 17        |
| 2.5.2.1 Determinación del número más<br>probable (NMP).....                                                                           | 17        |
| 2.5.3 Enriquecimiento y aislamiento de <i>Salmonella</i> .....                                                                        | 18        |
| 2.5.3.1 Enriquecimiento.....                                                                                                          | 18        |
| 2.5.3.2 Aislamiento.....                                                                                                              | 19        |
| 2.6 Análisis fisicoquímicos.....                                                                                                      | 19        |
| 2.6.1 pH.....                                                                                                                         | 19        |
| 2.6.2 Conductividad eléctrica.....                                                                                                    | 19        |
| 2.6.3 Sólidos disueltos totales.....                                                                                                  | 20        |
| 2.6.4 Alcalinidad.....                                                                                                                | 21        |
| 2.6.5 Cloruros.....                                                                                                                   | 21        |
| 2.6.6 Dureza total.....                                                                                                               | 21        |
| 2.6.7 Sulfatos.....                                                                                                                   | 22        |
| <b>III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>                                                                                                | <b>23</b> |
| 3.1 Resultados de los análisis microbiológicos.....                                                                                   | 23        |
| 3.1.1 Determinación de la cuenta total viable de<br>bacterias mesofilas aerobias.....                                                 | 23        |
| 3.1.2 Número más probable (NMP) de coliformes<br>totales y fecales .....                                                              | 24        |
| 3.1.3 Aislamiento e identificación de <i>Salmonella</i> .....                                                                         | 25        |
| 3.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos.....                                                                                    | 26        |
| 3.2.1 pH.....                                                                                                                         | 26        |
| 3.2.2 Sólidos disueltos totales (SDT).....                                                                                            | 26        |
| 3.2.3 Dureza total.....                                                                                                               | 27        |
| 3.2.4 Cloruros.....                                                                                                                   | 27        |
| 3.2.5 Sulfatos.....                                                                                                                   | 27        |
| 3.2.6 Alcalinidad.....                                                                                                                | 27        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                                                                                                              | <b>28</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                                                                                           | <b>29</b> |
| <b>BIBLOGRAFÍA.....</b>                                                                                                               | <b>30</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                                                                                    | <b>33</b> |



# **I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1.1 Crisis del agua**

El agua es, la fuente de vida en la tierra. El 70% del cuerpo humano es agua. Una persona comienza a sentir sed después de perder solo 1% de líquido corporal y corre peligro de muerte si la pérdida de líquido se aproxima al 10% (Gleick, 1996). El ser humano puede sobrevivir por sólo unos pocos días sin agua dulce. Pero en un número creciente de lugares los habitantes están extrayendo agua de ríos, lagos y fuentes subterráneas más rápidamente de lo que demora en renovarse; a tal grado que hoy, a inicios del siglo XXI, existen muchos países (en su mayoría en África y el Cercano Oriente) con crisis de agua (Anexo 2).

## **1.2 Propiedades del agua**

El agua es una molécula de características únicas, por las siguientes propiedades (Miller, 1994):

- a) Es un líquido en el intervalo de temperatura más apropiado para los procesos vitales, esto debido al elevado punto de ebullición y de congelación.
- b) Cambia de temperatura con lentitud, ya que tiene la capacidad de almacenar gran cantidad de calor.
- c) Es un solvente casi universal, capaz de disolver grandes cantidades de diferentes compuestos.
- d) Tiene una elevada tensión superficial y una gran capacidad humectante.
- e) Es la única sustancia común que se expande al congelarse.

## **1.3 Fuentes de agua**

Un 70% de la superficie de la tierra es agua, pero la mayor parte de ésta es oceánica. En volumen, sólo 3% de toda el agua del mundo es agua dulce, y en su mayor parte no se halla generalmente disponible. Unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se halla inaccesible, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los

centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible (Falkenmark, 1994).

Se considera que, mundialmente, se dispone de 12.500 a 14.000 millones de metros cúbicos de agua (12.500 a 14.000 kilómetros cúbicos) por año para uso humano. Esto representa unos 9.000 metros cúbicos por persona por año, según se estimó en 1989. Se proyecta que en el año 2025 la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5.100 metros cúbicos por persona, al sumarse otros 2.000 millones de habitantes a la población del mundo (Miller, 1994):

#### **1.4.- Uso y contaminación del agua.**

El uso excesivo y la contaminación del agua dulce del mundo son fenómenos que preocupan a la humanidad; se desconocen las consecuencias a largo plazo, pero ya han originado muchas alteraciones al medio ambiente de tal modo que se ha puesto en peligro a la biota de esos ecosistemas (UNESCO, 1997).

El agua contaminada y la falta de saneamiento también están incubando una tragedia sanitaria humana, ya que es difícil en la actualidad tener un agua potable como la define Ezcurra (1990), es decir, aquella que reúna características de pureza física, química y microbiológica; libre de contaminantes tóxicos y de microorganismos patógenos; transparente y carente de colores, olores y sabores extraños, además de tener un bajo contenido de materia orgánica.

Se calcula que en 1996 la población humana usaba el 54% del agua dulce accesible contenida en los ríos, lagos y acuíferos subterráneos; de acuerdo con proyecciones futuras, este porcentaje ascenderá por lo menos a 70% en 2025, considerando el incremento de la población, y si el ritmo de consumo por persona sigue aumentando.

Un riesgo de ese uso excesivo del agua, es la que se reduce la calidad el agua para mantener los ecosistemas como los ríos, lagunas, estuarios y pantanos; Miller (1994), refiere algunos casos extremos como el de Polonia, donde el 80% de los ríos están contaminados; los ríos Támesis y Rhin, que se habían convertido en cloacas anaeróbicas, pero que en las últimas décadas han sido sometidos a un proceso de limpieza.

En México, la CNA (2003), estimó que en el 2001, el 6% de los cuerpos de agua estaba en la categoría de excelente, 20% en aceptable, 51% en poco contaminado, 16% contaminado, 6% en altamente contaminado y 1% con presencia de tóxicos; las cuencas hidrológicas con problemas graves contaminación de cuerpos de agua, son las de Valle de México y la Península de Baja California.

Es importante que el agua suministrada a través de la red de abastecimiento de las ciudades y poblados, cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma oficial Mexicana, para que ésta no represente un riesgo para la salud. La prevención y contaminación del agua (y del medio ambiente en general) es indispensable para proteger los ecosistemas.

### **1.5 Calidad y composición del agua: Aspectos fisicoquímicos-**

No existe naturalmente el agua químicamente pura, o por lo menos tal como la conocemos desde el laboratorio; su composición y calidad es muy variable, y está en función del tipo de sedimento, las descargas urbanas, industriales y agrícolas que recibe.

De acuerdo con lo anterior, se pueden encontrar diversos componentes en el agua (Kemer y McCallion, 1989).

1. Metales: sodio, calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso, cobre, plomo, estroncio, litio, vanadio, cinc, y aluminio.
2. No metales: cloro, azufre, carbonatos, silicatos, nitratos, nitritos y amonio
3. Sales y óxidos incrustantes: carbonato de calcio, cloruro de calcio, carbonato de magnesio, sulfato de magnesio, cloruro de magnesio, óxido de hierro y óxido de cinc.
4. Sales no incrustantes: cloruro de sodio, carbonato de sodio, sulfato de bario y nitrato de potasio
5. Gases disueltos: dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno y metano

### **1.5.1. Cloruros**

Todas las sales de cloruro son muy solubles en el agua, por lo cual es común encontrarlas en el agua dulce en concentraciones de 10 a 100 mg/l (Kemer y McCallion, 1989); el límite superior recomendado por la norma mexicana MODNOM-127-SSA1-1994 es de 250 mg/l. Los cloruros más comunes son los siguientes.

- Cloruro de sodio: el agua presenta un sabor a cobre, puede tener un efecto tóxico, produciendo anorexia, pérdida de peso y deshidratación. Hay que tener cuidado pues la misma concentración que no produce toxicidad en invierno, en el verano por el aumento del consumo de agua y la evaporación que concentra solutos puede resultar tóxica.
- Cloruro de magnesio: da al agua un gusto muy amargo y tiene una moderada acción purgante.
- Cloruro de calcio: el agua tiene un sabor muy amargo y también tiene efectos purgantes moderados.

### **1.5.2 Sulfato.**

El sulfato se disuelve en el agua a partir de algunos minerales, sobre todo del yeso, o bien aparece como un subproducto de la oxidación de los minerales sulfurosos, en agua potable presenta un intervalo típico de 5 a 200 mg/l, el límite máximo permisible es de 400 mg/l. Tiene efecto laxante y afecta la absorción de calcio, provocando inconvenientes en la formación de hemoglobina con la consiguiente anemia, se observa también decoloración del pelo.

Algunos tipos de sulfatos son los siguientes:

- Sulfato de magnesio y sulfato de sodio: su presencia le da al agua sabor amargo y también efecto purgante; el sulfato de sodio es menos perjudicial que el de magnesio, la presencia de bicarbonato disminuye la tolerancia al sulfato de sodio.
- Sulfato de calcio: es el menos perjudicial, se puede usar agua con concentración saturada sin efectos perjudiciales

### 1.5.3 Sólidos Disueltos Totales (SDT).

Los SDT son la suma de todos los materiales disueltos en el agua, por lo cual tiene muchas fuentes minerales, su intervalo más común en el agua dulce es de 25 a 5000 mg/l; el máximo permisible que se sugiere para agua potable es de 1000 mg/l; altas concentraciones afectan el sabor; además por su relación directa con la conductividad eléctrica acelera los procesos de corrosión de las tuberías.

**TABLA 1.** El agua se puede clasificar según sus niveles de SDT :

| <i>TIPO</i> | <i>SDT (Mg/l)</i> |
|-------------|-------------------|
| Excelente   | < 300             |
| Buena       | 300-600           |
| Aceptable   | 600-900           |
| Regular     | 900-1200          |
| Inaceptable | >1200             |

OMS 1987

### 1.5.4 Alcalinidad

Con este nombre se conoce la capacidad de un agua de neutralizar ácidos, corresponde al contenido del agua en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Normalmente se emplea esta determinación en el control de los procesos de tratamiento de agua (Organización Panamericana de Salud, 1987); de acuerdo con Kemer y McCallion (1989), la alcalinidad de todos los recursos acuíferos naturales es causada por las sales de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ).

### 1.5.5 Dureza

El término dureza aplicado al agua, es muy antiguo, se originó en el ámbito doméstico en el lavado de la ropa, en el cual se observaba que había una agua dura para hacer espuma con el jabón; los químicos retomaron el término e incluso establecieron una relación entre la dureza y la espuma, mediante el uso de una solución estándar de jabón con la cual determinaban el nivel de dureza del agua (Kemer y McCallion, 1989).

Para fines prácticos, la dureza es la disolución en el agua del calcio y del magnesio en forma de cationes; por lo general se expresa en función del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); este tipo de agua produce sarro en las tuberías, calderas y vasijas, que se recubren de escamas sólidas de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y de carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ).

El agua a la cual se eliminan los iones de calcio y magnesio se le denomina agua blanda o jauda, el procedimiento más común para el ablandamiento es el de la resina de intercambio iónico, que consiste en hacer pasar el agua dura por la resina en donde son intercambiados por iones Na (Dickson, 1998).

La excesiva y la extremadamente baja dureza son igualmente deseables. La excesiva dureza se alcanza principalmente en los recursos de agua subterránea mientras que las aguas blandas son características de algunas cuencas de captación de las tierras altas.

