

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**“ESTUDIO DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL C.P.M CAMPO NUEVO,  
DISTRITO DE GUADALUPITO, PROVINCIA VIRÚ,  
DEPARTAMENTO LA LIBERTAD”**

**TESISTAS:**

BACH. CHÁVEZ ARMAS JHON LARRY

BACH. LÓPEZ ARIAS HÉCTOR ALFREDO

**ASESORA:**

ING. JANET VERÓNICA SAAVEDRA VERA

**Nuevo Chimbote – Enero 2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**“ESTUDIO DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL C.P.M CAMPO NUEVO,  
DISTRITO DE GUADALUPITO, PROVINCIA VIRÚ,  
DEPARTAMENTO LA LIBERTAD”**

REVISADO POR:

---

ING. JANET VERÓNICA SAAVEDRA VERA  
ASESORA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**“ESTUDIO DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL C.P.M CAMPO NUEVO,  
DISTRITO DE GUADALUPITO, PROVINCIA VIRÚ,  
DEPARTAMENTO LA LIBERTAD”**

SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUENTE JURADO: EL 17 ABRIL DEL 2015

---

**ING. EDGAR SPARROW ALAMO**  
PRESIDENTE

---

**ING. CIRILO OLASCUAGA CRUZADO**  
INTEGRANTE

---

**ING. JANET VERÓNICA SAAVEDRA VERA**  
INTEGRANTE



## **DEDICATORIA**

A **DIOS**, quien me guía con su luz y verdad y está presente en todos los pasos de mi vida.

A mi Madre, por estar siempre presente con ese amor incomparable, sabios consejos, abnegada labor y enseñarme a valorar todas las cosas que se logran en la vida. A mi Padre, porque de ti aprendí cosas buenas , y que no todo es fácil en la vida.

A mis hermanas; por esa unidad, por su cariño, por ese apoyo incondicional y por ser también mis motivos para seguir adelante.

A mis entrañables Amigos, por esos desvelos, paciencia y el apoyo frente a las adversidades, por esa amistad, la cual agradezco a Dios.

***JHON LARRY***



## DEDICATORIA

A **DIOS**, por regalarme la vida y por guiarme en cada paso que doy en ella.

A mi Madre, por cuidar de mí desde que estuve en su vientre, por dedicarme su vida entera, por estar siempre a mi lado, porque de niño me llevaste de la mano y porque te mereces muchas alegrías, te amo mucho Mamá. A mi Padre, porque de ti aprendí cosas buenas, por ser como eres y como siempre serás, te quiero Papá.

A mis hermanos por su cariño, paciencia, y conocimientos que me transmitieron a lo largo de mi vida.

A todos mis **Familiares, Compañeros de Trabajo e Ingenieros**, por las muestras de aprecio y oportunidades brindadas.

**HÉCTOR**



## **AGRADECIMIENTO**

En forma muy especial agradecemos a Dios, a nuestros padres, hermanos y familiares; por estar siempre presentes, por ese cariño y apoyo incondicional en todo momento.

A nuestros amigos de ayer, hoy y siempre, por los consejos, la motivación y el apoyo que nos brindaron oportunamente para dar un paso más en nuestra vida profesional.

A nuestro asesora Ing. Janet Verónica Saavedra Vera, por su orientación y apoyo durante el desarrollo de la presente Tesis.

A nuestros Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por los conocimientos brindados, dándonos una formación ética y profesional.

A todos muchas gracias, pues en el momento en que las palabras suficientes para expresar lo que el alma desea, rebasan un tomo, simplemente queda decir aquello que por su significado extenso y sin límites es, GRACIAS.

**CHAVEZ ARMAS & LOPEZ ARIAS**



## **INDICE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES .....</b>           | <b>13</b> |
| 1.1 GENERALIDADES .....                               | 13        |
| 1.1.1 TÍTULO.....                                     | 13        |
| 1.1.2 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN .....             | 13        |
| 1.1.3 UBICACIÓN DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO ..... | 13        |
| 1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN .....                      | 14        |
| 1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                | 15        |
| 1.2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....                    | 16        |
| 1.2.3 OBJETIVOS .....                                 | 17        |
| 1.2.4 HIPÓTESIS .....                                 | 18        |
| 1.2.5 VARIABLES E INDICADORES .....                   | 18        |
| 1.2.6 ESTRATEGIA DE TRABAJO .....                     | 18        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>               | <b>22</b> |
| 2.1 AGUA .....  | 22        |
| 2.1.1 Definición.....                                 | 22        |
| 2.1.2 Tipos de agua.....                              | 23        |
| 2.1.3 Propiedades físicas y químicas .....            | 29        |
| 2.1.4 El ciclo del agua .....                         | 36        |
| 2.1.5 El agua dulce en la naturaleza .....            | 39        |



|   |     |
|---|-----|
| 2.2 AGUA SUBTERRANEA .....  | 41  |
| 2.2.1 Importancia y distribución de las aguas subterráneas.....                                   | 42  |
| 2.2.2 El nivel freático .....   | 46  |
| 2.2.3 Interacción entre las aguas subterráneas y las aguas corrientes.....                        | 50  |
| 2.2.4 Factores que influyen en el almacenamiento y la circulación de las aguas subterráneas ..... | 53  |
| 2.2.5 Circulación de las aguas subterráneas .....   | 56  |
| 2.2.6 Acuífero.....   | 61  |
| 2.2.7 Manantiales o fuentes .....   | 66  |
| 2.2.8 Pozos de agua .....   | 70  |
| 2.2.9 Pozos artesianos.....   | 73  |
| 2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA .....  | 78  |
| 2.3.1 Problemas relacionados con la extracción del agua subterránea .....                         | 78  |
| 2.3.2 Contaminación salina .....  | 81  |
| 2.3.3 Contaminación del agua subterránea.....   | 85  |
| 2.4 CALIDAD DEL AGUA.....   | 93  |
| 2.4.1 Características físicas .....   | 95  |
| 2.4.2 Características químicas .....  | 106 |
| 2.5 EL AGUA POTABLE .....   | 161 |
| 2.5.1 Aspectos fisicoquímicos .....   | 161 |
| 2.5.2 Criterios de calidad del agua para consumo humano .....                                     | 162 |
| 2.6 EL REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO .....                                | 164 |
| 2.6.1 Abastecimiento de agua, proveedor y consumidor.....   | 164 |



|   |            |
|---|------------|
| 2.6.2 Requisitos de calidad del agua para consumo humano .....        | 169        |
| <b>CAPÍTULO III: RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>                       | <b>181</b> |
| 3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA FUENTE DE<br>ABASTECIMIENTO ..... | 181        |
| 3.2 EL RESERVORIO ACUÍFERO SUBTERRÁNEO .....                          | 184        |
| 3.2 FOTOGRAFIAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....                            | 186        |
| <b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>                       | <b>189</b> |
| 4.1 HIDROGEOQUÍMICA.....  | 189        |
| 4.2 POTABILIDAD DE LAS AGUAS .....                                    | 190        |
| <b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>               | <b>194</b> |
| 5.1 CONCLUSIONES.....   | 194        |
| 5.2 RECOMENDACIONES .....   | 196        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                               | <b>198</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>200</b> |



## RESUMEN

El agua que se usa para que las personas la beban, se llama potable. El agua potable debe ser transparente, sin olor y sin sabor; si el agua se ve turbia, no debe consumirse porque puede contener impurezas y provocar enfermedades. Cuando el agua contiene sustancias o microorganismos ajenos a ella, entonces está contaminada. El agua se contamina cuando se mezcla con basura, detergentes, minerales o cualquier desecho de las casas o las fábricas.

El estudio de la fuente de abastecimiento de agua potable en el C.P.M Campo Nuevo, ha permitido conocer las características Físicas, Químicos y Bacteriológicos del agua, determinando el nivel de contaminación del acuífero debido a la existencia de una laguna de oxidación dentro de los humedales, notificando el riesgo al que está expuesta la población y que constituye un problema de salud pública que se debe atender con urgencia.



## **ABSTRACT**

The water that is used in order that the persons drink it, calls drinkable. The drinkable water must be transparent, without smell and without flavor; if the water meets turbid, it must not be consumed because it can contain impurities and provoke diseases. When the water contains substances or microorganisms foreign to she, then it is contaminated. The water contaminates when it is mixed by garbage, detergents, minerals or any waste of the houses or the factories.

The study of the source of supply of drinkable water in the C.P.M New Field, has allowed to know the Physical characteristics, Chemical and Bacteriological of the water, determining the level of pollution of the aquiferous one due to the existence of a lagoon of oxidation inside the wetlands, notifying the risk to which the population is exposed and which constitutes a problem of public health to that it is necessary to to attend urgently.



## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para los seres vivos y para los humanos.

Su importancia estriba en los siguientes aspectos:

1. Es fuente de vida: Sin ella no pueden vivir ni las plantas, ni los animales ni el ser humano.
2. Es indispensable en la vida diaria:

El agua que se usa para que las personas la beban, se llama potable. El agua potable debe ser transparente, sin olor y sin sabor; si el agua se ve turbia, no debe consumirse porque puede contener impurezas y provocar enfermedades.

Cuando el agua contiene sustancias o microorganismos ajenos a ella, entonces está contaminada. El agua se contamina cuando se mezcla con basura, detergentes, minerales o cualquier desecho de las casas o las fábricas.

El estudio de la fuente de abastecimiento de agua potable en el C.P.M Campo Nuevo, ha permitido conocer las características Físicas, Químicos y Bacteriológicos del agua, determinándose el nivel de contaminación del acuífero debido a la existencia de una laguna de oxidación dentro de los humedales, manifestamos el riesgo al que está expuesta la población y que constituye un problema de salud pública que se debe atender con urgencia



# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**



## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 GENERALIDADES:**

#### **1.1.1 TÍTULO.**

**“ESTUDIO DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL C.P.M CAMPO NUEVO, DISTRITO DE GUADALUPITO, PROVINCIA VIRÚ, DEPARTAMENTO LA LIBERTAD”**

#### **1.1.2 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **NIVEL DE INVESTIGACIÓN.**

El nivel de investigación es:

EXPERIMENTAL, porque la variable independiente influenciará a la variable dependiente ya que el resultado de este se dará de acuerdo a cuanto estén estudiadas.

##### **TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

El tipo de investigación al que pertenece es: CUANTITATIVO.

#### **1.1.3 UBICACIÓN DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO**

DEPARTAMENTO : La Libertad.

PROVINCIA : Virú.

DISTRITO : Guadalupito

C.P.M. : Campo Nuevo



## 1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN

Antes de la aparición del cólera en el Perú en el año 1991, casi todos los países de América Latina y el Caribe concentraban su atención en la cantidad antes que en la calidad del agua de consumo humano. Hoy en día, existe un mayor interés de las autoridades en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, prestándose mayor atención a los aspectos de vigilancia y control de los mismos. Muchos países se han visto motivados a ejecutar programas de vigilancia y control de la calidad el agua de consumo humano como parte de las intervenciones de salud ambiental para prevenir la transmisión de las enfermedades del tipo gastro-intestinal incluyendo el cólera.

La calidad del agua de consumo humano tiene una fuerte incidencia en la salud de las personas, como consecuencia de que sirve como vehículo de muchos microorganismos de origen gastro- intestinal y patógeno al hombre. Entre los a gentes patógenos de mayor representatividad que pueden estar presentes en el agua se tienen a las bacterias, virus y en menor cuantía a los protozoos y helmintos. Estos microorganismos difieren ampliamente en tamaño, estructura y constitución, lo que explica que su supervivencia en el medio ambiente así como su resistencia a los procesos de tratamiento, difieran significativamente.

El Perú, país privilegiado por su oferta hídrica, dispone de un volumen anual promedio de 2<sup>o</sup>046,287 MMC de agua, ubicándose entre los 20 países más ricos del mundo con 72,510 metros cúbicos/habitante/año.



En la Reunión Regional sobre la Calidad del Agua realizado en la ciudad de Lima –Perú en el año 1996 en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), una de las recomendaciones formuladas fue la de desarrollar programas de vigilancia y control de la calidad del agua de consumo humano. Programas aún no han sido implementados en Juntas administradoras de los servicios de saneamiento del distrito de Guadalupito, que involucran diversos centros poblados entre ellos el C.P.M Campo Nuevo.

### **1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción; muchas de nuestras poblaciones se ven obligados a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sin fin de enfermedades a niños y adultos.

El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho humano fundamental, en este contexto es necesario investigar y analizar la calidad del agua potable que consume el C.P.M Campo Nuevo y sus alrededores.

El “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, presenta los requisitos Oficiales Físicos, Químicos y Bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser



consideradas potables, en el que, no solo establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos, se refiere; sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la DIGESA, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.

Todo sistema de abastecimiento de agua para consumo humano existente, nuevo, ampliación o mejoramiento debe contar con registro de sus fuentes, registro del sistema de abastecimiento y autorización sanitaria de sistemas de tratamiento, plan de control de calidad (PCC), a fin de garantizar la inocuidad del agua de consumo humano para la protección de la salud; realidad que a la fecha no se cumple.

### **1.2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Desde la puesta en funcionamiento del servicio de agua potable en el C.P.M Campo Nuevo, el gobierno local, Provincial, Regional y los organismos de salud no han realizado un control de la calidad del agua potable; peor aún dentro de los humedales donde se encuentra la fuente de abastecimiento de agua, se ha realizado la



construcción de una laguna de oxidación, poniendo en eminente riesgo a la población.

Sabemos, que todo sistema de abastecimiento de agua para consumo humano existente, nuevo, ampliación o mejoramiento debe contar con registro de sus fuentes, registro del sistema de abastecimiento y autorización sanitaria de sistemas de tratamiento, plan de control de calidad (PCC), a fin de garantizar la inocuidad del agua de consumo humano para la protección de la salud; realidad que a la fecha no se cumple.

La presente investigación responderá la pregunta:

¿LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA QUE UTILIZA EL C.P.M DE CAMPO NUEVO, ES APTA PARA CONSUMO HUMANO?

### **1.2.3 OBJETIVOS.**

#### **OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar la calidad del agua de la fuente de abastecimiento que utiliza el C.P.M Campo Nuevo.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar los requisitos Físicos, Químicos y Bacteriológicos de la fuente de abastecimiento de agua potable del C.P.M Campo Nuevo.
- Elaborar el Plan de control de la calidad (PCC)



#### **1.2.4 HIPÓTESIS.**

El agua para consumo humano del C.P.M Campo Nuevo no cumple con los requisitos Físicos, Químicos y Bacteriológicos de calidad.

#### **1.2.5 VARIABLES E INDICADORES**

##### **VARIABLE INDEPENDIENTE.**

Fuente de abastecimiento de agua potable - Agua subterránea – Campo Nuevo.

##### **VARIABLE DEPENDIENTE.**

Parámetros Físicos, Químicos y Bacteriológicos del agua subterránea.

#### **1.2.6 ESTRATEGIA DE TRABAJO**

##### **METODOLOGÍA DE ESTUDIO:**

Para el desarrollo de la investigación, se considerado la siguiente metodología cuyo desarrollo es el siguiente:

- a. Planteamiento del problema.
- b. Marco teórico recuperación y evaluación de la información.
- c. Redacción y revisión de los capítulos.
- d. Ensayos de laboratorio.
- e. Evaluación e interpretación de los resultados obtenidos.



El trabajo buscó en su primera etapa, recopilar, elaborar y presentar los conceptos DE CALIDAD DEL AGUA para consumo humano y su normatividad.