#### **1.5.6 pH**

El pH de una solución acuosa es una medida del equilibrio ácido-base alcanzado por diversos compuestos disueltos y, en la mayor parte de las aguas naturales, esta controlado por el sistema de equilibrio bióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. Este sistema involucra varios equilibrios de diversos componentes, todos ellos se afectan por la temperatura. En el agua pura, se produce una disminución en el pH de aproximadamente 0.45 conforme sube la temperatura a 25 °C.

El pH de la mayoría de fuentes de aguas natural fluctúa entre 6.5 –8.5. la concentración del ión hidrógeno puede alterarse en forma significativa durante el tratamiento de agua. La cloración tiende a disminuir el pH, mientras que cuando se suaviza el agua utilizando el método de cal y soda en exceso, se eleva el nivel de pH. La acción germicida del cloro en el agua es menor cuando los valores de pH son mayores de 8. El pH de una solución es el logaritmo común negativo de la actividad del Ion hidrógeno (Organización Panamericana de Salud, 1987).

### 1.5.7 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del agua es un aspecto importante de la química del agua, ya que está en relación directa con el contenido de minerales; es decir, a mayor concentración de minerales, mayor es la conductividad; a su vez si hay un incremento de la conductividad más libremente fluye la corriente eléctrica y esto acelera la corrosión si las condiciones de pH y temperatura la favorecen; además otra consecuencia de altos valores de conductividad, es que los minerales disueltos están menos ionizados y esto afecta la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ , por eso en el agua de mar es más soluble que en el agua dulce (Kemer y McCallion, 1989).

### 1.5.8 Características del agua por el exceso de color, materia suspendida turbidez.

Los métodos utilizados en la química analítica, permiten determinar los numerosos componentes del agua, en especial aquellos que son muy complejos de acuerdo a sus características químicas. Esto tiene una gran relevancia pues los progresos tecnológicos, han llevado al empleo y eliminación de cantidades cada vez mayores de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, que representan un riesgo de contaminación del agua (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

El agua absorbe rápidamente tanto las sustancias naturales como las producidas por el hombre, generalmente convirtiendo al agua en inadecuada para su consumo las características más importantes en exceso, son:

- ❖ **Color:** Esto se debe a la presencia de materia orgánica disuelta o sales minerales de hierro o manganeso.
- ❖ **Materia suspendida:** Esto es mineral fino o materia vegetal que no es capaz de sedimentar en las condiciones presentes.
- ❖ **Turbidez:** Esta es una medida de la claridad o transparencia del agua. La turbidez se puede deber a numerosos factores como factores finos partículas de minerales en suspensión, alta concentración de bacterias, o incluso finas burbujas debido a la excesiva aeración.

- ❖ **Sabor y color:** el sabor y olor desagradables se deben a una variedad de razones tales como la contaminación por aguas residuales, excesiva concentración de algunos productos químicos como el hierro, manganeso o aluminio, vegetación en estado de putrefacción, condiciones de estanquidad debido a la falta de oxígeno en el agua, o la presencia de ciertas algas.

## 1.6 Aspectos microbiológicos

### 1.6.1 Microbiología del agua

Las aguas naturales no solo contienen su propia flora microbiana, si no que también contienen microorganismos procedentes del suelo y posiblemente microorganismos de los animales y de aguas residuales. En las aguas superficiales de los ríos y embalses y las aguas estancadas de los lagos y de las lagunas, el contenido de microorganismos es muy variable, pudiendo encontrarse desde varios millones por mililitro después de una tormenta de lluvia, hasta un número relativamente bajo, como consecuencia de auto depuración que tienen lugar en los lagos y lagunas tranquilas. Las aguas subterráneas de manantiales y pozos que han atravesado estratos rocosos y capas del suelo hasta un determinado nivel, han sido eliminadas de las mismas, la mayoría de las bacterias y también la mayor parte de las otras partículas en suspensión. Las especies bacterianas existentes en las aguas naturales son principalmente especies de los géneros *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Proteus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Enterobacter* y *Escherichia*. (Pelczar, 1993).

El microbiólogo de alimentos está interesado en dos aspectos de la bacteriología del agua:

- ❖ Aspecto de salud pública

Desde el punto de vista de salud pública, el agua que se utiliza en los distintos tratamientos a los que se someten los alimentos debe ser totalmente inocua para beber, es decir exenta de patógenos (Fernández, 1981).

### **1.6.2 Enfermedades producidas al ingerir agua**

En el anexo 2, se presentan las enfermedades más comunes transmitidas por el agua, la información fue recopilada por Hinrichsen, D., Robey, B., y Upadhyay, U.D. (1998).

Existen tres grupos de microorganismos diferentes que se pueden transmitir a través del agua: virus, protozoos y bacterias. La transmisión de todos ellos se realiza por la vía fecal-oral y se produce principalmente por contaminación, tanto directa como indirecta, de los recursos de agua por las aguas residuales o en ocasiones de desechos de animales. Es teóricamente posible, pero improbable que otros organismos patógenos tales como nematodos (lombrices y anquilostomas) y cestodos (tenia) se puedan transmitir a través del agua (Gray, 1994).

### **1.6.3 Protozoos**

Hay dos protozoos que frecuentemente se encuentran en el agua potable que se conozcan que sean responsables de epidemias, estos son *Cryptosporidium* y *Giardia lamblia* (Gray, 1994).

#### **1.6.3.1 *Cryptosporidium***

Este protozoo parásito está ampliamente distribuido en la naturaleza infectando a un gran número de animales de compañía y consecuentemente al agua. Este protozoo presenta estados protegidos conocidos como o quistes que le permiten sobrevivir durante largos periodos mientras esperan ser ingeridos por el hospedador. Los ooquistes de *Cryptosporidium* son redondos, de 4 a 7  $\mu\text{m}$  de diámetro y son difíciles de eliminar del agua por tratamientos convencionales. Una exposición a bajos niveles de ooquistes ( $1 \times 10^3$ /litro) es capaz de producir una infección, en personas normales provoca una limitada gastroenteritis la cual puede perdurar hasta dos semanas. Los síntomas son dolor de estómago, náuseas, deshidratación y dolores de cabeza (Gray, 1994).

### **1.6.3.2 *Giardia***

*Giardia* se encuentra en una gran variedad de animales, donde vive en forma libre en los intestinos. En los recursos de agua los quistes son capaces de sobrevivir durante largos periodos, especialmente en invierno. Los quistes de *Giardia*, son ovalados y alargados (8 a 14  $\mu\text{m}$  de largo y 7 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho). El protozoo intestinal produce diarrea aguda y los síntomas se desarrollan entre la primera y cuarta semana después de la infección; estos incluyen sudoración excesiva, diarrea fétida, gases en el estómago y pérdida de apetito (Gray, 1994).

### **1.6.4 Virus**

Los virus están constituidos por un núcleo de ácido nucleico (ARN o ADN) rodeado por una cubierta proteica. No se pueden reproducir sin una célula hospedadora, pero pueden sobrevivir en el medio ambiente durante largos periodos. La infección tiene lugar cuando se ingiere el agua contaminada, pasando a través del estómago y generalmente infectan células del canal alimentario inferior. La hepatitis infecciosa, enterovirus, rotavirus, y adenovirus son transmitidos por el agua. Los síntomas incluyen náuseas, vómitos, dolor muscular e ictericia; además cuenta con el 87% de todas las enfermedades virales transmitidas por el agua. (Gray, 1994).

### **1.6.5. Bacterias**

Las bacterias son el grupo más importante en cuanto a frecuencia de detección en el agua de consumo y de epidemias de enfermedades registradas. Las enfermedades por bacterias más importantes están comúnmente asociadas con la contaminación fecal. Estas incluyen *Salmonella* (tifoidea y paratifoidea), *Campylobacter*, *Shigella* (disentería bacteriana), *Vibrio cholerae* (colera), *Escherichia coli* (gastroenteritis) y *Mycobacterium* (tuberculosis).

#### 1.6.5.1 *Salmonella*

Los cerotipos que conforman el género *Samonella* son ahora, posiblemente el grupo más importante de bacterias que afectan a la salud pública. Los microorganismos son bacilos gramnegativos que no forman esporas, de 0.5 a 0.7 de ancho por 1 a 3 micras de largo. Poseen flagelos peritricos y son anaerobias facultativas. Los síntomas típicos de la salmonelosis son gastroenteritis aguda, diarrea, fiebre, nauseas, vómito y dolor de cabeza. Sin embargo las enfermedades mas serias desarrolladas por cerotipos específicos son la fiebre tifoidea (*Salmonella Typhi*) y La paratifoidea (*Salmonella parathypi*) y *Salmonella schottmuelleri* (Gray, 1994).

#### 1.6.5.2 *Campylobacter*

Los *Campylobacter* son bacterias curvas en espiral de 2.0 a 5.0 nm de longitud consistentes de dos a seis anillos. El agua se contamina tanto directamente con aguas residuales que son ricas en *Campylobacter* como indirectamente con heces de los animales. Se han encontrado algunos abastecimientos de agua sin clorar han sido los principales orígenes de infección, las cuales se identifican por serias diarreas agudas. El aislamiento de cerotipos ha confirmado que el cerotipo *C. Jejuni* es común en las infecciones de los humanos. (Gray, 1994).

#### 1.6.5.3 *Shigella*

Las bacterias del género *Shigella* son bacilos gramnegativos, inmóviles y miden 0.4 a 0.6 por 1.0 a 3.0 um. Las shigelas están restringidas a humano y raramente afectan a los animales, además no sobreviven muy bien al medio ambiente, como *salmonella*. La *shigella* origina disentería bacteriana y es la causa más frecuente de diarrea en EE.UU. Los síntomas son inflamación intestinal, diarrea y evacuaciones líquidas que contienen moco sangre y pus, existen 4 especies que son patógenos al hombre: *Shigella daysenteriae*, *Sh boydii*, *Sh. flexneri* y *Sh. sonnei* (Pelczar et al., 1993).

#### **1.6.5.4 *Escherichia coli* enteropatógena**

Hay catorce serotipos de *E.coli*, las cuales causan gastroenteritis en humanos y animales, especialmente en niños menores de 5 años. Su facultad única de infección se basa en su capacidad para penetrar las células epiteliales de la mucosa intestinal y reproducirse dentro de éstas. Los síntomas se caracterizan por dolor abdominal, espasmos y presencia de pus y sangre en la materia fecal. Los tipos se caracterizan por ser combinaciones diferentes de los antígenos O (antígenos lipopolisacáridos de la pared celular), K (antígenos polisacáridos capsulares), H (proteínas flagelares antigénicas). Son bacilos cortos gramnegativos, no esporulados, fermentadores de lactosa y son anaerobios facultativos. (Brock y Madigan, 1993).

#### **1.6.5.5 Organismos del grupo coliforme**

Desde hace tiempo se reconoce que los organismos del grupo coliforme son un buen indicador microbiano de la calidad del agua potable, debido principalmente a que son fáciles de detectar y enumerar en el agua. En general, se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa en cultivos a 35 o 37 ° C con producción de ácido, gas y aldehído en un lapso de 24 a 48 horas, son bacilos gramnegativos, y también son oxidasa-negativas y no forman esporas y entre ellos se encuentran las especies *E. coli*, *Citobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Las bacterias coliformes no deberían ser detectadas en sistemas de tratamiento de abastecimiento de agua y, si así ocurriese, ello es indicio de que el tratamiento fue inadecuado o de que se produjo la contaminación posteriormente (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

#### **1.6.5.6 Organismos coliformes fecales**

Estos son organismos coliformes que son capaces de fermentar la lactosa a temperaturas de 44.0°C a 44.5°C con producción de gas y ácido y que también forman indol a partir de triptófano; entre ellos se encuentran los del género

*Escherichia* y, en menor grado, algunas cepas *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella*. De todos estos microorganismos, solo *E. coli* tienen un origen específicamente fecal, pues están siempre presentes en grandes cantidades en las heces humanas, de los animales y de los pájaros y rara vez se encuentran en el suelo y en el agua que no haya sufrido un tipo de contaminación fecal (Organización Panamericana de la Salud, 1987)

#### **1.6.5.7 Mesófilos aerobios**

Al grupo de organismos mesofílicos aerobios pertenece una gran variedad de microorganismos, de hecho, están incluidos todos aquellos capaces de desarrollar entre 20 y 37°C, en condiciones de aerbiosis

Dentro de la flora aerobia mesofílica tenemos bacilos, cocos, gran positivos y gran negativos, aislados o agrupados en todas las variedades que nos son familiares (Instituto Politécnico Nacional, 1993).

La utilidad de las bacterias mesofílicas aerobias en la microbiología sanitaria es:

- Como indicador de la posible presencia de microorganismos patógenos.
- Como indicador del valor comercial de un alimento.
- Como indicador de las condiciones higiénicas en las que ha sido manejado el producto
- Para predecir la vida de anaquel de un producto.

#### **1.6.5.8 *Vibrio cholerae***

El género *Vibrio* pertenece la familia vibrionaceae, se caracteriza por ser bacilos curvos gramnegativos, forma cadenas en forma de S o en espiral. Son móviles con uno o tres flagelos, aerobios o anaerobios facultativos. La especie patógeno *V. Cholerae* produce cólera, el cual es endémico y con los síntomas de vómitos, diarreas blancuzcas, que acarrearán deshidratación intensa, pérdida de minerales y aumento de la acidez sanguínea de los tejidos que conducen a la muerte. La enfermedad aparece súbitamente, pero por lo general los síntomas y la duración de la infección no son tan severos como en el cólera (Gray1994 )

### 1.7. Normatividad para la calidad del agua.

En nuestro país existen una serie de normas oficiales (NOM) y otras en proyecto con el propósito de cuidar un recurso natural vital como el agua. Algunos de ellos son:

- Norma Oficial Mexicana MODNOM-127-SSA1-1994 Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización (Diario Oficial, jueves 18 de enero de 1996).

**Tabla 2.** Límites máximos de los parámetros evaluados para pruebas fisicoquímicas de la norma oficiales mexicanas MODNOM-127-SSA1-1994 .

| <b>PARAMETROS</b>                                     | <b>LÍMITE PERMISIBLE<br/>(mg/l)</b> |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Cloruros</b>                                       | 250                                 |
| <b>Dureza Total (como <math>\text{CaCO}_3</math>)</b> | 500                                 |
| <b>pH</b>                                             | 6.5-8.5                             |
| <b>Sólidos Disueltos Totales</b>                      | 1000                                |
| <b>Sulfatos (como <math>\text{SO}_4^{--}</math>)</b>  | 400                                 |

Fuente = Diario Oficial de la federación, 1996.



## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción de la zona de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Huatabampo, Sonora, que se localiza al sur de Sonora, en el Valle del Mayo, entre los 26°48' y 26°50' de latitud Norte, y entre los 109°37' y 109°40' longitud oeste. Se encuentra aproximadamente a 38 km al sureste de Navojoa. Colinda al norte con el Municipio de Etchojoa; al sur con Etchoropo ; al oeste con Navobaxia y al este con la Colonia Unión. El Municipio es uno de los fundadores del valle, pues se fundó a principios de 1874, actualmente tiene una población de 100,000 habitantes.

### 2.2 Sitios de muestreo

Se seleccionaron 8 sitios de muestreo, situados estratégicamente para que la muestra resultara representativa de la toma domiciliaria. Para ello se muestrearon canal de abastecimiento, tanque de almacenamiento y seis tomas domiciliarias, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Sitios de muestreo.

| <i>Sitio</i> | <i>Ubicación</i>                            |
|--------------|---------------------------------------------|
| <b>1</b>     | Canal de abastecimiento                     |
| <b>2</b>     | Tanque de almacenamiento                    |
| <b>3</b>     | carretera Huatabampo-Etchojoa               |
| <b>4</b>     | Nicolás Bravo pte. s/n. Col. Guadalupe Ríos |
| <b>5</b>     | Ave. Guerrero Col. PRI 90                   |
| <b>6</b>     | Calle Mendívil y Obregón Col. Juris         |
| <b>7</b>     | Ave. Tecnológico s/n ote. Col. Cuchilla     |
| <b>8</b>     | Madero y Guerrero Col. Centro               |

## **2.3 Periodo de muestreo**

Se realizaron muestreos cada 15 días durante cuatro meses, comprendiendo el periodo de agosto de 2003 hasta diciembre de 2003. Los estudios microbiológicos y fisicoquímicos se realizaron quincenalmente.

## **2.4 Toma y transporte de muestras**

Las muestras se recolectaron por la mañana con una frecuencia de 15 días aproximadamente, en frascos de vidrio esterilizados y limpios; Para tomar la muestra se deja fluir el agua un tiempo de 5 a 10 minutos, posteriormente se tomaron aproximadamente 200 ml para análisis microbiológicos y para fisicoquímicos se muestrean en frascos de plástico de un litro.

Se colocaron en una hielera para su transporte, a una temperatura de 4 °C con suficiente hielo, el análisis se realizó tan rápido como fue posible a fin de evitar resultados erróneos.

## **2.5 Análisis bacteriológicos**

### **2.5.1 Determinación de la cuenta total viable de mesófilos aerobios, por la técnica de vaciado en placa.**

Para llevar a cabo esta determinación se utilizó la técnica de diluciones de vaciado en placa, para lo cual se homogeneiza la muestra agitándola alrededor de 25 veces y se toma una alícuota de 10 ml y se agrega a un matraz con 90 ml de agua estéril, homogeneizando para obtener una dilución 1:10, posteriormente se toma 1 ml de esa dilución y se agrega a un tubo con 9 ml de agua estéril, se agita para obtener una dilución 1:100, después se toma 1 ml de esta dilución y se agrega a un tubo con 9 ml, se agita y se obtiene la dilución 1:1000. Se agrega 1 ml de estas diluciones y 1 ml de la muestra directamente en cajas petri, previamente esterilizadas, y posteriormente se agrega de 15 a 20 ml de agar método estándar previamente esterilizado, después de solidificar se incuban a 37 ° C se realiza el conteo de colonias a las 24 hrs y 48 hrs. Se selecciona la dilución donde se cuenta de 30 a 300 UFC.

### **2.5.2 Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales y coliformes fecales por la técnica de fermentación de tubos múltiples.**

#### **Prueba presuntiva**

- ❖ Se agita la muestra
- ❖ Se inocularon 10 ml de la muestra en cada uno de los tubos de caldo lactosado doble concentración y los 2 tubos de concentración simple con 1 ml y 0.1 ml respectivamente.
- ❖ Se incuban a 37 ° C durante 24-48 hrs.
- ❖ Los tubos que presentan turbidez y gas en la campana Durham se consideran positivos.

#### **Prueba confirmativa**

##### **Coliformes totales**

- ❖ Partiendo de los tubos positivos se inoculan dos asadas en tubo de caldo verde bilis brillante con campana Durham.
- ❖ Se inoculan a 37 °C durante 24-48 hrs
- ❖ Los tubos que presentan turbidez y gas indican positiva la prueba.

##### **Coliformes fecales**

- ❖ Partiendo de los tubos positivos de la prueba presuntiva se inoculan dos asadas en tubos de caldo EC con campana Durham.
- ❖ Se inoculan a 44.5°C durante 24 hrs
- ❖ Los tubos que presentaron turbidez y gas indican positivo la prueba.

#### **2.5.2.1 Determinación del numero mas probable (NMP)**

Para la determinación del NMP, tanto de coliformes fecales como totales, se hace el conteo de los tubos positivos y que se emplea la tabla 3.

**Tabla 4.** Número más probable de microorganismos y límites de confianza para diferentes combinaciones de tubos positivos cuando se inoculan 5 tubos con 10 ml, uno con 1ml, y uno con 0.1 ml de la muestra.

| <i>Combinación de tubos positivos.</i> | <i>NMP /100 ml de muestra.</i> | <i>Límites de confianza al 99%</i> |      | <i>Límites de confianza al 95%</i> |      |
|----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------|------------------------------------|------|
| <i>inferior superior.</i>              |                                | <i>inferior superior.</i>          |      | <i>inferior superior.</i>          |      |
| <b>0 1 0</b>                           | 2                              | <1                                 | 15   | <1                                 | 11   |
| <b>1 0 0</b>                           | 2                              | <1                                 | 17   | <1                                 | 12   |
| <b>1 1 0</b>                           | 4                              | 1                                  | 21   | 1                                  | 16   |
| <b>2 0 0</b>                           | 5                              | 1                                  | 24   | 1                                  | 19   |
| <b>2 1 0</b>                           | 8                              | 1                                  | 30   | 2                                  | 23   |
| <b>3 0 0</b>                           | 9                              | 2                                  | 36   | 3                                  | 28   |
| <b>3 0 1</b>                           | 12                             | 3                                  | 43   | 5                                  | 34   |
| <b>3 1 0</b>                           | 12                             | 3                                  | 44   | 5                                  | 35   |
| <b>4 0 0</b>                           | 15                             | 4                                  | 64   | 6                                  | 49   |
| <b>4 0 1</b>                           | 20                             | 6                                  | 77   | 8                                  | 60   |
| <b>4 1 0</b>                           | 21                             | 6                                  | 80   | 9                                  | 62   |
| <b>5 0 0</b>                           | 40                             | 10                                 | 500  | 20                                 | 360  |
| <b>5 0 1</b>                           | 100                            | 20                                 | 720  | 30                                 | 540  |
| <b>5 1 0</b>                           | 200                            | <100                               | 5400 | 100                                | 3800 |
| <b>5 1 1</b>                           | >200                           |                                    |      |                                    |      |

Fuente = Fernández, 1981.

### 2.5.3 Enriquecimiento y Aislamiento de *Salmonella*

#### 2.5.3.1 Enriquecimiento

A partir de la muestra problema homogenizada, se toma directamente una alícuota de 15 ml y se inocula en 125 ml de Caldo Tetrationato base o Caldo Selenito.Cistina, posteriormente se incubaron a 37°C por 24 horas (Fernández, 1981).

### **2.5.3.2 Aislamiento**

A partir del medio anterior, se siembra por estrías por agotamiento en Agar MacConkey y se incuban a 35-37°C por 24 horas. Se seleccionan las colonias típicas para su identificación mediante pruebas bioquímicas, además de realizar la tinción Gram. (Fernández, 1981).

## **2.6 Análisis fisicoquímicos**

### **2.6.1 pH**

Procedimiento:

- Se conecta el potenciómetro a la corriente especificada y se deja calentar el aparato durante 15 minutos
- Se enjuaga el electrodo con agua destilada y se seca, para después introducirlo en la solución patrón y mover el botón de encendido hasta la posición de pH.
- Esperar a que se establezca la lectura deseada de acuerdo a la solución patrón y temperatura, si no se estabiliza; se ajusta con el botón de calibración. Luego se regresa el botón de encendido a la posición de stand-by
- Para determinar el pH de la muestra se enjuaga y limpia el electrodo y se introduce en la muestra, colocando el botón de encendido en posición de pH.
- Una vez que el electrodo se estabiliza, se lee el pH de la muestra directamente carátula de potenciómetro.
- Se regresa el botón de encendido a la posición de stand-by y una vez limpio y seco, se precede a medir otra muestra o sumerge el electrodo en agua destilada sino se utiliza.