En segunda etapa se realizaron los ensayos de laboratorio:

- Se realizaron los ensayos físico, químico y bacteriológico de las muestras de agua obtenida en la fuente de abastecimiento de agua potable - pozo profundo.
- Se determinarán los siguientes parámetros:
  - a) **Parámetros microbiológicos:** Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano analizados en el agua de consumo humano.
  - b) **Parámetros organolépticos:** Son los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos cuya presencia en el agua para consumo humano pueden ser percibidos por el consumidor a través de su percepción sensorial.
  - c) **Parámetros inorgánicos:** Son los compuestos formados por distintos elementos pero que no poseen enlaces carbono-hidrógeno analizado del agua de consumo humano.
  - d) **Parámetros de control obligatorio (PCO):** Son los parámetros que todo proveedor de agua debe realizar obligatoriamente al agua para consumo humano.



## **POBLACIÓN MUESTRAL**

### **POBLACIÓN.**

Se tomó como población, el agua del pozo tubular que consume el C:P.M Campo Nuevo.

### **SELECCIÓN DE LA MUESTRA.**

Se tomaron muestras representativas en la fuente de abastecimiento de agua – pozo tubular y en los puntos más alejados de la red de agua potable.

### **TÉCNICA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.**

La recolección de las muestras se realizó conforme indicaron las Normas y Protocolos de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua, según la normatividad peruana.



## **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEÓRICO**



## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 AGUA**

#### **2.1.1 Definición.**

Proviene del latín *aqua*, es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno (H<sub>2</sub>O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. En el uso más común, es cuando está en estado líquido, pero la misma puede hallarse también sólida, conocida como hielo, y en forma gaseosa que se llama Vapor.

El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. En la Tierra, se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares tiene el 1,74%, los depósitos subterráneos en (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, la humedad del suelo, Atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

Contrario a la creencia popular, el agua es un elemento bastante común en el sistema solar y esto cada vez se confirma con nuevos descubrimientos. Se puede encontrar agua principalmente en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas, y el vapor compone la cola de ellos.



### 2.1.2 Tipos de agua

El agua se puede presentar en tres estados siendo de las pocas sustancias que pueden encontrarse en los tres estados de forma natural. El agua adopta formas muy distintas sobre la Tierra: como vapor de agua, conformando nubes en el Aire; como agua marina, eventualmente en forma de icebergs en los océanos; en glaciares y ríos en las montañas, y en los acuíferos subterráneos en forma líquida.

Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación, y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan tanto vapor de agua como el que se vierte en los mares mediante su curso sobre la tierra, en una cantidad aproximada de 45.000 km<sup>3</sup> al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74.000 km<sup>3</sup> anuales a causar precipitaciones de 119.000 km<sup>3</sup> al año.

Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce se consume en la Agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose como medio en la refrigeración, el transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe del orden del 10% restante.



El agua potable es esencial para todas las formas de vida, incluida la humana. El acceso al agua potable se ha incrementado sustancialmente durante las últimas décadas en la práctica totalidad de la superficie terrestre. Sin embargo estudios de la FAO, estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes del 2030; en esos países es urgente un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego.

El agua puede disolver muchas sustancias, dándoles diferentes sabores y olores. Como consecuencia de su papel imprescindible para la vida, el ser humano -entre otros muchos animales- ha desarrollado sentidos capaces de evaluar la potabilidad del agua, que evitan el consumo de agua salada o putrefacta. Los humanos también suelen preferir el consumo de agua fría a la que está tibia, puesto que el agua fría es menos propensa a contener microbios. El sabor perceptible en el agua de deshielo y el agua mineral se deriva de los minerales disueltos en ella; de hecho el agua pura es insípida. Para regular el consumo humano, se calcula la pureza del agua en función de la presencia de toxinas, agentes contaminantes y microorganismos.

El agua recibe diversos nombres, según su forma y características:

**a) Según su estado físico:**



- Hielo (estado sólido)
- Agua (estado líquido)
- Vapor (estado gaseoso)

**b) Según su posición en el ciclo del agua:**

- Hidrometeoro
  - Precipitación

***Precipitación según desplazamiento***

- ❖ precipitación vertical
  - lluvia
  - lluvia congelada
  - llovizna
  - lluvia helada
  - nieve
  - granizo blando
  - gránulos de nieve
  - perdigones de hielo
  - aguanieve
  - pedrisco
  - cristal de hielo
- ❖ precipitación horizontal (asentada)
  - rocío
  - escarcha
  - congelación atmosférica
  - hielo glaseado



- ❖ Precipitación líquida
  - lluvia
  - lluvia helada
  - llovizna
  - llovizna helada
  - rocío
- ❖ precipitación sólida
  - nevasca
  - granizo blando
  - gránulos de nieve
  - perdigones de hielo
  - lluvia helada
  - granizo
  - prismas de hielo
  - escarcha
  - congelación atmosférica
  - hielo glaseado
  - aguanieve
- ❖ precipitación mixta
  - con temperaturas cercanas a los 0 °C
- ❖ partículas en suspensión
  - Nubes
  - Niebla
  - bruma



❖ partículas en ascenso (impulsadas por el viento)

- ventisca
- nieve revuelta

**c) Según su circunstancia**

- agua subterránea
- agua de deshielo
- agua meteórica
- agua inherente – la que forma parte de una roca
- agua fósil
- agua dulce
- agua superficial
- agua mineral – rica en minerales
- Agua salobre ligeramente salada
- agua muerta – extraño fenómeno que ocurre cuando una masa de agua dulce o ligeramente salada circula sobre una masa de agua más salada, mezclándose ligeramente. Son peligrosas para la navegación.
- agua de mar
- salmuera - de elevado contenido en sales, especialmente cloruro de sodio.

**d) según sus usos**

- agua embotellada



- agua potable – la apropiada para el consumo humano, contiene un valor equilibrado de minerales que no son dañinos para la salud.
- agua purificada – corregida en laboratorio o enriquecida con algún agente – Son aguas que han sido tratadas para usos específicos en la ciencia o la ingeniería. Lo habitual son tres tipos:
  1. agua destilada
  2. agua de doble destilación
  3. agua des ionizada

**e) atendiendo a otras propiedades**

- agua blanda – pobre en minerales
- agua dura – de origen subterráneo, contiene un elevado valor mineral
- o agua de cristalización — es la que se encuentra dentro de las redes cristalinas.
- hidratos — agua impregnada en otras sustancias químicas
- agua pesada – es un agua elaborada con átomos pesados de hidrógeno-deuterio. En estado natural, forma parte del agua normal en una concentración muy reducida. Se ha utilizado para la construcción de dispositivos nucleares, como reactores.
- agua de tritio



- agua negra
- aguas grises
- agua disfórica

**f) según la microbiología**

- agua potable
- agua residual
- agua lluvia o agua de superficie

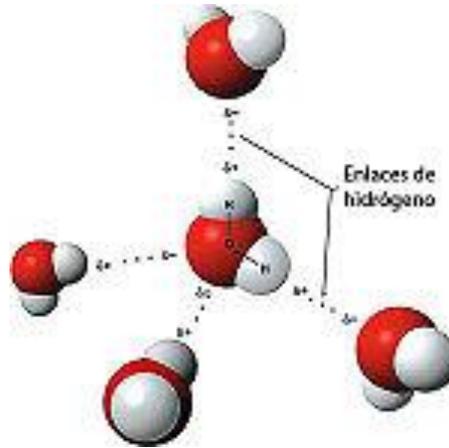
El agua es también protagonista de numerosos ritos religiosos. Se sabe de infinidad de ceremonias ligadas al agua. El cristianismo, por ejemplo, ha atribuido tradicionalmente ciertas características al agua bendita. Existen también otros tipos de agua que después de cierto proceso adquieren supuestas propiedades, como el agua vitalizada.

### **2.1.3 Propiedades físicas y químicas**

Enlaces de hidrógeno entre moléculas de agua. El impacto de una gota sobre la superficie del agua provoca unas ondas características, llamadas ondas capilares.

Acción capilar del agua y el mercurio.

El agua es una sustancia que químicamente se formula como  $H_2O$ ; es decir, que una molécula de agua se compone de dos átomos de hidrógeno enlazados covalentemente a un átomo de oxígeno.



Estructura del agua

Fue Henry Cavendish quien descubrió en 1781 que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento, como se pensaba desde la Antigüedad. Los resultados de dicho descubrimiento fueron desarrollados por Antoine Laurent de Lavoisier dando a conocer que el agua estaba formada por oxígeno e hidrógeno. En 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista y geógrafo alemán Alexander von Humboldt demostraron que el agua estaba formada por dos volúmenes de hidrógeno por cada volumen de oxígeno (H<sub>2</sub>O).



Gota de agua



*Las propiedades fisicoquímicas más notables del agua son:*

- El agua es insípida e inodora en condiciones normales de presión y temperatura. El color del agua varía según su estado: como líquido, puede parecer incolora en pequeñas cantidades, aunque en el espectrógrafo se prueba que tiene un ligero tono azul verdoso. El hielo también tiende al azul y en estado gaseoso (vapor de agua) es incolora.



Agua

- El agua bloquea sólo ligeramente la radiación solar UV fuerte, permitiendo que las plantas acuáticas absorban su energía.
- Ya que el oxígeno tiene una electronegatividad superior a la del hidrógeno, el agua es una molécula polar. El oxígeno tiene una



ligera carga negativa, mientras que los átomos de hidrógenos tienen una carga ligeramente positiva del que resulta un fuerte momento dipolar eléctrico. La interacción entre los diferentes dipolos eléctricos de una molécula causa una atracción en red que explica el elevado índice de tensión superficial del agua.

- La fuerza de interacción de la tensión superficial del agua es la fuerza de Van der Waals entre moléculas de agua. La aparente elasticidad causada por la tensión superficial explica la formación de ondas capilares. A presión constante, el índice de tensión superficial del agua disminuye al aumentar su temperatura. También tiene un alto valor adhesivo gracias a su naturaleza polar.
- La capilaridad se refiere a la tendencia del agua de moverse por un tubo estrecho en contra de la fuerza de la gravedad. Esta propiedad es aprovechada por todas las plantas vasculares, como los árboles.
- Otra fuerza muy importante que refuerza la unión entre moléculas de agua es el enlace por puente de hidrógeno.
- El punto de ebullición del agua (y de cualquier otro líquido) está directamente relacionado con la presión atmosférica. Por ejemplo, en la cima del Everest, el agua hierve a unos  $68^{\circ}$  C, mientras que al nivel del mar este valor sube hasta  $100^{\circ}$ . Del mismo modo, el agua cercana a fuentes geotérmicas puede alcanzar temperaturas de cientos de grados centígrados y



seguir siendo líquida. Su temperatura crítica es de 373.85 °C (647,14° K), su valor específico de fusión es de 0,334 kJ/g y su índice específico de vaporización es de 2,23kJ/g.

- El agua es un disolvente muy potente, al que se ha catalogado como el disolvente universal, y afecta a muchos tipos de sustancias distintas. Las sustancias que se mezclan y se disuelven bien en agua -como las sales, azúcares, ácidos, álcalis, y algunos gases (como el oxígeno o el dióxido de carbono, mediante carbonación)- son llamadas hidrófilas, mientras que las que no combinan bien con el agua -como lípidos y grasas- se denominan sustancias hidrofóbicas. Todos los componentes principales de las células de proteínas, ADN y polisacáridos se disuelven en agua. Puede formar un azeótropo con muchos otros disolventes.
- El agua es miscible con muchos líquidos, como el Etanol, y en cualquier proporción, formando un líquido homogéneo. Por otra parte, los aceites son inmiscibles con el agua, y forman capas de variable densidad sobre la superficie del agua. Como cualquier gas, el vapor de agua es miscible completamente con el aire.
- El agua pura tiene una conductividad eléctrica relativamente baja, pero ese valor se incrementa significativamente con la disolución de una pequeña cantidad de material iónico, como el cloruro de sodio.



- El agua tiene el segundo índice más alto de capacidad calorífica específica -sólo por detrás del amoníaco- así como una elevada entalpía de vaporización ( $40.65 \text{ kJ mol}^{-1}$ ); ambos factores se deben al enlace de hidrógeno entre moléculas. Estas dos inusuales propiedades son las que hacen que el agua "modere" las temperaturas terrestres, reconduciendo grandes variaciones de energía.
- Animación de como el hielo pasa a estado líquido en un vaso. Los 50 minutos transcurridos se concentran en 7 segundos.



Hielo de agua

- La Densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad ( $0,958 \text{ kg/l}$ ) a los  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Al bajar la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  tiene  $0,965 \text{ kg/l}$ ) y ese aumento es constante hasta llegar a los  $3,8 \text{ }^\circ\text{C}$  donde alcanza una densidad



de 1 kg/litro. Esa temperatura (3,8 °C) representa un punto de inflexión y es cuando alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a disminuir, aunque muy lentamente (casi nada en la práctica), hasta que a los 0° disminuye hasta 0,9999 kg/litro. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0,9999 kg/l a 0,917 kg/l.

- El agua puede descomponerse en partículas de Hidrógeno y Oxígeno mediante electrólisis.
- Como un óxido de hidrógeno, el agua se forma cuando el hidrógeno -o un compuesto conteniendo hidrógeno- se quema o reacciona con oxígeno -o un compuesto de oxígeno-. El agua no es combustible, puesto que es un producto residual de la combustión del hidrógeno. La energía requerida para separar el agua en sus dos componentes mediante electrólisis es superior a la energía desprendida por la recombinación de hidrógeno y oxígeno. Esto hace que el agua, en contra de lo que sostienen algunos rumores,[16] no sea una fuente de energía eficaz.
- Los elementos que tienen mayor electropositividad que el hidrógeno -como el litio, el sodio, el calcio, el potasio y el cesio- desplazan el hidrógeno del agua, formando hidróxidos. Dada su naturaleza de gas inflamable, el hidrógeno liberado es



peligroso y la reacción del agua combinada con los más electropositivos de estos elementos es una violenta explosión.

- Actualmente se sigue investigando sobre la naturaleza de este compuesto y sus propiedades, a veces traspasando los límites de la ciencia convencional. En este sentido, el investigador John Emsley, divulgador científico, dijo en cierta ocasión del agua que "(Es) una de las sustancias químicas más investigadas, pero sigue siendo la menos entendida".

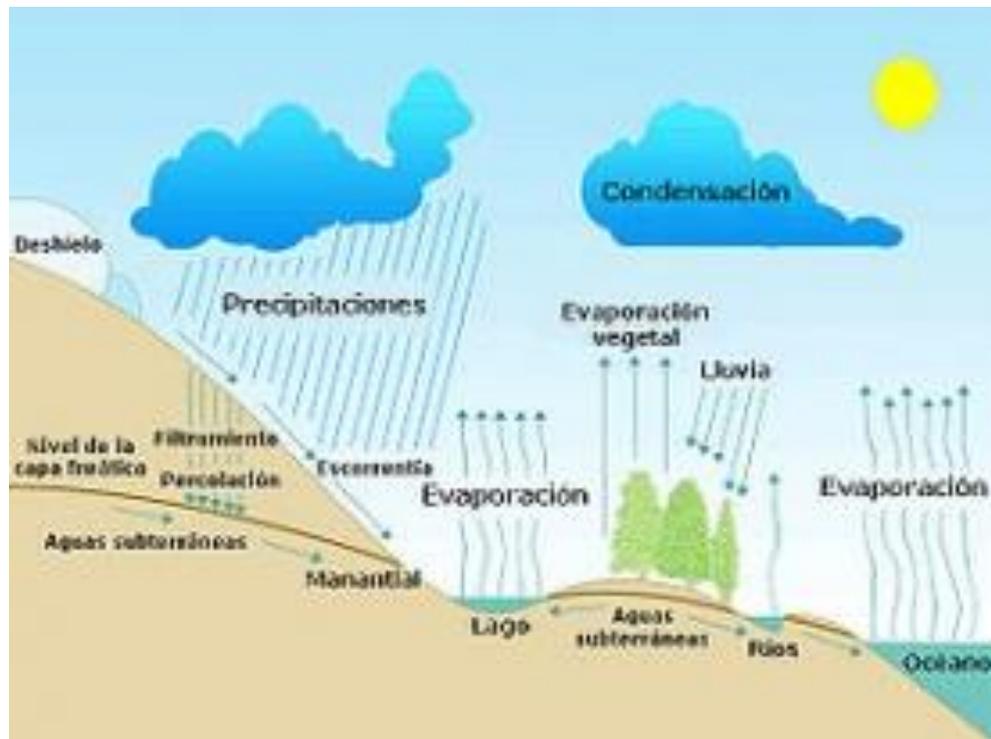
#### **2.1.4 El ciclo del agua**

El ciclo del agua implica una serie de procesos [físicos continuos. Con ciclo del agua -conocido científicamente como el ciclo hidrológico- se denomina al continuo intercambio de agua dentro de la hidrosfera, entre la atmósfera, el agua superficial y subterránea y los organismos vivos.