### **2.6.2 Conductividad eléctrica**

Procedimiento:

- Se conecta el conductímetro y se deja calentar 15 minutos. Se verifica la conductividad de la solución de referencia a la temperatura indicada.
- Se gira el botón de sensibilidad hasta observar la abertura cerrada del ojo mágico.

- Se enjuga la celda con agua destilada usando una piseta con punta procurando que el agua penetre en todos los rincones del electrodo. Secar el electrodo y lavar dos o tres veces el electrodo con la muestra problema, se toma la temperatura de dicha solución.
- Se sumerge el electrodo hasta el nivel señalado, girar el botón de sensibilidad hasta observar abertura en el ojo mágico.
- Se gira el botón de drive hacia la derecha hasta observar la abertura bien definida en el ojo mágico, si así no se logra la máxima abertura y entonces se hará la lectura.

### **2.6.3 Sólidos Disueltos Totales**

Procedimiento:

- Filtrar la muestra hasta completar un volumen de 100 a 200 ml.
- Se conecta el conductímetro y se deja calentar 15 minutos. Se verifica la conductividad de la solución de referencia a la temperatura indicada.
- Se gira el botón de sensibilidad hasta observar la abertura cerrada del ojo mágico.
- Se enjuga la celda con agua destilada usando una piseta con punta procurando que el agua penetre en todos los rincones del electrodo. Secar el electrodo y lavar dos o tres veces el electrodo con la muestra problema, se toma la temperatura de dicha solución.
- Se sumerge el electrodo hasta el nivel señalado, girar el botón de sensibilidad hasta observar abertura en el ojo mágico.
- Se gira el botón de drive hacia la derecha hasta observar la abertura bien definida en el ojo mágico, si así no se logra la máxima abertura y entonces se hará la lectura.

### 2.6.4 Alcalinidad

Procedimiento:

- Alcalinidad fenoltaleína: se selecciona una cantidad de muestra adecuada (20 a 50 ml) y ponerlo en un matraz ErlenMeyer de 250 ml. Añadirle 3 gotas de fenoltaleína, si la solución se torna rosa, adicionar la solución valorada de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N hasta que la solución vire de un color rosa a un rosa fuerte. Lo cual indica un pH de 4.5.

### 2.6.5 Cloruros

Procedimiento:

- En un vaso de precipitado de 100 ml de capacidad, poner la cantidad de muestra deseada. En caso de que la muestra sea menor a 20 ml, esta deberá ser diluida a 20 ml con agua destilada.
- Agregar 1 ml de la solución indicadora de cromato de potasio.
- Valorar con la solución de nitrato de plata, hasta que la solución vire de un color amarillo a un color rojo ladrillo.
- Deberá correrse un testigo usando agua destilada o agua desionizada, usando el mismo volumen que se utilizó para la muestra, bajo idénticas condiciones de la solución indicadora.

### 2.6.6 Dureza total

Procedimiento:

- Se debe seleccionar una cantidad muestra que no consuma más de 15 ml de solución titulante y la duración de la titulación no debe exceder de 5 minutos, a partir de la adición de la solución amortiguadora.
- En un vaso de 100 ml, poner la cantidad de muestra deseada, en caso de ser a 20 ml, diluir a 20 ml con agua destilada.

- Agregar una cantidad apropiada de negro de ericromo en polvo hasta un color rojo vino. Entonces agregar 1 o 2 ml de solución amortiguadora para obtener un  $\text{pH} = 10 \pm 0.1$ . si en la titulación no existe un vire preciso de color, generalmente significa que se debe agregar un inhibidor o que el indicador se ha deteriorado.
- Agregar lentamente el titulante sin dejar de agitar hasta que desaparezca de la solución el tinte rojizo. El vire de la solución es de color rojo vino a color azul, bajo condiciones normales.
- Se debe correr un testigo usando agua destilada o agua desionizada usando el mismo volumen que uso para la muestra.

### 2.6.7. Sulfatos

#### Procedimiento:

- En un vaso de precipitado de 100 ml poner muestra, en caso de ser menor a 20 ml, diluir con agua destilada a 20 ml con agua destilada.
- Añadir 10 ml de cloruro de bario y calentar en una parrilla eléctrica hasta ebullición. Cuando empieza a hervir, sacar y enfriar.
- Agregar una cantidad apropiada del indicador negro de ericromo en polvo hasta que aparezca un color rojo. adicionar 1 o 2 ml de solución amortiguadora para un  $\text{pH}$  de  $10 \pm 0.1$ .
- Agregar lentamente la solución titulante de EDTA 0.001N, agitando continuamente la muestra hasta que desaparezca el último tinte rojizo. El vire será de color rojo a azul.
- Se debe hacer un testigo con agua destilada, usando el mismo volumen que se utilizo para la muestra, bajo idénticas condiciones de indicador y solución amortiguadora.

### **III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente trabajo se analizaron 64 muestras de agua procedentes de diferentes sitios de muestreo de Huatabampo, Sonora, comprendidas durante el periodo de agosto – diciembre 2003.

Se realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos los cuales se compararon con la norma establecida MODNOM-127-SSAI-1994. Los resultados fueron los siguientes.

#### **3.1 Resultados de los análisis microbiológicos**

##### **3.1.1 Determinación de cuenta total viable de bacterias mesofílicas aerobias.**

Como se observa en la Tabla 5, los resultados muestran que en la (M1) canal de abastecimiento, no fueron comparadas con las otras muestras ya que no es un agua para consumo humano, debido a que no tienen ningún proceso de desinfección. En las tomas domiciliarias 56 muestras sobrepasaron el límite, lo que corresponde al 51.78%. Durante los meses de agosto – noviembre se presentó la mayor carga bacteriana en los sitios de muestreo, sin embargo se puede deber a las condiciones ambientales debido a la temporada de lluvias.

En general se presentó alta carga bacteriana en cuanto a este parámetro, lo que demuestra una mala eficiencia del proceso de desinfección.

**Tabla 5.** Resultados de la cuenta total viable de bacterias mesofilas aerobias

| MESES      |       |        |      | SITIOS<br>(UFC/ml) |       |       |       |        |
|------------|-------|--------|------|--------------------|-------|-------|-------|--------|
|            | M1    | M2     | M3   | M4                 | M5    | M6    | M7    | M8     |
| agosto     | 19900 | 1350*  | 29   | 9900*              | 8300* | 2010* | 2600* | 2610*  |
| septiembre | 20100 | 900*   | 89   | 780*               | 2840* | 3100* | CM    | 13300* |
| septiembre | 31000 | 11600* | 202* | 43                 | 299*  | 224*  | 222*  | 1280*  |
| octubre    | 13000 | 1160*  | 173  | 268*               | 730*  | 1350* | 910*  | 640*   |
| octubre    | 11900 | 640*   | 55   | 820*               | 31    | 89    | 11    | 29     |
| noviembre  | CM    | 154    | 252* | 89                 | 43    | 7     | 85    | 68     |
| noviembre  | 254   | 0      | 2    | 30                 | 284*  | 730*  | 40    | 20     |
| diciembre  | CM    | 9      | 3    | 0                  | 5     | 7     | 10    | 10     |

UFC/ml = Unidad formadora de colonias por mililitro.

\* Fuera de norma.

CM = Crecimiento masivo

M1 = muestra canal de abastecimiento, M2 tanque de almacenamiento ,M3,M4, M5, M6,M7,M8 tomas domiciliarias

### 3.1.2 Número más probable (NMP) de coliforme totales y coliformes fecales .

La estimación del NMP de organismos de coliformes permite evaluar los riesgos de contaminación recientes en el agua. La NOMNOM-127-SSA1-1994 establece ausencia de 0 NMP/100 ml de coliformes totales como se aprecia en la en la tabla 6, El 73.21% de las muestras presentaron incidencia de coliformes totales, rebasando el NMP/100 ml de 0 que marca la norma, ya que los tubos presentaron turbidez y gas en la campana Durham. Las principales causas lluvias presentes en los días de muestreo, ganado suelto y desechos orgánicos pueden ocasionar dichos contaminantes de esta manera podemos decir que dicha agua no cuenta con un proceso de desinfección apropiado.

En lo que respecta a coliformes fecales, la norma establecida por Diario Oficial de Federación, indica ausencia total de coliformes fecales para un agua que sea

apta para el consumo humano. Por lo tanto se deduce que el agua estudiada no es de buena calidad ya que el 51.78% de las muestras presentaron prueba positiva ya que este grupo bacteriano es uno de los principales indicadores de contaminación.

**Tabla 6.** Resultados de NMP/100ml de coliformes totales y coliformes fecales. Durante el periodo agosto- diciembre 2003

| Muestras          |      |      |       |      |     |     |       |      |      |     |       |      |       |       |       |       |
|-------------------|------|------|-------|------|-----|-----|-------|------|------|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| MESES             | M1   |      | M2    |      | M3  |     | M4    |      | M5   |     | M6    |      | M7    |       | M8    |       |
|                   | CT   | CF   | CT    | CF   | CT  | CF  | CT    | CF   | CT   | CF  | CT    | CF   | CT    | CF    | CT    | CF    |
| <b>Agosto</b>     | >200 | >200 | >200* | >200 | 5*  | 0   | >200* | 200* | 200* | 15* | >200* | 200* | >200* | >200* | 40*   | 40*   |
| <b>Septiembre</b> | >200 | >200 | 50*   | 0    | 21* | 15* | 2*    | 0    | 0    | 0   | 40*   | 5*   | 0     | 0     | 40*   | 2*    |
| <b>Septiembre</b> | 200  | >200 | 200*  | 200* | 2*  | 5*  | 0     | 2*   | 0    | 5*  | 5*    | 40*  | 200*  | 200*  | >200* | >200* |
| <b>Octubre</b>    | 200  | 200  | 15*   | 5*   | 40* | 2*  | 15*   | 2*   | 2*   | 2*  | 40*   | 2*   | 2*    | 0     | 200*  | 200*  |
| <b>Octubre</b>    | >200 | >200 | 9*    | 0    | 9*  | 0   | 40*   | 15*  | 5*   | 5*  | 2*    | 0    | 0     | 0     | 9*    | 0     |
| <b>Noviembre</b>  | >200 | >200 | 2*    | 0    | 9*  | 5*  | 2*    | 0    | 0    | 0   | 0     | 0    | 5*    | 0     | 9*    | 2*    |
| <b>Noviembre</b>  | >200 | >200 | 0     | 0    | 2*  | 2*  | 15*   | 0    | 5*   | 0   | 2*    | 0    | 9*    | 9*    | 5*    | 2*    |
| <b>Diciembre</b>  | 200  | 200  | 0     | 0    | 0   | 0   | 0     | 0    | 0    | 0   | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     |

M=muestra \* Fuerza de norma

M1 = muestra canal de abastecimiento, M2 tanque de almacenamiento, M3,M4, M5, M6,M7,M8 tomas domiciliarias

CT=coliformes totales CF=coliformes fecales

### 3.1.3 Aislamiento e identificación de *Salmonella*

De las 64 muestras analizadas en ninguna se detectó la presencia de *Salmonella* sp , por lo tanto, el 100% de las muestras cumplen con la norma MODNOM-127-SSA1-1994 , la cual indica ausencia total para este microorganismo.

## CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos del agua potable del municipio Huatabampo, Sonora, durante el período comprendido de agosto 2003 a diciembre 2003 se concluye:

- Con respecto a la cuenta de bacterias mesofilicas aerobias el 51.78% poseen cuenta significativa que sobrepasan las 200 UFC/ml, que marca la norma, que se recomienda para su uso.
- En el número mas probable de coliformes totales, se presentó una incidencia del 73.21% sobrepasando la norma que marca de 0 NMP/100ml.
- En el numero mas probable de coliformes fecales, se presentó una incidencia del 51.78% sobrepasando la norma establecida de 0 NMP/100ml por lo se concluye que el agua de dicha comunidad constituye un riesgo para el consumidor, y no debe ser consumida directamente, sin antes darle un tratamiento de desinfección.
- En lo que respecta a *Salmonella*, ninguna de las muestras analizadas presentaron incidencia de este microorganismo.
- En lo que respecta a los análisis fisicoquímicos de las 56 muestras analizadas todas cumplieron con los parámetros de pH, sólidos disueltos totales, alcalinidad, cloruros. En cuanto a sulfatos y dureza las muestras 2, 4, 5, 6 ,8 sobrepasaron los límites permitidos por la norma oficial mexicana MODNOM-127-SSA1-1994.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo una cloración adecuada del agua de distribución, ya que se encontró un exceso de contaminantes que pueden dañar la salud de quienes consumen esta agua.
- En caso de que no se clore el agua por lo menos hay que hervirla 10 minutos para evitar enfermedades gastrointestinales.
- Se sugiere a las autoridades responsables evaluar el estado de las tuberías, ya que pueden estar dañadas y con esto incrementar la contaminación, también programar muestreos mensuales con el fin de determinar la calidad fisicoquímica y bacteriológica y comprobar que es apta para consumo humano y evitar problemas por la ingestión de esta agua

## BIBLIOGRAFIA

Badui (1981) Química de los alimentos. Editorial Alambra Mexicana.

Mexicana D.F.

Bacherlard, Gaston. 1958. El agua y los sueños. Fondo de Cultura Económica, México.

Canales (1998). Evaluación fisicoquímica y bacteriológica del agua de la zona de Boca Abierta, Sonora. TESIS ITSON. Cd. Obregón Sonora.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2003. Estadísticas del agua en México 2003. México.

Falkenmark, M. Landscape as life support provider: Water-related limitations. In: Graham-Smith, F., ed. Population—The complex reality. Golden, Colorado, North American Press, 1994. p. 103-116

Dickson, D. 1998. Química: enfoque ecológico. Noriega Editores, México.

Fernández, (1981). Microbiología sanitaria: agua y alimentos. Volumen 1. Universidad de Guadalajara. México D.

Gleick P. 1996. Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. International Water 21(2): 83-92.

Gray, (1994). Calidad del Agua Potable; problemas y soluciones, Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.

Hinrichsen, D., Robey, B., and Upadhyay, U.D. 1998. Soluciones para un mundo con escasez de agua. Population Reports, Serie M, No. 14. Baltimore, Johns Hopkins School of Public Health, Population Information Program, septiembre de 1998.

Kemmer, Frank.N. y McCallion, J. 1989. Manual del agua. McGraw-Hill, México.

León P., (1961). Los antiguos Mexicanos a través de sus crónicas y cantares, México: Fondo de Cultura Económica, México:

Pacheco B.P. (2000). Evaluación fisicoquímica y bacteriológica del agua de la comunidad de Aduana Alamos, Sonora. TESIS ITSON. Cd Obregón Sonora.

Organización Panamericana de la Salud. (1987). Guías para la calidad del Agua Potable, Volumen 2, Washington. D.C. E.U.A.

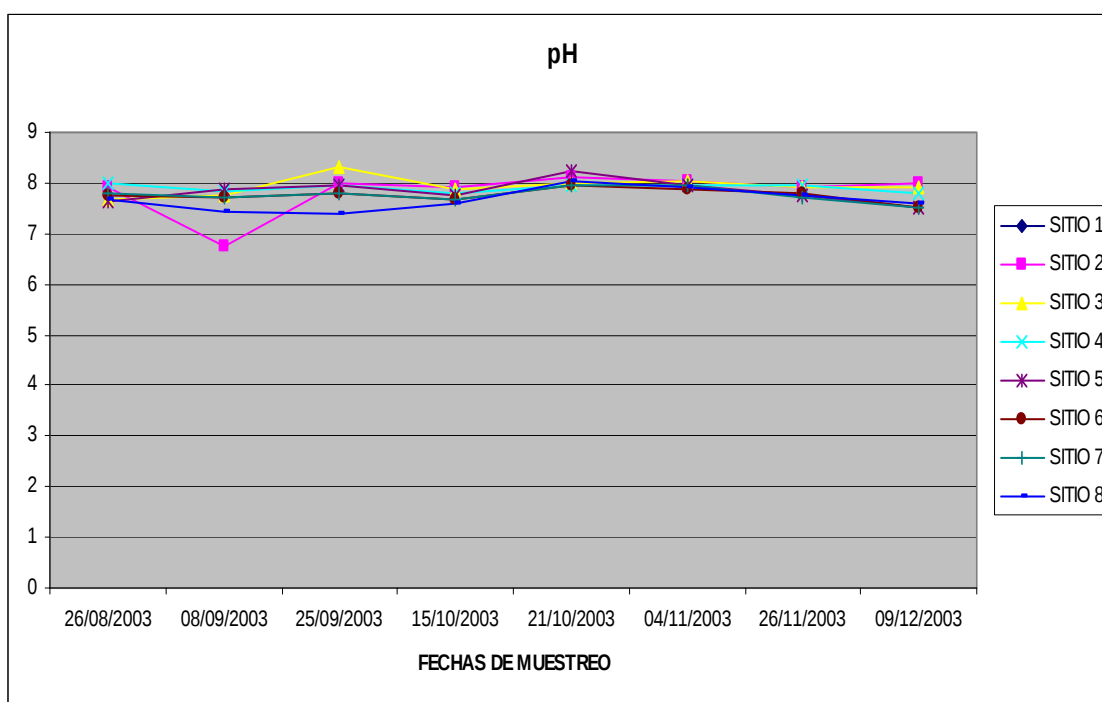
Rigola L.M. (1989). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Marcombo. Barcelo España.

Robert , (1998). Las aguas arquetípicas y la globalización del desvalor. Escuela de Arquitectura, Universidad de Morelos, México.

UNESCO, (1997). Ground water: Managing the "invisible" resource. Environment and Development Briefs, No. 2, p. 4.

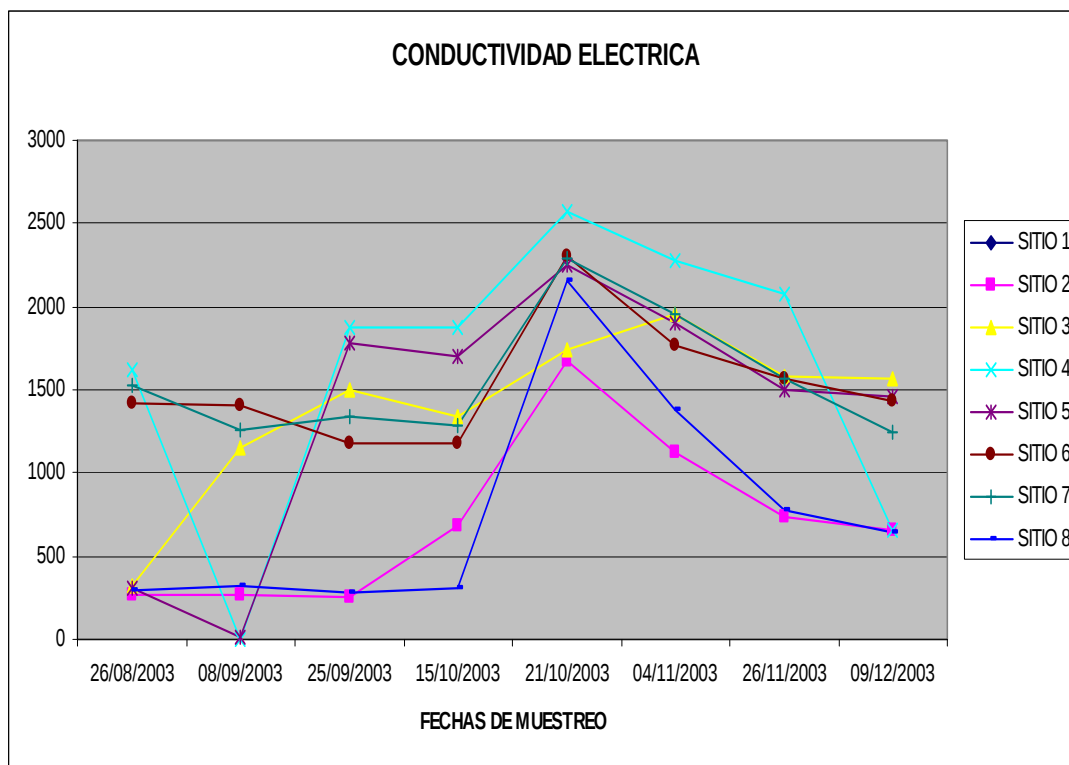
**ANEXOS**

Gráfica que muestra el comportamiento del POTENCIAL DE HIDROGENO en las diferentes fechas de muestreo, así como en los diferentes sitios



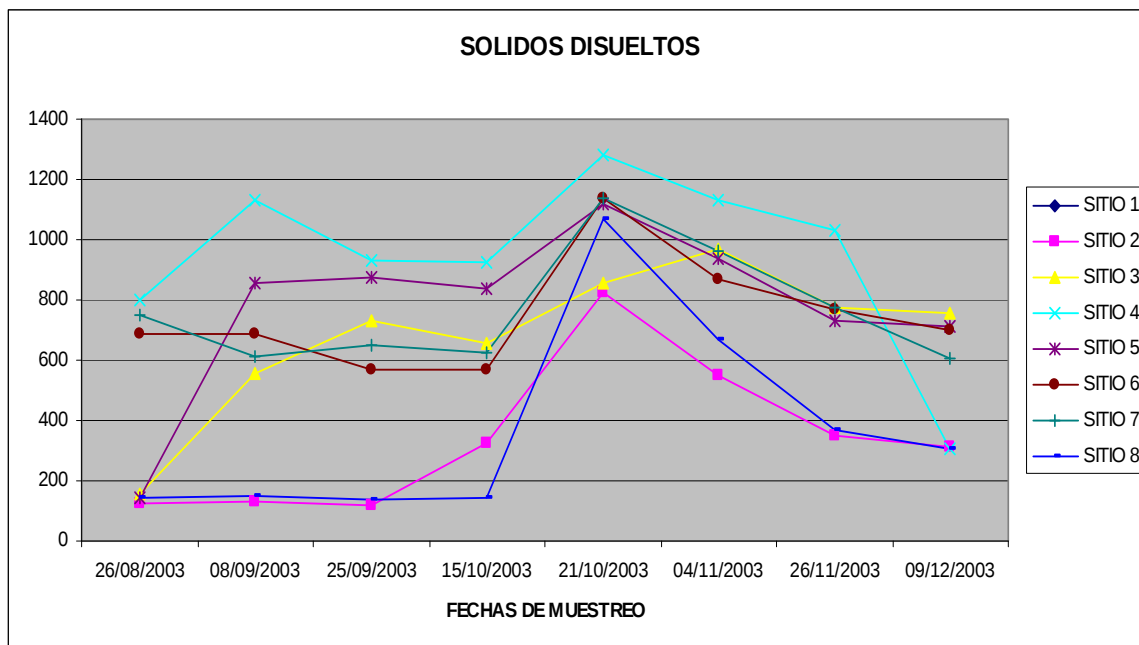
|       | 26/08/2003 | 08/09/2003 | 25/09/2003 | 15/10/2003 | 21/10/2003 | 04/11/2003 | 26/11/2003 | 09/12/2003 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SITIO |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1     | 7.9        | 6.77       | 7.99       | 7.9        | 8.12       | 8.03       | 7.92       | 8          |
| 2     | 7.69       | 7.77       | 8.33       | 7.87       | 8          | 8.03       | 7.92       | 7.9        |
| 3     | 7.99       | 7.84       | 7.96       | 7.79       | 7.95       | 7.95       | 7.97       | 7.8        |
| 4     | 7.65       | 7.87       | 7.94       | 7.76       | 8.25       | 7.95       | 7.75       | 7.5        |
| 5     | 7.76       | 7.7        | 7.78       | 7.68       | 7.97       | 7.86       | 7.78       | 7.5        |
| 6     | 7.79       | 7.73       | 7.8        | 7.67       | 7.96       | 7.94       | 7.71       | 7.5        |
| 7     | 7.69       | 7.42       | 7.41       | 7.6        | 8.04       | 7.9        | 7.76       | 7.6        |
| 8     | 7.82       | 7.49       | 7.79       | 7.67       | 8.01       | 7.9        | 7.79       | 7.5        |

Gráfica que muestra el comportamiento de CONDUCTIVIDAD ELECTRICA en las diferentes fechas de muestreo, así como en los diferentes sitios.



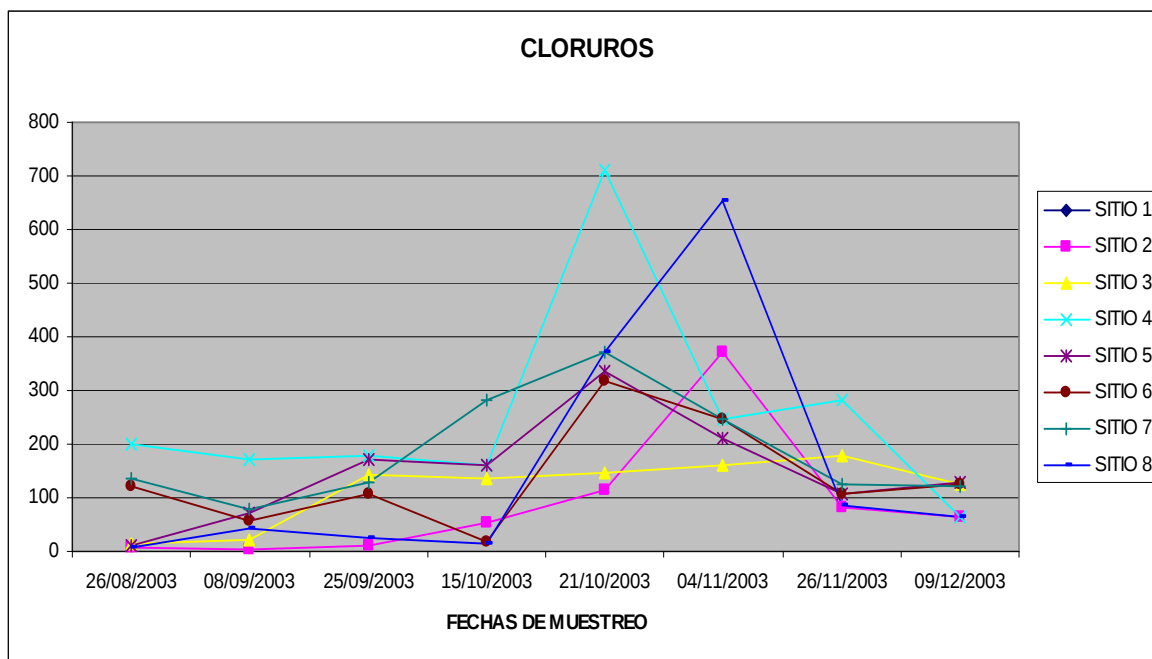
|       | 26/08/2003 | 08/09/2003 | 25/09/2003 | 15/10/2003 | 21/10/2003 | 04/11/2003 | 26/11/2003 | 09/12/2003 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SITIO |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1     | 267        | 273        | 250        | 679        | 1669       | 1121       | 737        | 654        |
| 2     | 325        | 1146       | 1497       | 1341       | 1742       | 1959       | 1586       | 1563       |
| 3     | 1620       | 2.26       | 1881       | 1879       | 2570       | 2280       | 2070       | 658        |
| 4     | 304        | 17.43      | 1776       | 1705       | 2250       | 1901       | 1502       | 1459       |
| 5     | 1413       | 1410       | 1178       | 1173       | 2310       | 1772       | 1567       | 1438       |
| 6     | 1530       | 1264       | 1334       | 1287       | 2290       | 1952       | 1573       | 1249       |
| 7     | 301        | 322        | 286        | 303        | 2160       | 1376       | 773        | 643        |
| 8     | 9.54       | 1730       | 518        | 459        | 2390       | 2010       | 1417       | 1564       |

Gráfica que muestra el comportamiento de SÓLIDOS DISUELTOS en las diferentes fechas de muestreo, así como en los diferentes sitios.



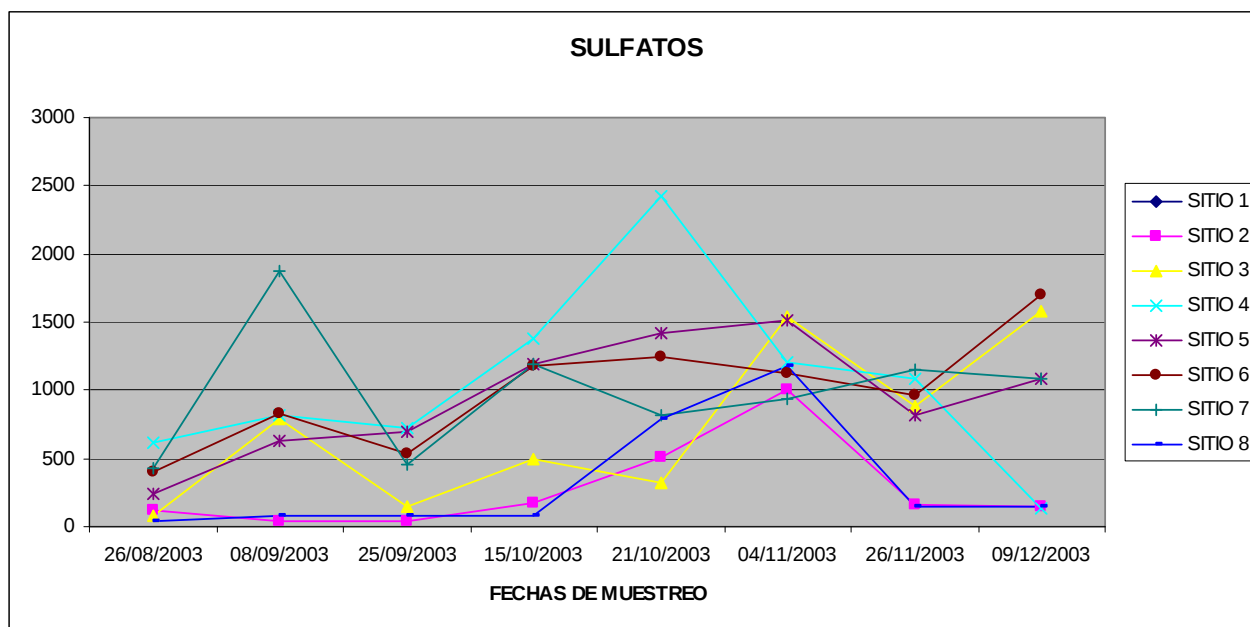
|       | 26/08/2003 | 08/09/2003 | 25/09/2003 | 15/10/2003 | 21/10/2003 | 04/11/2003 | 26/11/2003 | 09/12/2003 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SITIO |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1     | 127        | 130        | 118        | 326        | 824        | 548        | 353        | 313        |
| 2     | 154        | 555        | 731        | 654        | 855        | 966        | 778        | 757        |
| 3     | 798        | 1130       | 929        | 924        | 1280       | 1130       | 1030       | 307        |
| 4     | 144        | 855        | 874        | 836        | 1120       | 937        | 731        | 711        |
| 5     | 688        | 688        | 571        | 567        | 1140       | 868        | 768        | 698        |
| 6     | 748        | 615        | 651        | 627        | 1140       | 962        | 774        | 604        |
| 7     | 143        | 153        | 136        | 144        | 1070       | 668        | 370        | 307        |
| 8     | 460        | 851        | 248        | 220        | 1190       | 990        | 693        | 762        |

Gráfica que muestra el comportamiento de CLORUROS en las diferentes fechas de muestreo, así como en los diferentes sitios.



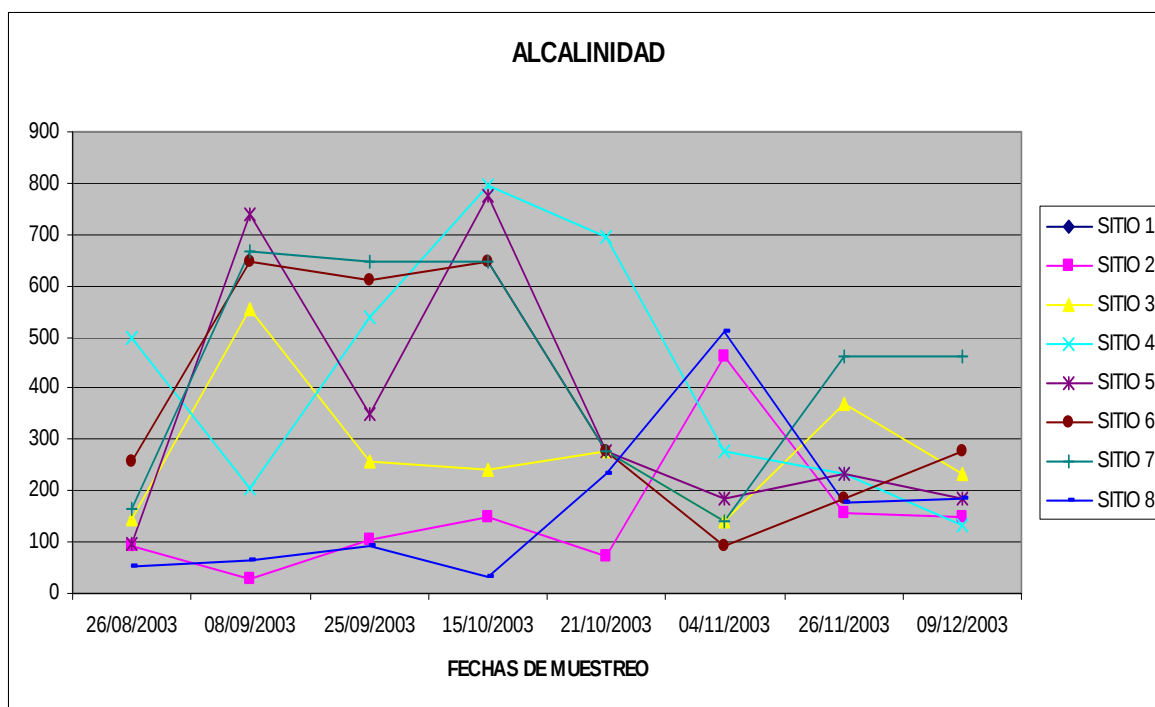
|       | 26/08/2003 | 08/09/2003 | 25/09/2003 | 15/10/2003 | 21/10/2003 | 04/11/2003 | 26/11/2003 | 09/12/2003 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SITIO |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1     | 7.09       | 5.3175     | 12.4075    | 54.94      | 113.4      | 372        | 81.55      | 63.81      |
| 2     | 14.18      | 21.27      | 141.8      | 134.7      | 148        | 159        | 177        | 124        |
| 3     | 198.52     | 170.16     | 177.25     | 159.5      | 709        | 248        | 283        | 65.58      |
| 4     | 12.4       | 70.9       | 170.16     | 159.5      | 336        | 212        | 106        | 127        |
| 5     | 120.5      | 56.72      | 106.35     | 17.72      | 319        | 248        | 106        | 124        |
| 6     | 134.71     | 77.99      | 127.62     | 283.6      | 372        | 248        | 124        | 120        |
| 7     | 8.86       | 42.5       | 24.815     | 15.95      | 372        | 655        | 86.82      | 65.58      |
| 8     | 85.08      | 70.9       | 35.45      | 5.31       | 372        | 265        | 1.77       | 124        |

Gráfica que muestra el comportamiento de SULFATOS en las diferentes fechas de muestreo, así como en los diferentes sitios.