El agua cambia constantemente su posición de una a otra parte del ciclo de agua, implicando básicamente los siguientes procesos físicos:

- evaporación de los océanos y otras masas de agua y transpiración de los seres vivos (animales y plantas) hacia la atmósfera.
- precipitación, originada por la condensación de vapor de agua, y que puede adaptar múltiples formas.

- escorrentía, o movimiento de las aguas superficiales hacia los océanos.



Ciclo del agua

La energía del sol calienta la tierra, generando corrientes de aire que hacen que el agua se evapore, ascienda por el aire y se condense en altas altitudes, para luego caer en forma de lluvia. La mayor parte del vapor de agua que se desprende de los océanos vuelve a los mismos, pero el viento desplaza masas de vapor hacia la tierra firme, en la misma proporción en que el agua se precipita de nuevo desde la tierra hacia los mares (unos 45.000 km anuales). Ya en tierra firme, la evaporación de cuerpos acuáticos y la transpiración de seres vivos contribuye a incrementar el total de



vapor de agua en otros 74.000 km anuales. Las precipitaciones sobre tierra firme -con un valor medio de 119.000 km<sup>3</sup> anuales- pueden volver a la superficie en forma de líquido -como lluvia-, sólido -nieve o granizo-, o de gas, formando nieblas o brumas.

El agua condensada presente en el aire es también la causa de la formación del Arco iris: La refracción de la luz solar en las minúsculas partículas de vapor, que actúan como múltiples y pequeños prismas. El agua de escorrentía suele formar cuencas, y los cursos de agua más pequeños suelen unirse formando ríos. El desplazamiento constante de masas de agua sobre diferentes terrenos geológicos es un factor muy importante en la conformación del relieve. Además, al arrastrar minerales durante su desplazamiento, los ríos cumplen un papel muy importante en el enriquecimiento del suelo. Parte de las aguas de esos ríos se desvían para su aprovechamiento agrícola. Los ríos desembocan en el mar, depositando los sedimentos arrastrados durante su curso, formando deltas. El terreno de estos deltas es muy fértil, gracias a la riqueza de los minerales concentrados por la acción del curso de agua.

El agua puede ocupar la tierra firme con consecuencias desastrosas: Las inundaciones se producen cuando una masa de agua rebasa sus márgenes habituales o cuando comunican con



una masa mayor -como el mar- de forma irregular. Por otra parte, y aunque la falta de precipitaciones es un obstáculo importante para la vida, es natural que periódicamente algunas regiones sufran sequías. Cuando la sequedad no es transitoria, la vegetación desaparece, al tiempo que se acelera la erosión del terreno. Este proceso se denomina desertización y muchos países adoptan políticas para frenar su avance. En 2007, la ONU declaró el 17 de junio como el Día mundial de lucha contra la desertización y la sequía".

### **2.1.5 El agua dulce en la naturaleza**

El agua dulce en la naturaleza se renueva gracias a la atmósfera que dispone de 12.900 km de vapor de agua. Sin embargo se trata de un volumen dinámico que constantemente se está incrementando en forma de evaporación y disminuyendo en forma de precipitaciones, estimándose el volumen anual en forma de precipitación o agua de lluvia entre 113.500 y 120.000 km en el mundo. Estos volúmenes suponen la parte clave de la renovación de los recursos naturales de agua dulce. En los países de clima templado y frío la precipitación en forma de nieve supone una parte importante del total.

El 68,7% del agua dulce existente en el mundo está en los glaciares y mantos de hielo. Sin embargo, en general, no se consideran



recursos hídricos por ser inaccesibles (Antártida, Ártico y Groenlandia). En cambio los glaciares continentales son básicos en los recursos hídricos de muchos países.

Las aguas superficiales engloban los lagos, embalses, ríos y humedales suponiendo solamente el 0,3% del agua dulce del planeta, sin embargo representan el 80% de las aguas dulces renovables anualmente de allí su importancia.

También el agua subterránea dulce almacenada, que representa el 96% del agua dulce no congelada de la Tierra, supone un importante recurso. Según Morris los sistemas de aguas subterráneas empleados en abastecimiento de poblaciones suponen entre un 25 y un 40% del agua potable total abastecida. Así la mitad de las grandes megalópolis del mundo dependen de ellas para su consumo. En las zonas donde no se dispone de otra fuente de abastecimiento representa una forma de abastecimiento de calidad a bajo coste.

La mayor fuente de agua dulce del mundo adecuada para su consumo es el Lago Baikal, de Siberia, que tiene un índice muy reducido en sal y calcio y aún no está contaminado.

El agua para consumo humano proviene de dos fuentes. Las primeras son las fuentes de agua sobre la tierra. De este grupo forman parte los arroyos, manantiales y embalses modernos para



recoger agua de lluvia. Sin embargo, mucha del agua encuentra su camino por debajo de la tierra. El agua subterránea es la segunda de las fuentes, y es sobre todo valiosa cuando el agua en la superficie es escasa. La manera tradicional de extraer el agua subterránea era cavando un pozo, pero los métodos modernos de excavación o extracción subterráneos lo han cambiado.

## **2.2 AGUA SUBTERRANEA**

En todo el mundo, los pozos y manantiales o fuentes proporcionan agua para las ciudades, las cosechas, el ganado y la industria. En Estados Unidos, el agua subterránea es el origen de alrededor del 40 por ciento del agua utilizada para todos los fines (excepto la generación de energía hidroeléctrica y el enfriamiento de las centrales eléctricas).

El agua subterránea es el agua potable para más del 50 por ciento de la población, el 40 por ciento del agua utilizada para la irrigación y proporciona más del 25 por ciento de las necesidades de la industria. En algunas áreas, sin embargo, el uso abusivo de este recurso básico se ha traducido en escasez de agua, agotamiento de las aguas de escorrentía, subsidencia del terreno, contaminación salina, aumento del coste de bombeo y contaminación del agua subterránea.

### **2.2.1 Importancia y distribución de las aguas subterráneas**

El agua subterránea es uno de nuestros recursos más valiosos y asequible, aunque nuestras percepciones con respecto al ambiente



subsuperficial del que procede son a menudo poco claras e incorrectas. La razón para ello es que el ambiente de las aguas subterráneas está muy oculto a la vista, excepto en las cavernas y las minas, y las impresiones que tenemos de esas aperturas sub-superficiales son engañosas. La observación de la superficie de la Tierra da la impresión de que el planeta es, Esta opinión se mantiene cuando entramos en una caverna y vemos el agua fluir en un cauce que parece haber sido excavado en una roca sólida.

Debido a esas observaciones, muchas personas creen que el agua subterránea aparece sólo en debajo de la tierra. En realidad, la mayor parte del ambiente subsuperficial no es en absoluto. Consta de incontables poros diminutos entre los granos de suelo y de sedimento, así como de estrechas diaclasas y fracturas practicadas en el lecho de roca. En conjunto, todos estos espacios constituyen un volumen inmenso. Es en estas pequeñas aperturas donde se reúne y se mueve el agua subterránea.

Considerando la hidrosfera entera, o toda el agua de la Tierra, sólo alrededor de las seis décimas partes del uno por ciento aparece bajo tierra, No obstante, este pequeño porcentaje, almacenado en la roca y los sedimentos situados debajo de la superficie terrestre. Constituye una enorme cantidad. Cuando se excluyen los océanos y se consideran sólo las fuentes de agua dulce, se pone más de manifiesto la importancia de las aguas subterráneas.



En la Tabla N°1 se muestra la distribución de agua dulce calculada para la hidrosfera. Por supuesto, el mayor volumen aparece en forma de hielo glaciar. El segundo en la clasificación es el agua subterránea, que constituye más del 14 por ciento del total. Sin embargo, cuando se excluye el hielo y se considera sólo el agua líquida, más del 94 por ciento de toda el agua dulce es agua subterránea. No cabe duda de que el agua subterránea representa el mayor depósito de agua dulce que resulta fácilmente asequible a los seres humanos. Su valor en términos de economía y de bienestar humano es incalculable.

Desde un punto de vista geológico, el agua subterránea es importante como agente erosivo. La acción disolvente del agua subterránea va minando lentamente las rocas solubles como la caliza, permitiendo la formación de depresiones superficiales denominadas dolinas, así como la creación de cavernas subterráneas. El agua subterránea es también un compensador del flujo de escorrentía. Gran parte del agua que fluye en los ríos no procede directamente de la lluvia y de la fusión de la nieve. Más bien, un gran porcentaje de la precipitación se infiltra y luego se desplaza lentamente bajo tierra hasta las corrientes encauzadas. El agua subterránea es, pues, una forma de almacenamiento que mantiene las corrientes fluviales durante los períodos de ausencia de precipitaciones. La información de la tabla refuerza este dato. Vemos que la tasa de intercambio del agua subterránea es de 280



años. Esta cifra representa el tiempo necesario para sustituir el agua ahora almacenada bajo tierra. Por el contrario, la tasa de intercambio para los ríos es tan sólo ligeramente superior a 11 días: si se cortara el suministro de agua subterránea a un río y no lloviera, aquél se secaría en tan sólo 11 días. Por tanto, el agua que fluye en un río durante un período seco constituye lluvia que cayó en algún momento anterior y se almacenó bajo tierra.

**TABLA N°1: AGUA DULCE DE LA HIDRÓSFERA**

| Partes de la hidrosfera       | Volumen de agua dulce (km <sup>3</sup> ) | Porción de volumen total de agua dulce (%) | Tasa de intercambio del agua |
|-------------------------------|--|--|------------------------------|
| Casquetes polares y glaciares | 24.000.000                               | 84,945                                     | 8.000 años                   |
| Aguas subterráneas            | 4.000.000                                | 14,158                                     | 280 años                     |
| Lagos y embalses              | 155.000                                  | 0,549                                      | 7 años                       |
| Humedad del suelo             | 83.000                                   | 0,294                                      | 1 año                        |
| Vapor de agua en la atmósfera | 14.000                                   | 0,049                                      | 9,9 días                     |
| Agua de los ríos              | 1.200                                    | 0,004                                      | 11,3 días                    |
| Total                         | 28.253.200                               | 100,000                                    |                              |

ente: U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2220, 1987.

Cuando llueve, parte del agua discurre por la superficie, parte se evapora y el resto se infiltra en el terreno. Esta última vía es la fuente primaria de prácticamente toda el agua subterránea. La cantidad de agua que sigue cada uno de esos caminos, sin embargo, varía mucho en función del tiempo y del espacio. Los factores que influyen en esta variación son lo fuerte de la pendiente, la naturaleza del material, la intensidad de la lluvia, y el tipo y



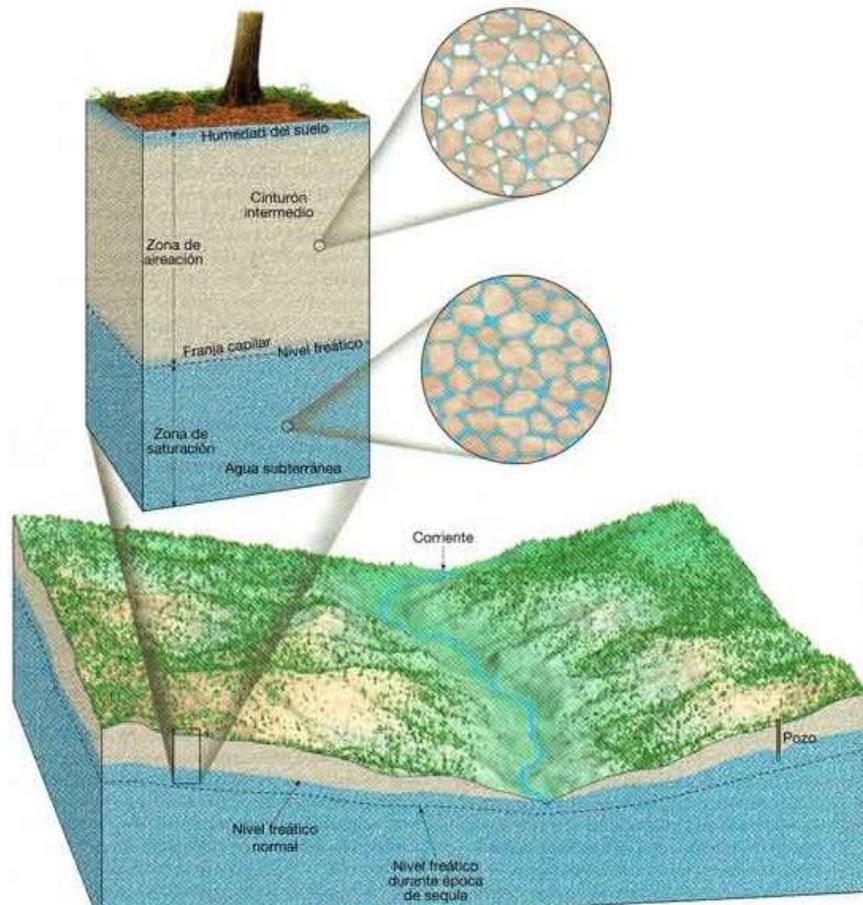
cantidad de vegetación. Densas lluvias que caen sobre pendientes abruptas donde las capas suprayacentes están compuestas de materiales impermeables provocarán obviamente un elevado porcentaje de agua de escorrentía. A la inversa. si la lluvia cae de manera suave y uniforme sobre pendientes más graduales compuestas por materiales que son fácilmente penetrados por el agua, un porcentaje mucho mayor del agua se infiltrará en el suelo, Algo del agua que se filtra no viaja muy lejos, porque es retenida por atracción molecular como una capa superficial sobre las partículas sólidas. Esa zona cercana a la superficie se denomina cinturón de humedad del suelo. Está surcada por raíces, los vacíos que quedaron en el lugar de las raíces desintegradas y las madrigueras y los túneles de las lombrices, que aumentan la infiltración del agua de lluvia en el suelo. Las plantas utilizan el agua del suelo en las funciones vitales y la transpiración. Una parte de agua también se evapora directamente y regresa a la atmósfera. El agua que no es retenida como humedad del suelo percola hacia abajo hasta que alcanza una zona donde todos los espacios libres del sedimento y la roca están completamente llenos de agua. Esta es la zona de saturación. El agua situada en el interior se denomina agua subterránea. El límite superior de esta zona se conoce como el nivel freático. Extendiéndose hacia arriba desde el nivel freático se encuentra la franja capilar (capillus : cabello), en la cual el agua subterránea es mantenida por la tensión superficial en diminutos



conductos comprendidos entre los granos de suelo o de sedimento. El área situada por encima del nivel freático que abarca la franja capilar y el cinturón de humedad del suelo se denomina zona de aireación. Aunque puede haber una cantidad considerable de agua en la zona de aireación, esta agua no puede ser bombeada por los pozos porque está demasiado aferrada a la roca y las partículas sólidas. Por el contrario, por debajo del nivel freático, la presión del agua es lo bastante grande como para permitir que el agua entre en los pozos, permitiendo así que el agua subterránea pueda sacarse para su uso.

### **2.2.2 El nivel freático**

El nivel freático, el límite superior de la zona de saturación, es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas. El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos.



**Figura N°-01 Distribución del agua subterránea.**

*La forma del nivel freático suele ser una réplica suavizada de la topografía superficial. Durante los períodos de sequía, el nivel freático desciende, reduciendo el flujo de corriente y secando algunos pozos.*

### **Variaciones en el nivel freático**

La profundidad del nivel freático es muy variable y puede oscilar entre cero, cuando se sitúa en la superficie, y centenares de metros en algunos lugares. Una característica importante del nivel freático es que su configuración varía según las estaciones y de un año a

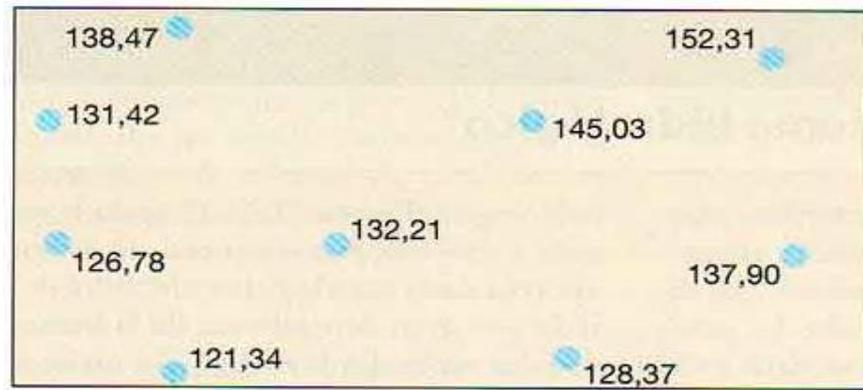


otro, porque la adición de agua al sistema de aguas subterráneas está estrechamente relacionada con la cantidad, 1a distribución y la frecuencia de las precipitaciones. Excepto cuando el nivel freático se sitúa en la superficie, no podemos observarlo directamente. Sin embargo, su elevación puede cartografiarse y estudiarse en detalle allí donde los pozos son numerosos porque el nivel del agua en los pozos coincide con el nivel freático (Figura N° 02).

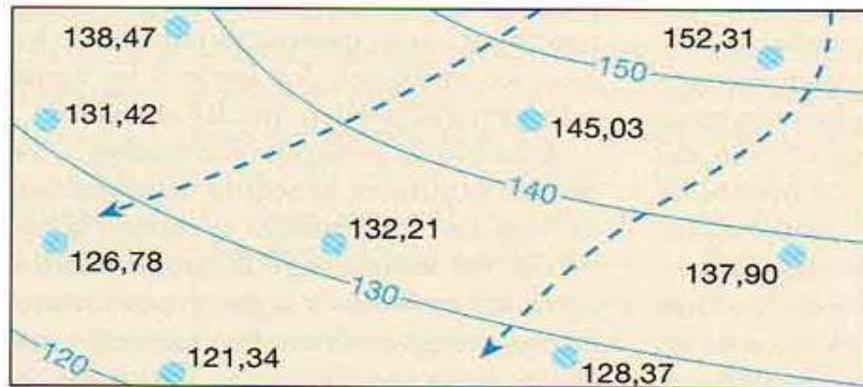
Estos mapas revelan que el nivel freático raramente es horizontal, como cabría esperar. En cambio, su forma suele ser una réplica suavizada de la topografía superficial, alcanzando sus mayores elevaciones debajo de las colinas y luego descendiendo hacia los valles (figura N° 01). En las zonas pantanosas, el nivel freático coincide precisamente con la superficie. Lagos y corrientes de agua ocupan generalmente áreas lo bastante bajas como para que el nivel freático esté por encima de la superficie del terreno.

Varios factores contribuyen a la irregularidad superficial del nivel freático. Una influencia importante es el hecho de que el agua subterránea se desplaza muy despacio y a velocidades variables bajo diferentes condiciones. Debido a ello, el agua tiende a debajo de las áreas altas entre valles de corrientes fluviales. Si la lluvia cesara por completo, estas, de agua freática se hundirían lentamente y se aproximarían de manera gradual al nivel de los

valles. Sin embargo, se suele añadir nuevo suministro de agua de lluvia con la suficiente frecuencia



A.

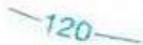


B.

#### EXPLICACIÓN



Localización de un pozo y altitud del nivel freático por encima del nivel del mar, en metros



El contorno muestra la altitud del nivel freático, intervalo del contorno 3 metros



Línea de flujo del agua subterránea

**Figura N°02 Preparación de un mapa del nivel freático.**

*El nivel del agua de los pozos coincide con el nivel freático.*

*A, En primer lugar, se sitúan en un mapa las localizaciones de los pozos y la elevación del nivel freático por encima del nivel del mar*

*B. Estos puntos se utilizan para trazar las líneas de contorno del nivel freático a intervalos regulares. En este mapa de muestra el*



*intervalo es de 3 metros. Las líneas de flujo del agua subterránea pueden añadirse para mostrar el movimiento del agua en la parte superior de la zona de saturación. El agua subterránea tiende a moverse más o menos perpendicularmente a los contornos, descendiendo por la pendiente del nivel freático.*

No obstante, en época de mucha sequía, el nivel freático puede descender lo suficiente como para secar los pozos poco profundos. Otras causas de la falta de uniformidad del nivel freático son las variaciones de precipitación y permeabilidad de un lugar a otro

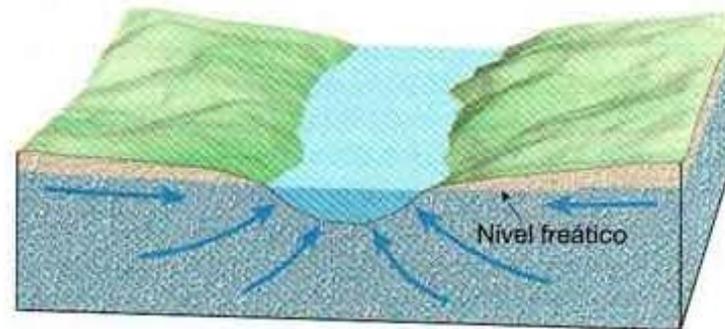
### **2.2.3 Interacción entre las aguas subterráneas y las aguas corrientes**

La interacción entre el sistema de aguas subterráneas y las aguas corrientes es un eslabón básico del ciclo hidrológico, Puede producirse de tres maneras. Las corrientes pueden recibir agua de la aportación de aguas subterráneas a través del cauce de la corriente. Este tipo de corrientes se denominan efluentes (figura N° 03A). Para que eso suceda, la elevación del nivel freático debe ser mayor que el nivel de la superficie de la corriente, Las corrientes pueden perder agua hacia el sistema de aguas subterráneas por la salida de agua a través del lecho de la corriente. En esta situación

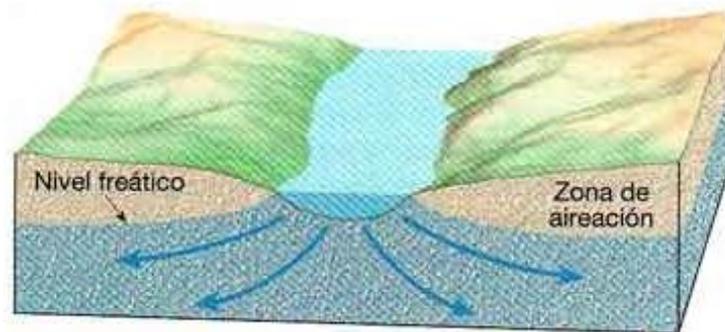


se emplea el término influente (Figura N° 03B,C). Cuando eso sucede, la elevación del nivel freático debe ser inferior a la superficie de la corriente. La tercera posibilidad es una combinación de las dos primeras: una corriente recibe aportaciones de agua en algunas secciones y pierde agua en otras.

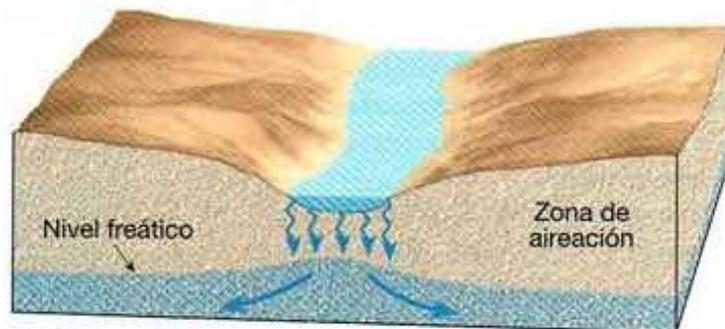
Las corrientes influentes pueden estar conectadas al sistema de aguas subterráneas por una zona saturada continua o pueden estar desconectados de ese sistema por una zona no saturada. Comparemos las partes B y C de la Figura N° 03. Cuando la corriente está desconectada, el nivel freático tiene un abultamiento apreciable por debajo de la corriente si la velocidad del movimiento del agua a través del cauce y la zona de aireación es mayor que la velocidad a la que las aguas subterráneas se apartan del abultamiento.



A. Efluente



B. Influyente (conectado)



C. Influyente (desconectado)

**Figura N° 03** Interacción entre el sistema de aguas subterráneas y las corrientes de aguas superficiales.

A. Las corrientes efluentes reciben agua del sistema de aguas subterráneas.

B. Las corrientes influentes pierden agua hacia el sistema de aguas subterráneas.

C. Cuando una zona de aireación separa las corrientes influentes del sistema de aguas subterráneas, puede formarse una protuberancia en el nivel freático.



En algunos lugares, una corriente puede ser siempre efluente o influente, Sin embargo, en muchas situaciones la dirección del flujo puede variar mucho a lo largo de la corriente; algunas secciones reciben agua subterránea y otras secciones pierden agua hacia el sistema de aguas subterráneas. Además, la dirección de la corriente puede cambiar durante un intervalo corto de tiempo como consecuencia de tormentas, que añaden agua cerca de la orilla de la corriente o cuando inundaciones instantáneas temporales descienden por el canal.

Las aguas subterráneas contribuyen a las corrientes en la mayoría de los contextos geológicos y climáticos. Incluso cuando las corrientes principalmente pierden agua hacia el sistema de aguas subterráneas, determinadas secciones pueden recibir aportación de agua subterránea durante algunas estaciones. En un estudio de 54 corrientes de todas las partes de Estados Unidos, el análisis indicaba que el 52 por ciento del caudal era aportado por las aguas subterráneas. La aportación de las aguas subterráneas oscilaba entre un mínimo del 14 por ciento a un máximo del 90 por ciento.

#### **2.2.4 Factores que influyen en el almacenamiento y la circulación de las aguas subterráneas**

La naturaleza de los materiales subsuperficiales influye mucho en la velocidad del movimiento del agua subterránea y en la cantidad



de agua subterránea que puede almacenarse. Dos factores son especialmente importantes: la porosidad y la permeabilidad.

#### Porosidad

El agua empapa el terreno porque el lecho de roca, el sedimento y el suelo contienen innumerables huecos o aperturas, Estas aperturas son similares a las de una esponja y a menudo se denominan poros. La cantidad de agua subterránea que puede almacenarse depende de la porosidad del material, que se define como el porcentaje del volumen total de roca o de sedimento formado por poros. Los huecos son con frecuencia espacios que quedan entre las partículas sedimentarias, pero también son comunes las diaclasas, las fallas, las cavidades formadas por disolución de la roca soluble, como la caliza, y las vesículas (vacíos dejados por los gases que escapan de la lava).

Las variaciones de porosidad pueden ser grandes. El sedimento es a menudo bastante poroso y los espacios abiertos pueden ocupar entre el 10 y el 50 por ciento del volumen total del sedimento. El espacio poroso depende del tamaño y la forma de los granos, de cómo están empaquetados, del grado de selección y, en las rocas sedimentarias, de la cantidad de material cementante. Por ejemplo, la arcilla puede tener una porosidad de hasta un 50 por ciento, mientras que algunas gravas pueden tener sólo un 20 por ciento de huecos.



Cuando se mezclan sedimentos de diversos tamaños, la porosidad se reduce porque las partículas más finas tienden a llenar las aperturas entre los granos más grandes. La mayoría de las rocas ígneas y metamórficas, así como algunas rocas sedimentarias, están compuestas por cristales muy unidos, de manera que los huecos entre los granos pueden ser despreciables. En estas rocas, las fracturas proporcionan la porosidad.

### **Permeabilidad, acuicuidos y acuíferos**

La porosidad, por sí sola, no puede medir la capacidad de un material para suministrar agua subterránea. La roca o el sedimento pueden ser muy porosos, pero no permitir el movimiento del agua a través de ellos. Los poros deben estar conectados para permitir el flujo de agua, y deben ser lo bastante grandes para permitirlo. Por tanto, la permeabilidad (permeare = penetrar) de un material, su capacidad para transmitir un fluido, es también muy importante. El agua subterránea se mueve serpenteando y girando a través de pequeñas aperturas interconectadas. Cuanto menores sean los espacios porosos más lento será el movimiento del agua. La porosidad eficaz indica cuánta agua es realmente asequible para su uso) mientras que la retención específica indica cuánta agua permanece unida al material. Por ejemplo, la capacidad de la arcilla para almacenar agua es grande debido a su gran porosidad. pero



sus espacios porosos son tan pequeños que el agua es incapaz de moverse a través de ellos.

Por tanto, la porosidad de la arcilla es grande, pero, debido a su baja permeabilidad, la arcilla tiene un rendimiento específico muy bajo.

Los estratos impermeables que obstaculizan o impiden el movimiento del agua se denominan acuicludos. La arcilla es un buen ejemplo. Por otro lado, las partículas más grandes, como la arena o la grava, tienen espacios porosos mayores, Por consiguiente, el agua se mueve con relativa facilidad. Los estratos de roca o sedimentos permeables que transmiten libremente el agua subterránea se denominan acuíferos.

La porosidad no siempre es una guía fiable de la cantidad de agua subterránea que puede producirse y que la permeabilidad es importante para determinar la velocidad de movimiento del agua subterránea y la cantidad de agua que podría bombearse desde un pozo.