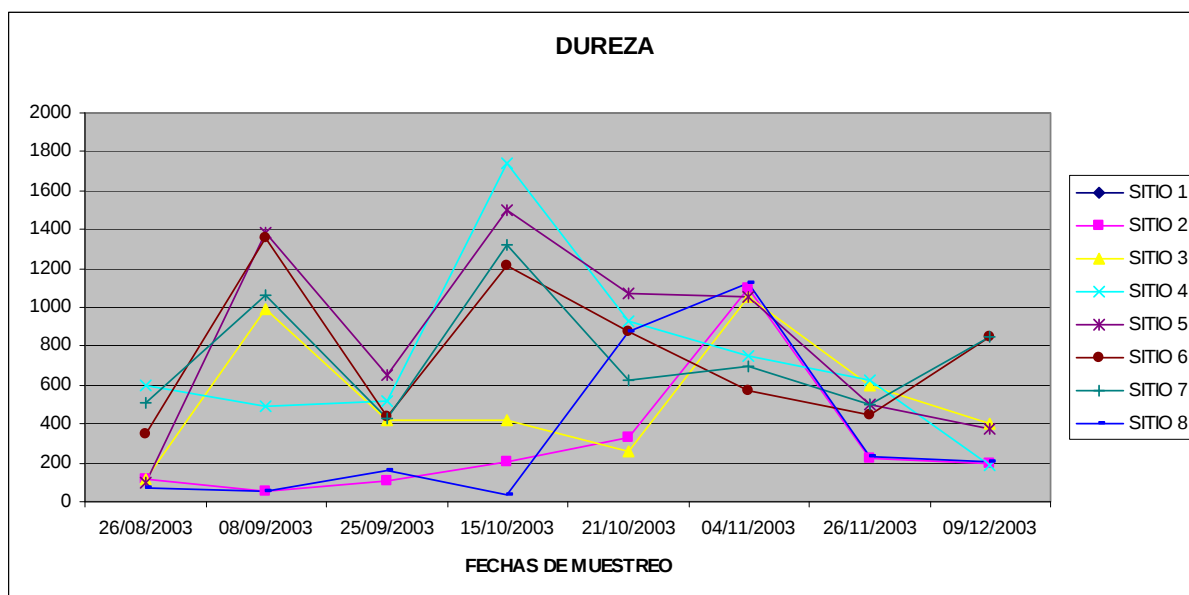
|       | 26/08/2003 | 08/09/2003 | 25/09/2003 | 15/10/2003 | 21/10/2003 | 04/11/2003 | 26/11/2003 | 09/12/2003 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SITIO |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1     | 123.75     | 38.4       | 45.6       | 172.8      | 508.8      | 1008       | 160.8      | 146.4      |
| 2     | 85.5       | 796.8      | 142.08     | 499.2      | 326.4      | 1536       | 888        | 1584       |
| 3     | 621        | 816        | 729.6      | 1382.4     | 2424       | 1200       | 1080       | 132        |
| 4     | 247.5      | 633.6      | 700.8      | 1190.4     | 1416       | 1512       | 816        | 1080       |
| 5     | 396        | 825.6      | 537.6      | 1180.8     | 1248       | 1128       | 960        | 1704       |
| 6     | 432        | 1881.6     | 460.8      | 1190.4     | 816        | 936        | 1152       | 1080       |
| 7     | 39.25      | 79.2       | 86.4       | 76.8       | 792        | 1176       | 153.6      | 148.8      |
| 8     | 252        | 806.4      | 189.6      | 105.6      | 1128       | 1008       | 888        | 1176       |

Gráfica que muestra el comportamiento de ALCALINIDAD en las diferentes fechas de muestreo, así como en los diferentes sitios



|       | 26/08/2003 | 08/09/2003 | 25/09/2003 | 15/10/2003 | 21/10/2003 | 04/11/2003 | 26/11/2003 | 09/12/2003 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SITIO |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1     | 92,5       | 27,75      | 106,375    | 148        | 74         | 462,5      | 157,25     | 148        |
| 2     | 143        | 555        | 259        | 240,5      | 277,5      | 138,75     | 370        | 231,25     |
| 3     | 497        | 203,5      | 536,5      | 795,5      | 693,75     | 277,5      | 231,25     | 134,125    |
| 4     | 97,12      | 740        | 351,5      | 777        | 277,5      | 185        | 231,25     | 185        |
| 5     | 259        | 647,5      | 610,5      | 647,5      | 277,5      | 92,5       | 185        | 277,5      |
| 6     | 166        | 666        | 647,5      | 647,5      | 277,5      | 138,75     | 462,5      | 462,5      |
| 7     | 50,8       | 64,75      | 92,5       | 32,375     | 231,25     | 508,75     | 175,75     | 185        |
| 8     | 140        | 1165,5     | 134,125    | 32,375     | 231,25     | 231,25     | 138,75     | 277,5      |

Gráfica que muestra el comportamiento de DUREZA en las diferentes fechas de muestreo, así como en los diferentes sitios



|       | 26/08/2003 | 08/09/2003 | 25/09/2003 | 15/10/2003 | 21/10/2003 | 04/11/2003 | 26/11/2003 | 09/12/2003 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SITIO |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1     | 112.5      | 57.5       | 107.5      | 205        | 330        | 1100       | 225        | 192.5      |
| 2     | 112.5      | 990        | 420        | 420        | 260        | 1050       | 600        | 400        |
| 3     | 600        | 490        | 520        | 1740       | 925        | 750        | 625        | 187.5      |
| 4     | 100        | 1380       | 650        | 1500       | 1075       | 1050       | 500        | 375        |
| 5     | 350        | 1360       | 440        | 1210       | 875        | 575        | 450        | 850        |
| 6     | 510        | 1060       | 430        | 1320       | 625        | 700        | 500        | 850        |
| 7     | 72.5       | 57.5       | 165        | 35         | 875        | 1125       | 235        | 205        |
| 8     | 210        | 1330       | 182.5      | 62.5       | 925        | 600        | 350        | 425        |

**AUMENTO DE LA ESCASEZ DE AGUA**  
**TAMAÑO Y CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y DISPONIBILIDAD DE AGUA**  
**DULCE RENOVABLE EN PAÍSES CON ESCASEZ DE AGUA, 1995 Y 2025**