### **2.2.5 Circulación de las aguas subterráneas**

Ya hemos comentado el concepto erróneo común de que el agua subterránea aparece en ríos subterráneos parecidos a las corrientes de agua superficiales. Aunque existen ríos subterráneos, no son frecuentes. En cambio, como aprendimos en las secciones precedentes, existe agua subterránea en los espacios porosos y

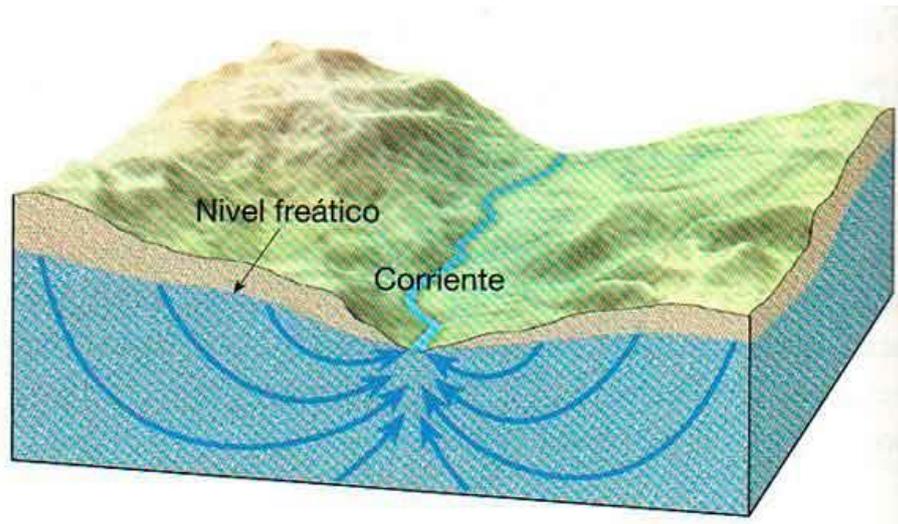


las fracturas que quedan en las rocas y sedimentos. Por tanto, al contrario de cualquier impresión de flujo rápido que un río subterráneo pueda evocar, el movimiento de la mayor parte del agua subterránea es extraordinariamente lento, de poro a poro. Por extraordinariamente lento entendemos velocidades típicas de unos pocos centímetros al día.

La energía que hace moverse el agua subterránea la proporciona la fuerza de la gravedad. En respuesta a la gravedad, el agua se mueve desde áreas donde el nivel freático es elevado a zonas donde éste es bajo. Esto significa que el agua tiende hacia un cauce de corriente, lago o manantial. Aunque algo del agua tome el camino más directo hacia debajo de la pendiente del nivel freático, gran parte sigue caminos curvos, largos, hacia la zona de descarga.

En la Figura N° 04 se muestra cómo percola el agua en una corriente desde todas las posibles direcciones. Algunas trayectorias retornan hacia arriba, según parece en contra de la fuerza de la gravedad, y entran por el fondo del cauce, Esto se explica fácilmente: cuanto mayor sea la profundidad en la zona de saturación, mayor será la presión del agua. Por tanto, los recovecos seguidos por el agua en la zona saturada pueden considerarse como un compromiso entre el empuje hacia abajo de la gravedad y la tendencia del agua a desplazarse hacia áreas de presión reducida. Como consecuencia,

a cualquier altura dada, el agua está bajo una presión mayor debajo de una colina que debajo de un cauce de corriente, y el agua tiende a migrar hacia los puntos de menor presión.



**Figura N° 04** Las flechas indican el movimiento del agua subterránea a través de material uniformemente permeable.

Se puede pensar en los serpenteos que sigue el agua como el compromiso entre el empuje descendente de la gravedad y la tendencia del agua a moverse hacia zonas de presión reducida.

Los conceptos modernos de la circulación del agua subterránea fueron formulados a mediados del siglo XIX con el trabajo del ingeniero francés Henri Darcy. Durante este período, Darcy realizó mediciones y llevó a cabo experimentos en un intento de determinar si las necesidades hídricas de la ciudad de Dijon, en el centro oriental de Francia, podían satisfacerse con la explotación

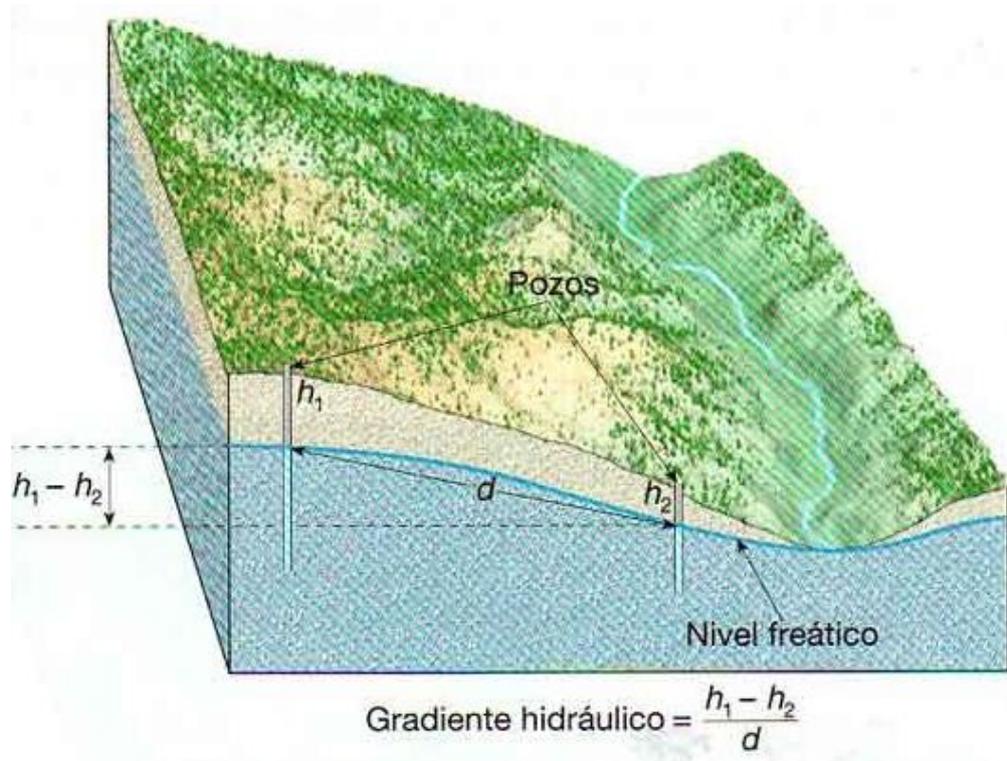


de las aguas subterráneas de la zona. Entre los experimentos realizados por Darry hubo uno en el que se demostró que la velocidad del flujo de las aguas subterráneas es proporcional a la pendiente del nivel freático: cuanto más inclinada es la pendiente, más rápido es el movimiento del agua (ya que, cuanto más inclinada es la pendiente, mayor es la diferencia de presión entre dos puntos). La pendiente del nivel freático es conocida como gradiente hidráulico y puede expresarse de la siguiente manera:

$$\text{Gradiente hidráulico} = (h_1 - h_2)/d$$

Donde  $h_1$ , es la elevación de un punto sobre el nivel freático,  $h_2$  la elevación de un segundo punto, y  $d$  es la distancia horizontal entre ambos puntos (Figura N° 05).

Darcy también experimentó con diferentes materiales como arena gruesa y arena fina, midiendo la velocidad del flujo a través de tubos llenos de sedimentos inclinados a varios ángulos. Descubrió que la velocidad del flujo variaba con la permeabilidad del sedimento: las aguas subterráneas fluyen con mayor velocidad a través de los sedimentos con una mayor permeabilidad que a través de los materiales con una permeabilidad menor. Este factor es conocido como conductividad hidráulica y es un coeficiente que tiene en cuenta la permeabilidad del acuífero y la viscosidad del fluido.



**Figura N° 05** El gradiente hidráulico se determina midiendo la diferencia de elevación entre dos puntos del nivel freático ( $h_1 - h_2$ ) dividida por la distancia entre ellos,  $d$ . Los pozos se utilizan para determinar la altura del nivel freático.

Para determinar el caudal ( $Q$ ), es decir, el volumen real de agua que fluye a través de un acuífero en un momento determinado, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = K A(h_1 - h_2)/d$$

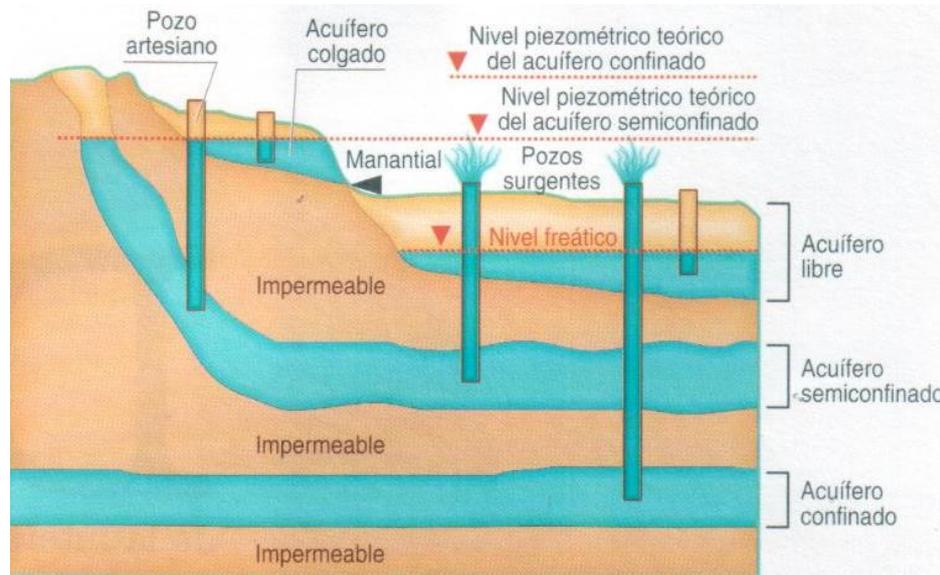
Donde  $(h_1 - h_2)/d$  es el gradiente hidráulico.  $K$  es el coeficiente que representa la conductividad hidráulica y  $A$  es el área transversal del acuífero. Esta expresión se ha denominado Ley de Darcy en honor al científico pionero francés

### 2.2.6 Acuífero

Un acuífero es una capa de agua que se almacena y transmite en un estrato rocoso permeable de la litósfera de la Tierra, saturando sus poros o grietas y que puede extraerse en cantidades económicamente aprovechables.



Los acuíferos pueden ser desde muy someros (poco profundos) y alcanzar profundidades de hasta 3 km.



En general, el agua proveniente de las precipitaciones percolará de la superficie de la tierra a través de áreas de recarga del acuífero. Los acuíferos se recargan en general a través de procesos activos de filtración muy lentos y de muy larga duración que ocurren desde la superficie comparada con los procesos de recarga que ocurren en lagos y arroyos.



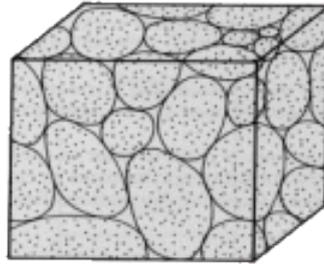
La renovación de las reservas de agua dependerá de las características físicas y químicas de las formaciones geológicas, por circunstancias climáticas de aridez, de la porosidad y percolación del material en la superficie, de la conformación topográfica, de la presencia y densidad de la vegetación en el suelo y por supuesto del clima y las estaciones que influyen en las tasas de precipitación en el área.



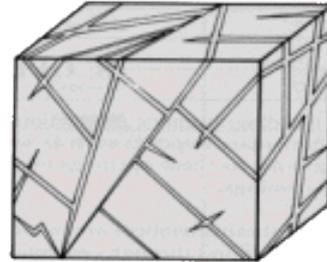
El agua seguirá una dirección paralela al drenaje superficial por la acción de la gravedad, resultando en una descarga subterránea al mar que no es observada en la superficie pero que puede ser de gran importancia en el mantenimiento de los ecosistemas marinos.

Su comportamiento en los espacios porosos de la roca dependerá de la composición química, de la cristalización de la roca y de la forma en la que se encuentra. Si los poros son lo suficientemente amplios, el agua circulará libremente a través de ellos impulsada

por sus características del agua (capilaridad, tensión superficial) e impulsadas por la gravedad “aguas hacia abajo”



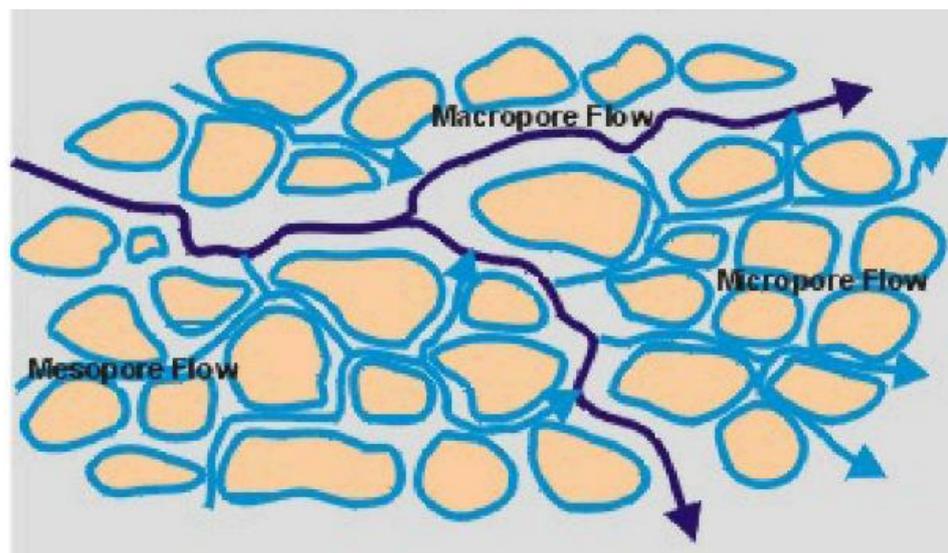
Pores in unconsolidated Sedimentary Deposits e.g. Sand



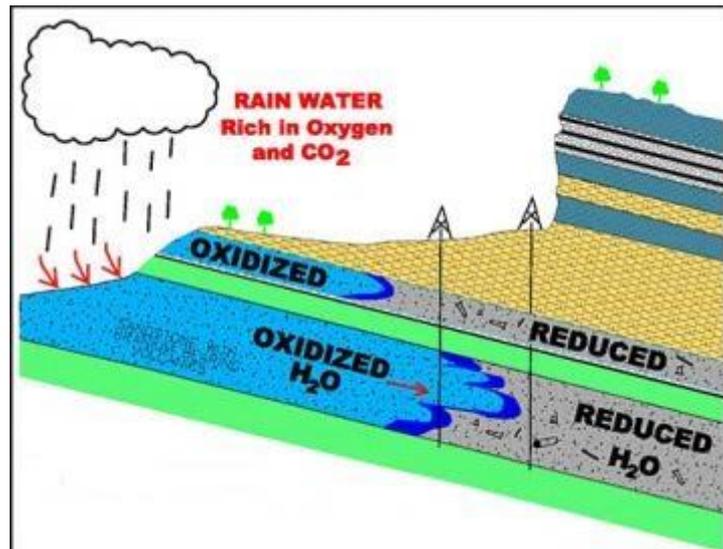
Joints in Hard Rock e.g. Granite, Quartzite

La naturaleza dipolar del agua le permite adherirse fácilmente a los elementos o compuestos en las rocas con porosidad.

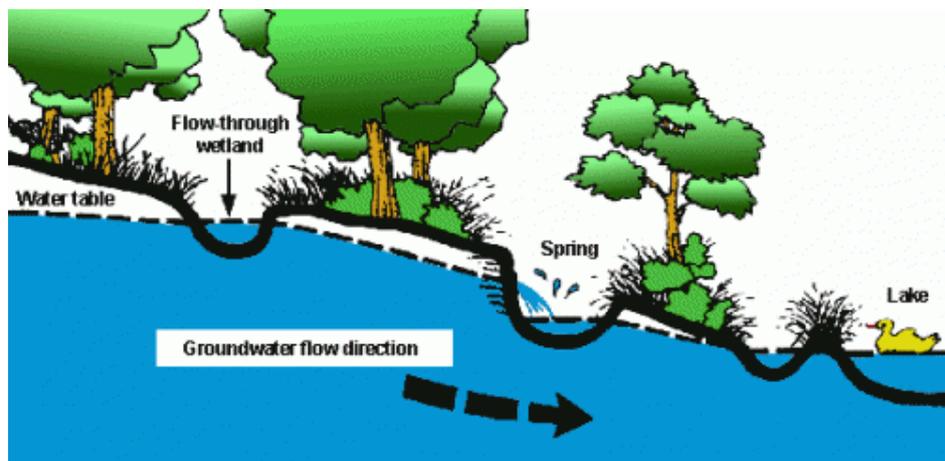
Siendo la tensión superficial del agua alta, las moléculas del agua exhibirán un comportamiento de “acción capilar” a través de los poros de las rocas, adhiriéndose a las paredes y provocando un desplazamiento en el acuífero a través de la cohesión.



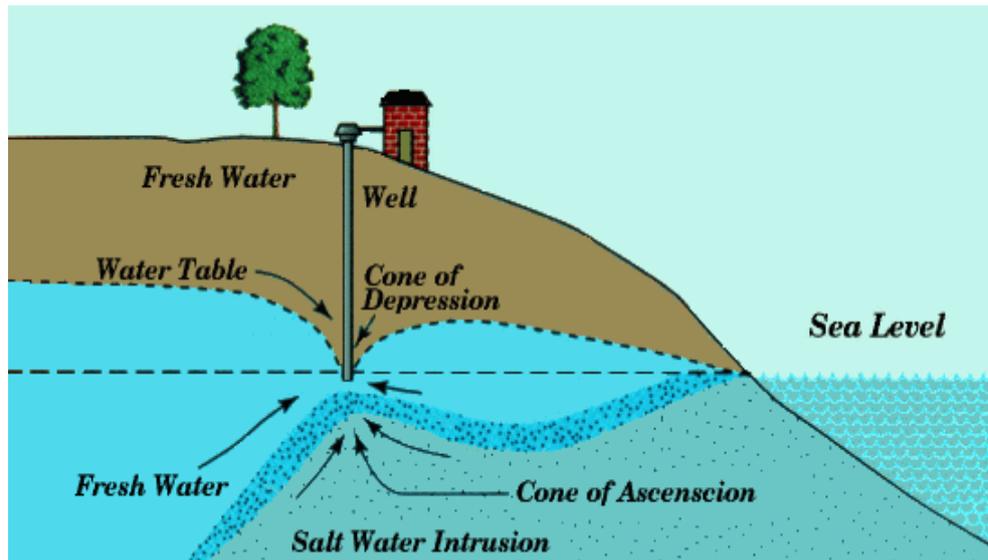
El agua de los acuíferos disolverá sales o minerales iónicos de las rocas donde están presentes por lo que tendrán una gran capacidad de conducción de electromagnetismo además de otros elementos a través de un proceso denominado lixiviación.



El agua subterránea brotará de forma natural en distintas clases de surgencias en las laderas y a veces en fondos del relieve, donde el nivel freático intercepta la superficie.



También se puede acceder a esta agua a través de pozos, perforaciones que llegan al acuífero y se llenan parcialmente con agua subterránea., siempre por debajo del nivel freático en el que provocará una depresión local.



### 2.2.7 Manantiales o fuentes

Los manantiales han despertado la curiosidad y maravillado a los seres humanos durante miles de años. El hecho de que los manantiales fueran, y para algunas personas todavía sean, fenómenos bastante misteriosos, no es difícil de entender porque se trata de agua que fluye libremente desde el terreno en todo tipo de climas en una cantidad aparentemente inagotable, pero sin un origen obvio.

Sólo a mediados del siglo XVII, el físico francés Pierre Perrault, invalidó la antigua suposición de que la precipitación no podía explicar de manera adecuada la cantidad de agua que manaba de



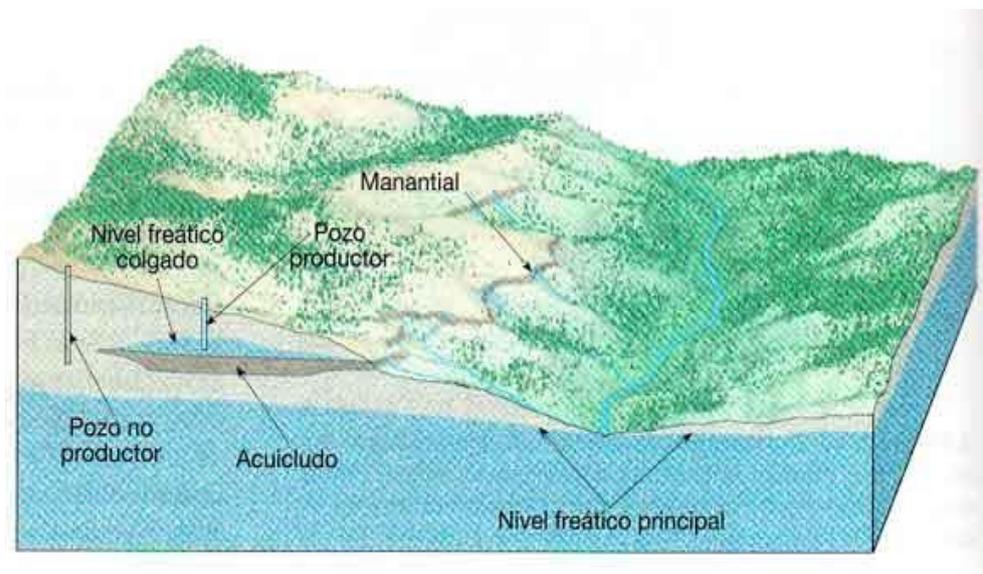
los manantiales y fluía a los ríos. Durante varios años, Perrault calculó la cantidad de agua que cayó en la cuenca del río Sena. Calculó luego la escorrentía anual media midiendo el caudal del río. Después de tener en cuenta la pérdida de agua por evaporación, demostró que quedaba suficiente agua para alimentar los manantiales. Gracias a los esfuerzos pioneros de Perrault y a las determinaciones realizadas por muchos después de él, sabemos ahora que el origen de los manantiales es el agua procedente de la zona de saturación y que el origen de esta agua son las precipitaciones.

Cuando el nivel freático intersecta la superficie terrestre, se produce un flujo natural de salida del agua subterránea, que se denomina manantial o fuente. Los manantiales se forman cuando un acuicluido detiene la circulación descendente del agua subterránea y la obliga a moverse lateralmente. Allí donde aflora un estrato permeable, aparece un manantial. Otra situación que lleva a la formación de una fuente es la ilustrada en la Figura N° 06. Aquí, un acuicluido se sitúa por encima del nivel freático principal. Conforme el agua se filtra hacia abajo, una porción de ella es interceptada por el acuicluido, creando así una zona local de saturación y un nivel freático colgado.

Los manantiales, sin embargo, no están confinados a lugares donde un nivel freático colgado crea un flujo hacia la superficie.

Muchas situaciones geológicas llevan a la formación de

manantiales porque las condiciones subterráneas varían mucho de un lugar a otro. Incluso en áreas donde las capas subyacentes son rocas cristalinas impermeables, pueden existir zonas permeables en forma de fracturas o canales de disolución. Si estas aperturas se llenan con agua y hacen intersección con la superficie de terreno a lo largo de una pendiente, se producirá un manantial.



**Figura N° 06** Cuando un acuífero está situado por encima del nivel freático principal, puede producirse una zona de saturación localizada. Donde el nivel freático colgado hace intersección con la ladera del valle, fluye un manantial. El nivel freático colgado también hizo que el pozo de la derecha diera agua, mientras que el de la izquierda no producirá agua a menos que sea perforado a una mayor profundidad



Un manantial es un flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área pequeña. Pueden aparecer en tierra firme o ir a dar a cursos de agua, lagunas o lagos. Los manantiales pueden ser permanentes o intermitentes, y tener su origen en el agua de lluvia que se filtra o tener un origen ígneo, dando lugar a manantiales de agua caliente.

La composición del agua de los manantiales varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho. El caudal de los manantiales depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Los manantiales de filtración se secan a menudo en periodos secos o de escasas precipitaciones; sin embargo, otros tienen un caudal copioso y constante que proporciona un importante suministro de agua local.

Cuando el nivel freático intersecta la superficie terrestre, se produce un flujo natural de salida del agua subterránea, que se denomina manantial o fuente. Los manantiales se forman cuando un acuícluido detiene la circulación descendente del agua subterránea y la obliga a moverse lateralmente. Allí donde aflora un estrato permeable, aparece un manantial. Otra situación que lleva a la formación de una fuente es la ilustrada en la Figura N° 06. Aquí, un acuícluido se sitúa por encima del nivel freático principal. Conforme el agua se filtra hacia abajo, una porción de ella es



interceptada por el acuicluido, creando así una zona local de saturación y un nivel freático colgado.

Los manantiales, sin embargo, no están confinados a lugares donde un nivel freático colgado crea un flujo hacia la superficie. Muchas situaciones geológicas llevan a la formación de manantiales porque las condiciones subterráneas varían mucho de un lugar a otro. Incluso en áreas donde las capas subyacentes son rocas cristalinas impermeables, pueden existir zonas permeables en forma de fracturas o canales de disolución. Si estas aperturas se llenan con agua y hacen intersección con la superficie de terreno a lo largo de una pendiente, se producirá un manantial.

Cuando estas fuentes son termales (de agua caliente), se denominan caldas o termas. A las sales minerales que llevan disueltas las caldas se le reconocen propiedades medicinales, motivo por el cual se han construido en esas zonas muchos balnearios. Esta práctica es antigua, y ya en tiempos de los romanos eran muy apreciados los baños públicos con aguas minerales.

### **2.2.8 Pozos de agua**

El método más común para extraer agua subterránea es el pozo, un agujero taladrado en la zona de saturación.



Los pozos sirven a modo de pequeños depósitos a los cuales migra el agua subterránea y de los cuales puede bombearse a la superficie. La utilización de pozos se remonta a muchos siglos y sigue siendo un método importante para la obtención de agua en la actualidad. Con mucho, la utilización mayor de esta agua en Estados Unidos es la irrigación para la agricultura. Más del 65 por ciento del agua subterránea utilizada cada año se emplea para este fin. El uso industrial se encuentra en segundo lugar, seguido de la cantidad utilizada en los sistemas de abastecimiento de agua de las ciudades y en las casas rurales.

El nivel freático puede fluctuar considerablemente a lo largo de un año, descendiendo durante las estaciones secas y elevándose tras los períodos de lluvia. Por consiguiente para asegurar un abastecimiento continuo de agua, un pozo debe penetrar debajo del nivel freático. Cuando se extrae agua de un pozo, el nivel freático alrededor del pozo se reduce. Este efecto, denominado descenso de nivel, disminuye al aumentar la distancia desde el pozo. El resultado es una depresión en el nivel freático, de forma aproximadamente cónica, conocida como cono de depresión (Figura N° 07). Dado que el cono de depresión aumenta el gradiente hidráulico cerca del pozo, el agua subterránea fluirá más deprisa hacia la apertura. Para la mayoría de los pozos domésticos más pequeños, el cono de depresión es despreciable. Sin



embargo, cuando los pozos están siendo bombeados con mucha intensidad para el regadío o con fines industriales, la extracción del agua puede ser lo bastante grande como para crear un cono de depresión muy ancho y empinado. Esto puede reducir sustancialmente el nivel freático de un área y secar los pozos poco profundos de los alrededores. En la Figura N° 07 se ilustra esta situación.

La excavación de un pozo satisfactorio es un problema familiar para las personas que viven en áreas donde el agua subterránea es la fuente principal de abastecimiento. Un pozo puede ser productivo a una profundidad de 10 metros, mientras que un recinto puede tener que profundizar dos veces más para encontrar un abastecimiento adecuado. Otros pueden verse obligados a llegar a mayor profundidad o a intentarlo en un sitio diferente. Cuando los materiales subsuperficiales son heterogéneos, la cantidad de agua que un pozo es capaz de proporcionar puede variar mucho en distancias cortas. Por ejemplo, cuando se perforan dos pozos próximos al mismo nivel y sólo uno produce agua, puede deberse a la presencia de un nivel freático colgado debajo de uno de ellos. Este caso se muestra en la Figura N° 06. Las rocas metamórficas e ígneas masivas proporcionan un segundo ejemplo. Estas rocas cristalinas no suelen ser muy permeables, excepto cuando son cortadas por muchas diaclasas y fracturas que intersectan entre sí.

Por consiguiente, cuando un pozo perforado en una roca de este tipo no se encuentra con una red adecuada de fracturas, es probable que sea improductivo.



*Figura N° 07 Suele formarse un cono de depresión en el nivel freático alrededor de un pozo de bombeo. si un bombeo intenso reduce el nivel freático, pueden secarse los pozos someros.*

### 2.2.9 Pozos artesianos

En la mayoría de los pozos, el agua no puede ascender por sí misma. Si el agua se encuentra por primera vez a 30 metros de profundidad, permanecerá a ese nivel, fluctuando quizá un metro o dos con los períodos estacionales de humedad y sequía. Sin embargo, en algunos pozos, el agua asciende, derramándose a veces por la superficie. Estos pozos son abundantes en la región



Anois del norte de Francia y por eso denominamos a estos pozos autoascendentes artesianos.

Para muchas personas el término artesiano se aplica a cualquier pozo perforado a grandes profundidades. Este uso del término es incorrecto. Otros creen que un pozo artesiano debe fluir libremente a la superficie (Figura N°8). Aunque ésta es una idea más correcta que la primera, constituye una definición muy restringida. El término artesiano se aplica a cualquier situación en la cual el agua subterránea bajo presión asciende por encima del nivel del acuífero. Como veremos, esto no significa siempre una salida de flujo libre a la superficie.

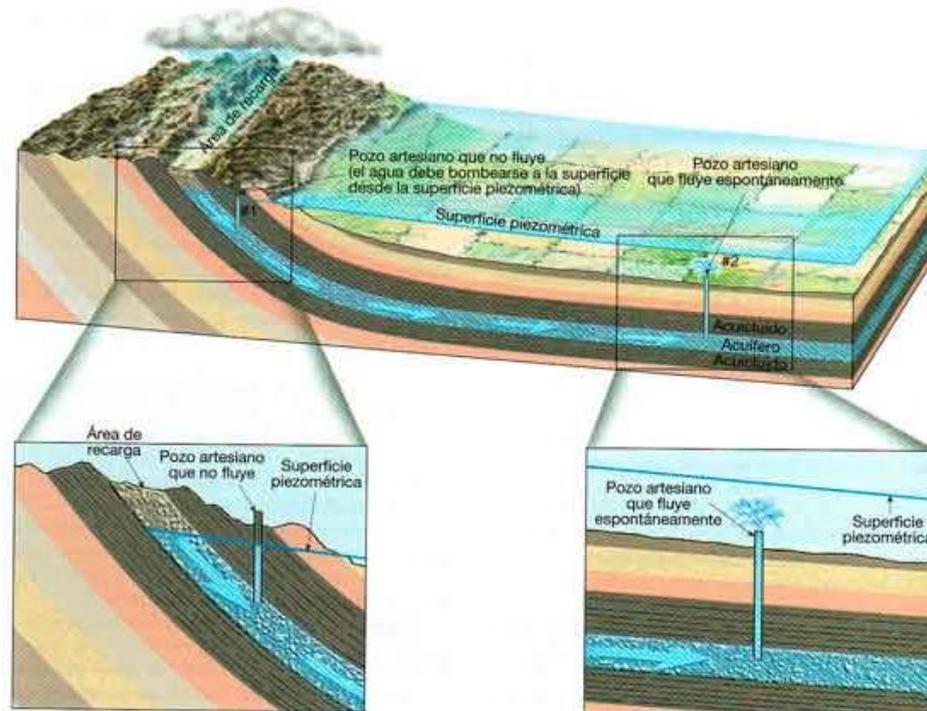
Para que exista un sistema artesiano, deben cumplirse dos condiciones (Figura N° 9): (1) el agua debe estar confinada a un acuífero inclinado, de modo que un extremo pueda recibir agua, y (2) debe haber acuicludos, encima y debajo del acuífero, para evitar que el agua escape. Cuando se pincha esta capa, la presión creada por el peso del agua situada encima obligará al agua a elevarse hasta un nivel denominado piezométrico. Si no hay fricción, el agua del pozo se elevará al nivel del agua situada encima del acuífero. Sin embargo, la fricción reduce la altura de la superficie piezométrica. Cuanto mayor sea la distancia desde el área de recarga (donde el agua entra en el acuífero inclinado), mayor será la fricción y menor la elevación del agua. En la Figura N°-9, el pozo

1 es un pozo artesiano no surgente, porque en esta situación la superficie piezométrica está por debajo del nivel del suelo. Cuando la superficie piezométrica está por encima del terreno y el pozo se perfora en el acuífero, se crea un pozo artesiano surgente (pozo 2, Figura N° 09). No todos los sistemas artesianos son pozos. También existen fuentes artesianas. .En este caso, el agua subterránea alcanza la superficie elevándose a través de una fractura natural, en lugar de hacerlo a través de un agujero producido artificialmente.