| Cuadro 1.                               |                                             |                                                 |                                             |                                                 |                     |                                                |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------|
| <i>País</i>                             | <i>Población<br/>1995<br/>(en millones)</i> | <i>Agua per<br/>cápita<br/>1995<sup>a</sup></i> | <i>Población<br/>2025<br/>(en millones)</i> | <i>Agua per<br/>cápita<br/>2025<sup>a</sup></i> | <i>TTF<br/>1998</i> | <i>Tasa porcentual de<br/>crecimiento 1998</i> |
| <b>Escasez de agua en 1995 y/o 2025</b> |                                             |                                                 |                                             |                                                 |                     |                                                |
| <i>Arabia Saudita</i>                   | 18.3                                        | <b>249</b>                                      | 42.4                                        | <b>107</b>                                      | 6.4                 | 3.1                                            |
| <i>Argeria</i>                          | 28.1                                        | <b>527</b>                                      | 47.3                                        | <b>313</b>                                      | 4.4                 | 2.4                                            |
| <i>Bahrain</i>                          | 0.6                                         | <b>161</b>                                      | 0.9                                         | <b>104</b>                                      | 3.2                 | 2.0                                            |
| <i>Barbados</i>                         | 0.3                                         | <b>192</b>                                      | 0.3                                         | <b>169</b>                                      | 1.7                 | 0.5                                            |
| <i>Burundi</i>                          | 6.1                                         | <b>594</b>                                      | 12.3                                        | <b>292</b>                                      | 6.6                 | 2.5                                            |
| <i>Cabo Verde</i>                       | 0.4                                         | <b>777</b>                                      | 0.7                                         | <b>442</b>                                      | 5.3                 | 2.9                                            |
| <i>Comoros</i>                          | 0.6                                         | <b>1,667</b>                                    | 1.3                                         | <b>760</b>                                      | 5.1                 | 2.7                                            |
| <i>Chipre</i>                           | 0.7                                         | <b>1,208</b>                                    | 1.0                                         | <b>947</b>                                      | 2.1                 | 0.7                                            |
| <i>Egipto</i>                           | 62.1                                        | <b>936</b>                                      | 95.8                                        | <b>607</b>                                      | 3.6                 | 2.2                                            |
| <i>Etiopía</i>                          | 56.4                                        | <b>1,950</b>                                    | 136.3                                       | <b>807</b>                                      | 7.0                 | 2.5                                            |
| <i>Emiratos Árabes<br/>Unidos</i>       | 2.2                                         | <b>902</b>                                      | 3.3                                         | <b>604</b>                                      | 4.9                 | 2.2                                            |
| <i>Haití</i>                            | 7.1                                         | <b>1,544</b>                                    | 12.5                                        | <b>879</b>                                      | 4.8                 | 2.1                                            |
| <i>Irán</i>                             | 68.4                                        | <b>1,719</b>                                    | 128.3                                       | <b>916</b>                                      | 3.0                 | 1.8                                            |
| <i>Israel</i>                           | 5.5                                         | <b>389</b>                                      | 8.0                                         | <b>270</b>                                      | 2.9                 | 1.5                                            |
| <i>Jordania</i>                         | 5.4                                         | <b>318</b>                                      | 11.9                                        | <b>144</b>                                      | 4.4                 | 2.5                                            |
| <i>Kenya</i>                            | 27.2                                        | <b>1,112</b>                                    | 50.2                                        | <b>602</b>                                      | 4.5                 | 2.0                                            |
| <i>Kuwait</i>                           | 1.7                                         | <b>95</b>                                       | 2.9                                         | <b>55</b>                                       | 3.2                 | 2.3                                            |
| <i>Libia</i>                            | 5.4                                         | <b>111</b>                                      | 12.9                                        | <b>47</b>                                       | 6.3                 | 3.7                                            |
| <i>Malawi</i>                           | 9.7                                         | <b>1,933</b>                                    | 20.4                                        | <b>917</b>                                      | 5.9                 | 1.7                                            |
| <i>Malta</i>                            | 0.4                                         | <b>82</b>                                       | 0.4                                         | <b>71</b>                                       | 2.1                 | 0.6                                            |
| <i>Marruecos</i>                        | 26.5                                        | <b>1,131</b>                                    | 39.9                                        | <b>751</b>                                      | 3.3                 | 1.8                                            |
| <i>Omán</i>                             | 2.2                                         | <b>874</b>                                      | 6.5                                         | <b>295</b>                                      | 7.1                 | 3.9                                            |
| <i>Qatar</i>                            | 0.5                                         | <b>91</b>                                       | 0.8                                         | <b>64</b>                                       | 4.1                 | 1.7                                            |
| <i>Rwanda</i>                           | 5.2                                         | <b>1,215</b>                                    | 13.0                                        | <b>485</b>                                      | 6.0                 | 2.1                                            |
| <i>Singapur</i>                         | 3.3                                         | <b>180</b>                                      | 4.2                                         | <b>142</b>                                      | 1.7                 | 1.1                                            |
| <i>Somalia</i>                          | 9.5                                         | <b>1,422</b>                                    | 23.7                                        | <b>570</b>                                      | 7.0                 | 3.2                                            |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |            |         |            |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|---------|------------|-----|-----|
| <b>Sudáfrica</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 41.5  | 1,206      | 71.6    | <b>698</b> | 3.3 | 1.6 |
| <b>Túnez</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 9.0   | <b>434</b> | 13.5    | <b>288</b> | 3.2 | 1.9 |
| <b>Yemen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15.0  | <b>346</b> | 39.6    | <b>131</b> | 7.3 | 3.3 |
| <b>Tensión hídrica en 1995 y/ó 2025</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |            |         |            |     |     |
| <b>Afganistán</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 19.7  | 2,543      | 45.3    | 1,105      | 6.1 | 2.5 |
| <b>Bélgica</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 10.1  | 1,234      | 10.3    | 1,217      | 1.6 | 0.1 |
| <b>Burkina Faso</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 10.5  | 2,672      | 23.5    | 1,194      | 6.9 | 2.9 |
| <b>Corea del Sur</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 44.9  | 1,472      | 52.5    | 1,258      | 1.7 | 1.0 |
| <b>Eritrea</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3.2   | 2,775      | 6.5     | 1,353      | 6.1 | 3.0 |
| <b>Ghana</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 17.3  | 3,068      | 36.3    | 1,464      | 5.5 | 2.9 |
| <b>India</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 929.0 | 2,244      | 1,330.2 | 1,567      | 3.4 | 1.9 |
| <b>Líbano</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3.0   | 1,854      | 4.4     | 1,261      | 2.3 | 1.6 |
| <b>Lesoto</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.0   | 2,565      | 4.0     | 1,290      | 4.3 | 2.1 |
| <b>Mauricio</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.1   | 1,970      | 1.5     | 1,485      | 2.0 | 1.0 |
| <b>Níger</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 9.2   | 3,552      | 22.4    | 1,452      | 7.4 | 3.4 |
| <b>Nigeria</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 111.7 | 2,506      | 238.4   | 1,175      | 6.5 | 3.0 |
| <b>Perú</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 23.5  | 1,700      | 35.5    | 1,126      | 3.5 | 2.2 |
| <b>Polonia</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 38.6  | 1,458      | 40.0    | 1,406      | 1.6 | 0.1 |
| <b>Reino Unido</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 58.1  | 1,222      | 59.5    | 1,193      | 1.7 | 0.2 |
| <b>Tanzania</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 30.7  | 2,964      | 62.4    | 1,425      | 5.7 | 2.5 |
| <b>Togo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 4.1   | 2,938      | 8.8     | 1,370      | 6.8 | 3.6 |
| <b>Uganda</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 19.7  | 3,352      | 45.0    | 1,467      | 6.9 | 2.7 |
| <b>Zimbabwe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 11.2  | 1,787      | 19.3    | 1,034      | 4.4 | 1.5 |
| <p>Los países con tensión hídrica son los que disponen de recursos anuales de agua que oscilan entre los 1.000 y 1.700 metros cúbicos por persona; las cifras figuran en cursiva. Los países que sufren escasez de agua son los que tienen suministros anuales inferiores a 1.000 metros cúbicos por persona; las cifras figuran en <b>negrita</b>.</p> <p>TTF = tasa total de fecundidad</p> <p>°En metros cúbicos por año</p> <p>Fuente: Gardner-Outlaw y Engelman, <i>Sustaining water, easing scarcity: A second update</i>, Washington, D.C., Population Action International, 1997 (69). Gardner-Outlaw y Engelman basan sus cálculos en las estimaciones de la División de Población de las Naciones Unidas. La tasa de crecimiento y los datos sobre la TTF provienen de: Population Reference Bureau, <i>World Population Data Sheet</i>, 1998, Wahsington, D.C., 1998.</p> |       |            |         |            |     |     |

## Cuadro 2.

## Principales enfermedades relacionadas con el agua

| <i>Enfermedades</i>                                                         | <i>Causa y vía de transmisión</i>                                                                                                                                                                                                                               | <i>Extensión geográfica</i>                              | <i>Número de casos<sup>a</sup></i> | <i>Defunciones por año</i> |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| <b>Principales enfermedades transmitidas por el agua</b>                    |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                          |                                    |                            |
| <b>Disentería amebiana</b>                                                  | Los protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.                                                                                                                                    | Todo el mundo                                            | 500 millones por año               | *                          |
| <b>Disentería bacilar</b>                                                   | Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.                                                                                                                                    | Todo el mundo                                            | *                                  | *                          |
| <b>Enfermedades diarreicas (inclusive la disentería amebiana y bacilar)</b> | Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.                                                                                                            | Todo el mundo                                            | 4.000 mil millones actualmente     | 3-4 millones               |
| <b>Cólera</b>                                                               | Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.                                                                                                                                    | Sudamérica, África, Asia                                 | 384.000 por año                    | 20.000                     |
| <b>Hepatitis A</b>                                                          | El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.                                                                                                                                          | Todo el mundo                                            | 600.000 a 3 millones por año       | 2.400 a 12.000             |
| <b>Fiebre paratifoidea y tifoidea</b>                                       | Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.                                                                                                                                    | 80% en Asia, 20% en América Latina, África               | 16 millones actualmente            | 600.000                    |
| <b>Poliomielitis</b>                                                        | El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.                                                                                                                                          | 66% en la India, 34% en el Cercano Oriente, Asia, África | 82.000 actualmente                 | 9.000                      |
| <b>Principales enfermedades con base en el agua</b>                         |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                          |                                    |                            |
| <b>Ascariasis</b>                                                           | Los huevos fecundados se expulsan con las heces humanas. Las larvas de los huevos se desarrollan en la tierra caliente. El hombre ingiere la tierra que está sobre los alimentos. Las larvas salidas de los huevos penetran la pared intestinal, donde maduran. | África, Asia, América Latina                             | 250 millones actualmente           | 60.000                     |

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                        |                          |                    |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| <b><i>Clonorquiasis</i></b>               | Los gusanos se reproducen en caracoles gastrópodos, luego los tragan peces de agua dulce u otros caracoles. Cuando el hombre come pescado crudo o poco cocinado, los gusanos migran a los conductos biliares y ponen huevos.                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Asia Sudoriental                                                                                       | 28 millones actualmente  | Ninguna notificada |
| <b><i>Dracunculosis (guinea worm)</i></b> | El gusano de Guinea ( <i>Dracunculus medinensis</i> ) es ingerido por el cílope (un crustáceo). Cuando el hombre digiere el cílope, las larvas del gusano se liberan dentro del estómago. Las larvas penetran la pared intestinal, luego se desarrollan, transformándose en gusanos, y migran a través de los tejidos. Después de un año, el gusano adulto llega a la superficie de la piel de las extremidades inferiores. La hembra entra en contacto con el agua y despiden las larvas dentro del agua.       | 78% en Sudán, 22% en otros países africanos al sur del Sahara y algunos casos en la India y Yemen      | 153.000 por año          | Ninguna notificada |
| <b><i>Paraquimiasis</i></b>               | Los gusanos que viven en quistes pulmonares ponen huevos en los pulmones humanos que se expectoran y luego se tragan. Los huevos de los gusanos se expulsan con las heces y se rompen en el agua dulce. Las larvas encuentran caracoles huéspedes en los cuales se reduplican, luego se mudan a cangrejos o cangrejos de río. El hombre come mariscos y pescados de mar sin cocinar. Los gusanos migran en parejas del estómago a través de la pared y el diafragma intestinal a los pulmones, donde se aparean. | Lejano Oriente, América Latina                                                                         | 5 millones actualmente   | Ninguna notificada |
| <b><i>Esquistosomiasis</i></b>            | Los huevos del gusano esquistosoma se expulsan con las heces humanas. Los huevos hacen eclosión en contacto con el agua, liberando el parásito miracidium. El parásito se traslada adentro de un caracol de agua dulce, donde se reduplica. Se libera otra vez dentro del agua, luego penetra en la piel del hombre en unos segundos y pasa a los vasos                                                                                                                                                          | África, Cercano Oriente, faja de bosque húmedo en África Central, Pacífico Occidental, Kampuchea, Laos | 200 millones actualmente | 20.000             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                   |                                     |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | sanguíneos. En 30 a 45 días, miracidium crece y se convierte en gusano, que puede poner de 200 a 2.000 huevos por día por un promedio de 5 años.                                                                                                   |                                                                   |                                     |                      |
| <b>Principales enfermedades vectoriales relacionadas con el agua</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                   |                                     |                      |
| <b>Dengue</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Un mosquito recoge el virus de un ser humano o animal infectado. El virus tiene un período de incubación de 8 a 12 días y se reduplica. En la próxima ingesta de sangre del mosquito, el virus se inyecta en la sangre humana.                     | Todo medio ambiente; tropical en Asia, Centroamérica y Sudamérica | 50-100 millones por año             | 24.000               |
| <b>Filariasis (incluida la elephantiasis)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Las larvas son ingeridas por un mosquito y se desarrollan. Cuando el mosquito infectado pica a un ser humano, las larvas penetran la punción y llegan a los vasos linfáticos, donde se reproducen.                                                 | África, Mediterráneo Oriental, Asia, Sudamérica                   | 120 millones actualmente            | Ninguna notificada   |
| <b>Paludismo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Los protozoos se desarrollan en el intestino del mosquito y se expulsan con la saliva en cada ingesta de sangre. Los parásitos son transportados por la sangre al hígado del hombre, donde invaden las células y se multiplican.                   | África, Asia Sudoriental, India, Sudamérica                       | 300-500 millones por año (clinical) | 2 millones           |
| <b>Oncocercosis (ceguera de los ríos)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Los embriones del gusano son ingeridos por jejenes. Los embriones se desarrollan y se convierten en larvas dentro de los jejenes, que inyectan las larvas en el hombre al picarlo.                                                                 | África Subsahariana, América Latina                               | 18 millones actualmente             | Ninguna notificada** |
| <b>Fiebre del Valle del Rift (FVR)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | El virus generalmente existe en huéspedes animales. Los mosquitos y otros insectos chupadores de sangre recogen el virus y lo inyectan en la sangre del hombre. Éste también se infecta cuando trabaja con humores corporales de animales muertos. | África Subsahariana                                               | ND                                  | 1% de los casos      |
| <p><sup>a</sup> El número de casos se presenta como incidencia ("por año") —el número de nuevos casos ocurridos en un año— o como prevalencia ("actualmente") —el número de casos existentes en un momento dado.</p> <p>*Incluidas las enfermedades diarreicas</p> <p>**No hay defunciones, pero causa 270.000 casos notificados de ceguera anualmente.</p> <p>ND = no disponible</p> <p>Fuente: WHO 1996 (205), excepto disentería amebiana, disentería bacilar, dracunculosis, dengue y FVR, de WHO 1998 (200); y clonorquiasis y paragonimiasis, de Muller y Morera, 1994 (119).</p> |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                   |                                     |                      |