Los sistemas artesianos actúan como conductos, transmitiendo a menudo el agua a grandes distancias desde áreas remotas de recarga hasta los puntos de descarga.



***Figura N° 08** A veces el agua fluye libremente a la superficie cuando se desarrolla un pozo artesiano. Sin embargo, en la mayoría de los pozos artesianos, el agua debe ser bombeada a la superficie.*



**Figura 09** Los sistemas artesianos se producen cuando un acuífero inclinado está confinado entre estratos impermeables.

Un sistema artesiano bien conocido en Dakota del Sur es un buen ejemplo de esto. En la parte occidental del estado, los bordes de una serie de capas sedimentarias se han doblado hacia la superficie a lo largo de los flancos de las Black Hills. Una de esas capas, la arenisca Dakota permeable, se encuentra entre capas impermeables y buza gradualmente en el terreno hacia el este. Cuando se pinchó el acuífero por primera vez, el agua brotó de la superficie del terreno, creando fuentes de muchos metros de altura (Figura N° 10). En algunos lugares, la fuerza del agua fue suficiente como para proporcionar energía a turbinas hidráulicas. Sin

embargo, escenas como las de la imagen de la Figura N° 10 ya no pueden ocurrir porque se han perforado miles de pozos adicionales en el mismo acuífero. Esto agotó el depósito, y descendió el nivel freático del área de recarga. Como consecuencia, la presión cayó hasta el punto de que muchos pozos dejaron de fluir y tuvieron que ser bombeados.



*Figura N°10 Pozo artesiano que fluye , en Dakota del sur a principios del siglo XX. En la actualidad se explota el mismo acuífero confinado a través de millares de pozos adicionales; por tanto, la presión ha descendido hasta el punto de que muchos pozos han dejado de fluir por completo y deben bombearse).*



A una escala diferente, los sistemas de abastecimiento de las ciudades pueden ser considerados ejemplos de sistemas artesianos artificiales (Figura N° 11). El depósito de agua representaría el área de recarga; las tuberías, el acuífero confinado, y los grifos de las casas, los pozos artesianos surgentes.

## **2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

### **2.3.1 Problemas relacionados con la extracción del agua subterránea**

Como ocurre con muchos de nuestros valiosos recursos naturales, el agua subterránea está siendo explotada a un ritmo creciente. En algunas zonas, la sobreexplotación amenaza la existencia del abastecimiento de agua subterránea. En otros lugares, su extracción ha hecho que se hunde el terreno y todo lo que descansaba sobre él. En otros lugares hay preocupación por la posible contaminación del abastecimiento de las aguas subterráneas.

A muchas personas les parece que el agua subterránea es un recurso interminablemente renovable, porque es continuamente repuesta por el agua de la lluvia y el deshielo de la nieve. Pero en algunas regiones, el agua subterránea ha sido y continúa siendo tratada como un recurso no renovable. Donde esto ocurre, el agua



disponible para recargar el acuífero se queda significativamente corta con respecto a la cantidad que se extrae.

La región de los High Plains (Estados Unidos) proporciona un ejemplo. Aquí la economía agrícola extensiva depende mucho del regadío. En algunas partes de la región, donde se ha practicado regadío intenso durante un período prolongado, el agotamiento del agua subterránea ha sido severo. Bajo esas circunstancias, cabe decir que el agua subterránea está siendo literalmente .

Aun cuando el bombeo se interrumpiera inmediatamente, se tardarían centenares o miles de años hasta reponerla por completo.

### **Subsidencia**

La subsidencia superficial puede ser consecuencia de procesos naturales relacionados con el agua subterránea. Sin embargo, el terreno puede hundirse también cuando el agua se bombea desde los pozos más rápidamente de lo que pueden reemplazarla los procesos de recarga natural. Este efecto es particularmente pronunciado en áreas con estratos potentes de sedimentos no consolidados superpuestos. Conforme se extrae el agua, la presión del agua desciende y el peso de la sobrecarga se transfiere al sedimento. La mayor presión compacta herméticamente los granos de sedimento y el terreno se hunde.

Pueden utilizarse muchas zonas para ilustrar la subsidencia del terreno causada por el bombeo excesivo del agua subterránea a



partir de sedimento relativamente suelto. Un ejemplo clásico en Estados Unidos se produjo en el valle de San Joaquín, en California, y se comenta en el Recuadro AGUSUB-01. Existen muchos otros casos de subsidencia de terreno debido a bombeo del agua subterránea en Estados Unidos, entre ellos Las Vegas, Nevada; Nueva Orleans y Baton Rouge, Luisiana, y el área Houston-Galveston de Texas. En el área costera baja entre Houston y Galveston, la subsidencia del terreno oscila entre 1,5 metros y 3 metros. El resultado es que alrededor de 78 kilómetros cuadrados están permanentemente inundados.

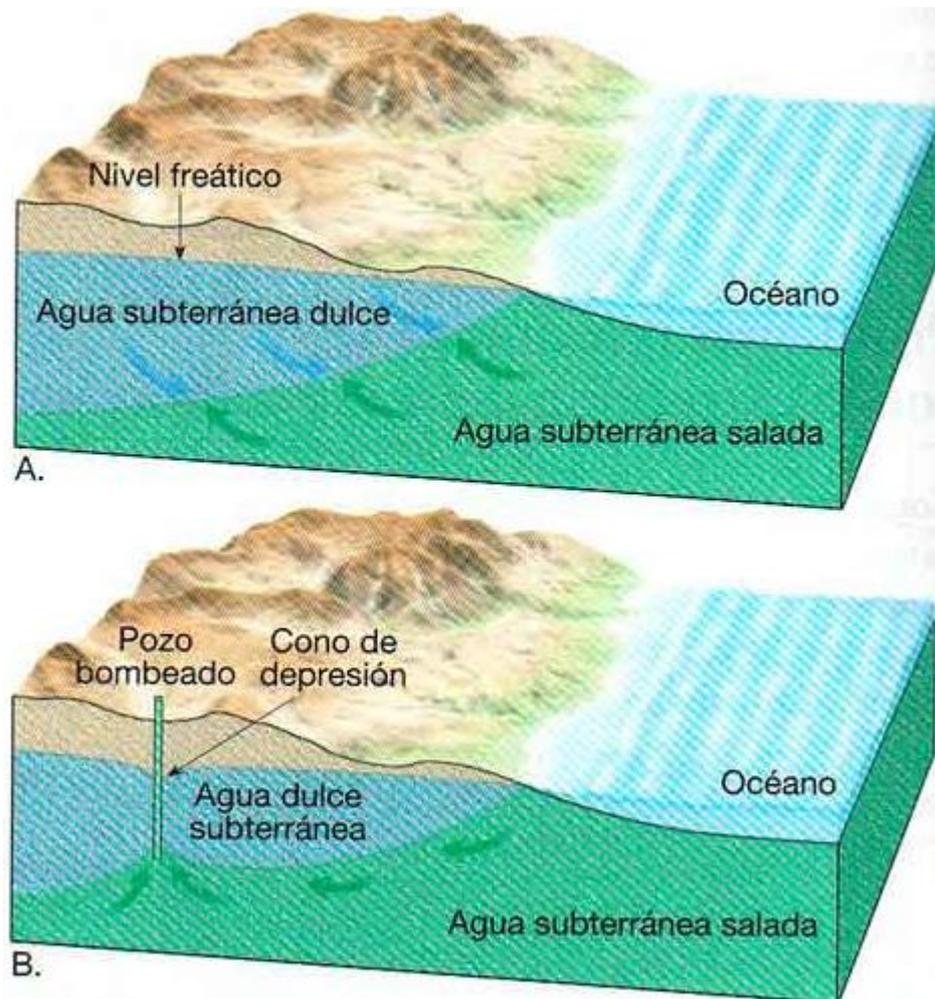
Fuera de Estados Unidos, uno de los ejemplos más espectaculares de subsidencia se produjo en la ciudad de México, que está construida en lo que antes era el fondo de un lago. En la primera mitad del siglo XX se perforaron miles de pozos en los sedimentos sanrrados de agua de debajo de la ciudad. A medida que se iba extrayendo el agua, zonas de la ciudad se hundieron hasta 6 o 7 metros.

En algunos lugares, los edificios se han hundido hasta tal punto que el acceso a ellos desde la calle se realiza por donde ¡antes era el segundo piso!.

### **2.3.2 Contaminación salina**



En muchas áreas costeras, el recurso de las aguas subterráneas está siendo amenazado por la intrusión de agua de mar. Para entender este problema, debemos examinar la relación entre el agua subterránea dulce y el agua subterránea salada. La Figura N° 11A, es un diagrama de un corte que ilustra esta relación en un área costera situada encima de materiales homogéneos permeables. El agua dulce es menos densa que el agua salada, de manera que flota sobre ella y forma un cuerpo lenticular grande que puede extenderse a profundidades considerables por debajo del nivel del mar. En dicha situación, si el nivel freático se encuentra a un metro por encima del nivel del mar, la base del volumen de agua dulce se extenderá hasta una profundidad de unos 40 metros por debajo del nivel del mar. Dicho de otra manera, la profundidad del agua dulce por debajo del nivel del mar es unas 40 veces mayor que la elevación del nivel freático por encima del nivel del mar. Por tanto, cuando el bombeo excesivo hace descender el nivel freático en una cierta cantidad el fondo de la zona de agua dulce se elevará unas 40 veces esa cantidad. Por consiguiente, si continúa la extracción de agua dulce hasta exceder la recarga, llegará un momento en que la elevación del agua salada será suficiente como para ser extraída de los pozos, contaminando así el suministro de agua dulce (Figura N° 11B). Los pozos profundos y los pozos próximos a la costa son normalmente los primeros en verse afectados.



**Figura N° 11A.** Dado que el agua dulce es menos densa que el agua salada, flota sobre esta última y forma un cuerpo lenticular que puede extenderse hasta profundidades considerables debajo del nivel del mar. B. Cuando un bombeo excesivo reduce el nivel freático, la base de la zona de agua dulce se elevará 40 veces esa cantidad. El resultado puede ser la contaminación de los pozos con agua salada.

En las zonas costeras urbanizadas los problemas creados por bombeo excesivo están agravados por un descenso del ritmo de recarga natural. A medida que aumentan las calles, los

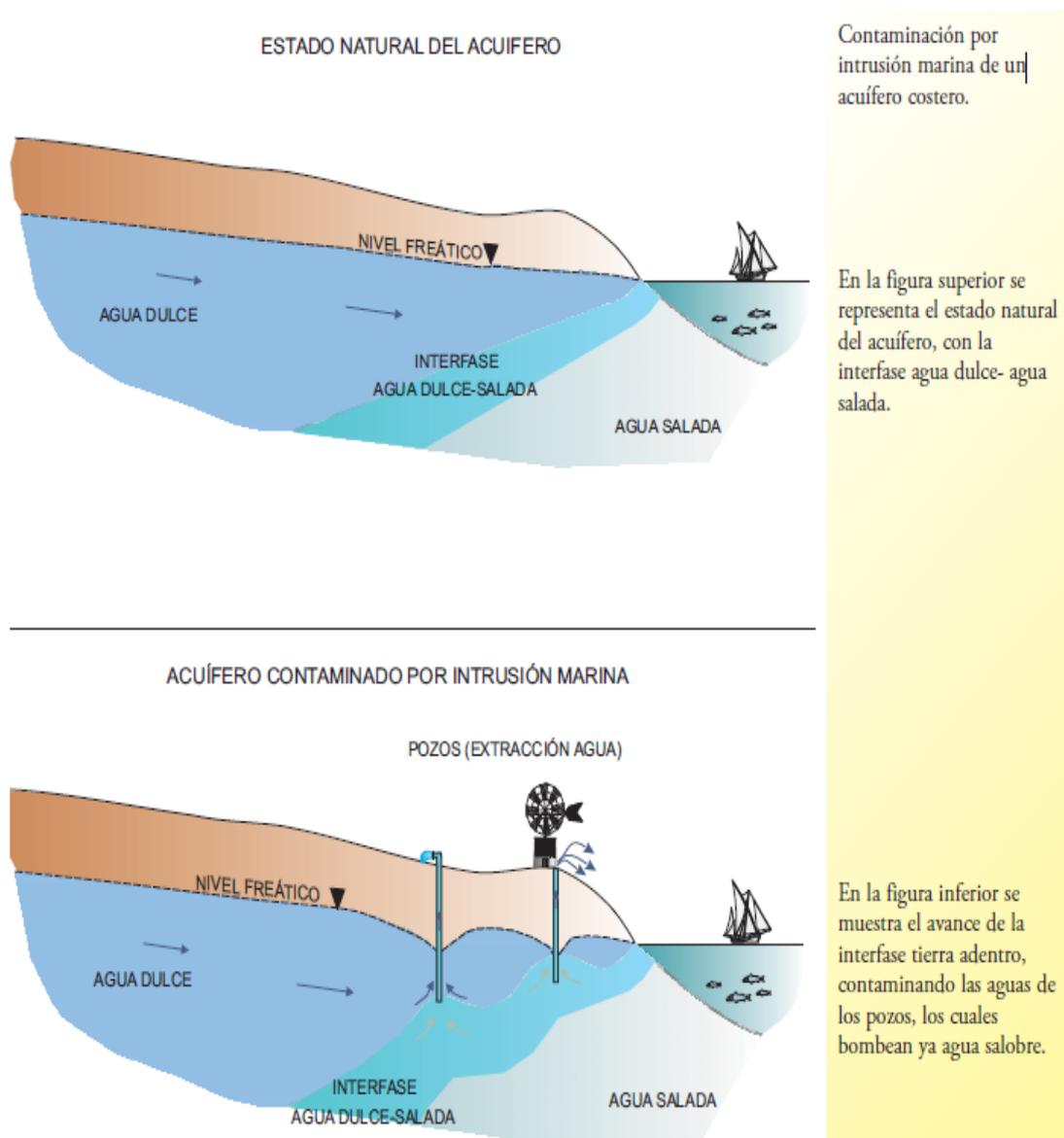


aparcamientos y los edificios que cubren la superficie, disminuye la infiltración en el suelo.

Para intentar corregir el problema de la contaminación del agua subterránea con agua salada, puede utilizarse en una red de pozos de recarga. Estos pozos permiten el bombeo de las aguas de nuevo al sistema de aguas subterráneas. Un segundo método de corrección se lleva a cabo mediante la construcción de grandes cuencas. Estas cuencas recogen el drenaje de superficie y permiten que se infiltre en el terreno. En Long Island, Nueva York, donde el problema de la contaminación salina se reconoció hace más de 40 años, se han utilizado estos dos métodos con considerable éxito.

La contaminación de los acuíferos de agua dulce por agua salada constituye fundamentalmente un problema en las zonas costeras, pero también puede amenazar a zonas no costeras. Muchas rocas sedimentarias antiguas de origen marino se depositaron cuando el océano cubría lugares que ahora se encuentran bastante en el interior. En algunos casos, cantidades significativas de agua de mar quedaron atrapadas y todavía permanecen en la roca. Estos estratos a veces contienen cantidades de agua dulce y pueden ser bombeadas para su uso. Sin embargo, si el agua dulce se elimina más deprisa de lo que puede reponerse, el agua salada puede introducirse y dejar inutilizables los pozos. Una situación como ésta amenazó a los usuarios de un profundo acuífero de arenisca (del

Cámbrico) en la zona de Chicago. Para contrarrestarlo, se distribuyó agua del lago Michigan a las comunidades afectadas con objeto de compensar la velocidad de extracción del acuífero.



### 2.3.3 Contaminación del agua subterránea

Existen factores externos, especialmente de origen antrópico, que pueden alterar la composición natural de las aguas subterráneas.



Debido a la capacidad depuradora del subsuelo, los acuíferos presentan un notable poder de protección frente a muchos agentes contaminantes. Sin embargo, una vez que el acuífero está contaminado, su regeneración suele ser difícil, lenta y costosa. De ahí la enorme importancia de proteger las aguas subterráneas frente a la contaminación, sea cual sea su origen.

En Las Islas Baleares, la contaminación de los acuíferos se debe principalmente a dos causas: la salinización de acuíferos costeros por intrusión de agua marina y el uso de abonos agrícolas. Existen también otros casos de contaminación debido a actividades domésticas, ganaderas, vertidos, etc., pero se trata de eventos muy puntuales que habría que analizar caso por caso.

La contaminación del agua subterránea es una cuestión seria, en particular en las áreas donde los acuíferos proporcionan una gran parte del suministro de agua. Un origen común de la contaminación del agua subterránea son las aguas fecales. Entre sus fuentes se cuenta un número creciente de fosas sépticas, así como sistemas de alcantarillado inadecuados o rotos y los desechos de las granjas. Si las aguas residuales que están contaminadas con bacterias entran en el sistema de aguas subterráneas' pueden purificarse mediante procesos naturales. Las bacterias peligrosas pueden ser filtradas mecánicamente por el sedimento a través del cual el agua percola, destruidas por oxidación química o asimiladas



Por otros microorganismos. Para que se produzca purificación, sin embargo, el acuífero debe ser de la composición correcta. Por ejemplo, acuíferos extremadamente permeables (como rocas cristalinas muy fracturadas, grava gruesa o caliza karstificada) tienen aperturas tan grandes que el agua subterránea contaminada puede recorrer grandes distancias sin ser purificada, En este caso, el agua fluye con demasiada rapidez y no está en contacto con el material circundante el tiempo suficiente para que se produzca su purificación.

Éste es el problema del pozo 1 de la Figura N° 12A.

Por otro lado, cuando el acuífero está compuesto por arena o arenisca permeable, a veces puede purificarse después de viajar por él sólo unas docenas de metros.

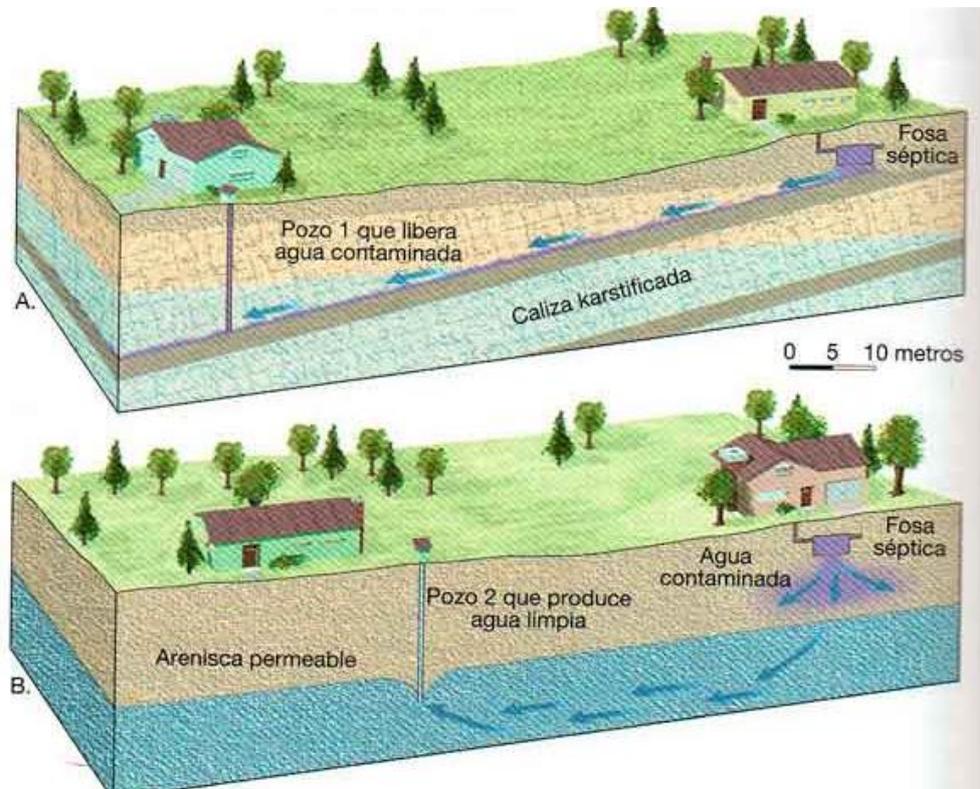
Los huecos entre los granos de arena son lo bastante grandes como para permitir el movimiento del agua, pero este movimiento es, por otro lado, lo bastante lento como para permitir un tiempo prolongado de purificación (pozo 2, Figura N° 12B).

A veces, la perforación de un pozo puede inducir problemas de contaminación del agua subterránea. Si el pozo bombea una cantidad suficiente de agua, el cono de depresión incrementará localmente la pendiente del nivel freático. En algunos casos, la Pendiente original puede incluso invertirse. Esto podría inducir contaminación de los pozos que producían agua no contaminada



antes de que empezara el bombeo intenso (Figura N° 13). También recordemos que la velocidad de circulación del agua subterránea aumenta conforme lo hace la inclinación de la pendiente del nivel freático. Esto podría producir problemas porque una velocidad de circulación más rápida permite menos tiempo para la purificación del agua en el acuífero antes de ser bombeada a la superficie.

Otras fuentes y tipos de contaminación amenazan también los suministros de agua subterránea (Figura N° 14). Entre ellos se cuentan sustancias muy utilizadas como la sal de carretera, los fertilizantes que se extienden por toda la superficie del terreno y los pesticidas. Además, puede escaparse una amplia variedad de productos químicos y materiales industriales de las tuberías, los tanques de almacenamiento, los depósitos y los estanques de retención. Algunos de esos contaminantes se clasifican como peligrosos, lo que significa que son inflamables, corrosivos, explosivos o tóxicos. En los vertederos, los posibles contaminantes se amontonan en montículos o se expanden directamente sobre el terreno. Cuando el agua de la lluvia rebosa a través de las basuras, puede disolver una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos. Si el material lixiviado alcanza el nivel freático, se mezclará con el agua subterránea y contaminará el suministro. Problemas similares pueden producirse como consecuencia del escape de excavaciones superficiales, denominadas estanques de retención, en los que se acumulan desechos diversos de residuos líquidos.



**Figura N° 12 A.** Aunque el agua contaminada ha viajado más de 100 metros antes de alcanzar el pozo 1, se mueve demasiado deprisa a través de la caliza karstificada para ser purificada.

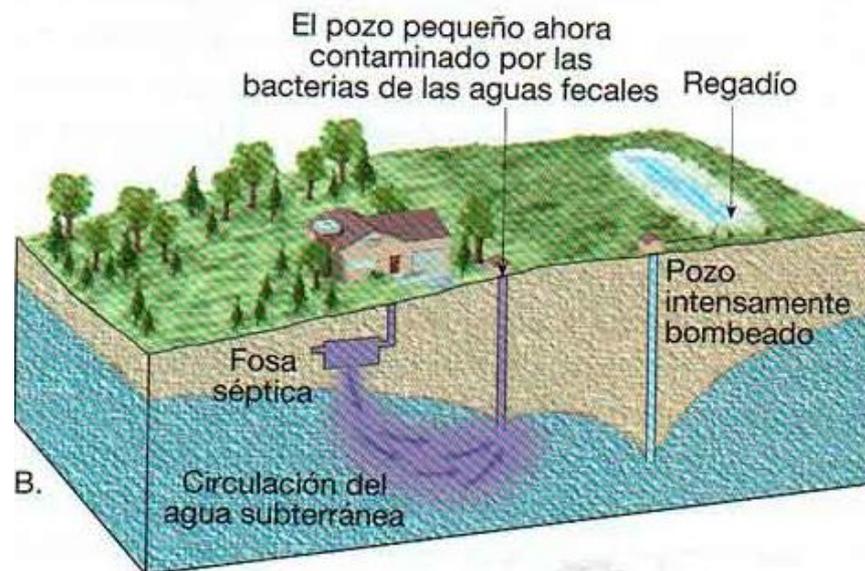
**B.** Conforme la descarga desde el pozo séptico percola a través de la arenisca permeable, es purificada en una distancia relativamente corta.

Dado que el movimiento de las aguas subterráneas suele ser lento, el agua contaminada puede pasar desapercibida durante mucho tiempo. De hecho, la mayor parte de la contaminación se descubre sólo después de haberse visto afectada el agua potable y de que las personas enfermen, Llegados a este punto, el volumen de agua contaminada puede ser muy grande y' aun cuando se elimine inmediatamente la fuente de contaminación, no se resuelve el

problema. Aunque las fuentes de contaminación del agua subterránea son numerosas, hay relativamente pocas soluciones.



**Figura N°13 A.** Originalmente el flujo de salida de la fosa séptica se alejaba del pozo pequeño.



**Figura N°13 B.** El intenso bombeo del pozo cambió la pendiente del nivel freático, haciendo que el agua subterránea contaminada fluyera hacia el pozo pequeño.



Figura N° 14 A veces, las sustancias químicas agrícolas y los materiales lixiviados de los vertederos se abren camino hacia las aguas subterráneas. Éstas son dos de las posibles fuentes de la contaminación de las aguas subterráneas.

Una vez identificado y eliminado el origen del problema, la práctica más común consiste simplemente en abandonar el suministro de agua y dejar que los contaminantes se vayan limpiando de manera gradual. Esta es la solución menos costosa y más fácil, pero el acuífero debe permanecer sin utilizarse durante muchos años. Para acelerar este proceso, a veces se bombea el agua contaminada y se trata. Después de eliminar el agua infectada, se deja que el acuífero se recargue de forma natural o, en algunos casos, se bombea de altera al acuífero el agua tratada o agua limpia. Este proceso es costoso y largo, y puede ser arriesgado, pues no hay



manera de asegurar que se ha eliminado toda la contaminación.

Por supuesto, la solución más eficaz a la contaminación del agua subterránea es la prevención.

### **Abonado agrícola**

El abonado que se utiliza comúnmente en la agricultura puede ser de tipo mineral u orgánico. En ambos casos puede producir una contaminación del acuífero debido a un aporte elevado de nitratos.

La aplicación excesiva e incorrecta de abonos, así como las prácticas de riego poco eficientes, favorecen el lavado de nitratos y su incorporación al acuífero. En Baleares este tipo de contaminación se acentúa, ya que casi todos los campos de cultivo se riegan con aguas subterráneas y se produce un continuo reciclado de éstas.

Esquema que representa los posibles diferentes orígenes de la contaminación de las aguas subterráneas en el Archipiélago balear, así como el tipo de contaminación que producen.



### Otros tipos de contaminación de las aguas subterráneas

En ocasiones, se puede producir una contaminación de tipo puntual debida a las siguientes causas:

- ❖ **Actividades domésticas:** se puede producir una contaminación de tipo orgánica debido a fugas en fosas sépticas, pozos negros, pérdidas en la red de alcantarillado etc.
- ❖ **Actividades ganaderas:** La mala gestión de los residuos ganaderos puede generar una contaminación orgánica en el acuífero muy concentrada e intensa. Este tipo de contaminación es frecuente en el acuífero de Migjorn en la isla de Menorca, donde hay numerosas explotaciones de ganado vacuno.



- ❖ **Actividades industriales:** El sector industrial produce una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas, y en especial metales pesados, que pueden dar lugar a contaminaciones muy nocivas de las aguas subterráneas.
- ❖ **Vertederos de residuos sólidos.** La actividad humana produce residuos sólidos de variada naturaleza que pueden contaminar los acuíferos. Son especialmente peligrosos los vertederos no controlados.
- ❖ **Las gasolineras** pueden constituir también posibles focos de contaminación de las aguas subterráneas, debido a posibles fugas de combustible de los depósitos enterrados. Recientemente, el acuífero de Santa Gertrudis (Ibiza) se ha visto afectado por este tipo de contaminación, lo cual ha obligado a la Administración a un largo y costoso proceso de regeneración del acuífero.

## 2.4 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Son factores de riesgo los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos la contaminación radiológica. La experiencia pone de manifiesto el valor de los enfoques de gestión preventivos que abarcan desde los recursos hídricos al consumidor.

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal



si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas.

Para una correcta interpretación de los datos obtenidos, los resultados de los análisis deben manejarse estadísticamente, teniendo en cuenta la correlación de iones, los factores que gobiernan el comportamiento de los componentes del agua, etcétera. El uso de gráficos ayuda a mostrar las relaciones físicas y químicas entre el agua, las fuentes probables de contaminación o polución y el régimen de calidad y, por tanto, a realizar adecuadamente la evaluación de los recursos hídricos.

A continuación se tratan en detalle las principales características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua, el origen de los constituyentes, su importancia en la salud, su relación con los principales procesos de tratamiento y los límites de concentración



establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para consumo humano.

#### **2.4.1 Características físicas**

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Se consideran importantes las siguientes:

- turbiedad;
- sólidos solubles e insolubles;
- color;
- olor y sabor;
- temperatura, y
- pH.

##### **a) Turbiedad**

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La figura 1 muestra la distribución de las partículas en el agua de acuerdo con su tamaño. La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.



La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Últimamente, ha cobrado importancia la presencia de fibras de asbesto desprendidas de los accesorios de asbesto-cemento de los sistemas de distribución como un factor causante de turbiedad en las aguas de consumo humano.

En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua; sin embargo, es uno de los que más influye en los costos de producción, porque, por lo general, requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación, etcétera.

El diseño de los sistemas de remoción de turbiedad debe considerar no solo el tipo de partículas existentes (origen, estructura, composición y forma) sino también su tamaño y comportamiento.

Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, como señala Castro de Esparza (1), los estudios elaborados por Tracy y por Sanderson y Kelly han demostrado que en el proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso y



protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbiedad en la fuente de abastecimiento, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección.

Los estándares internos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) establecen que las aguas de consumo humano deben tener preferentemente una UNT y en ningún caso más de 5 UNT. Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá y las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan como valor guía 5 UNT. La OMS indica, sin embargo, que para una desinfección eficiente, el agua filtrada debería tener una turbiedad promedio menor o igual a una UNT

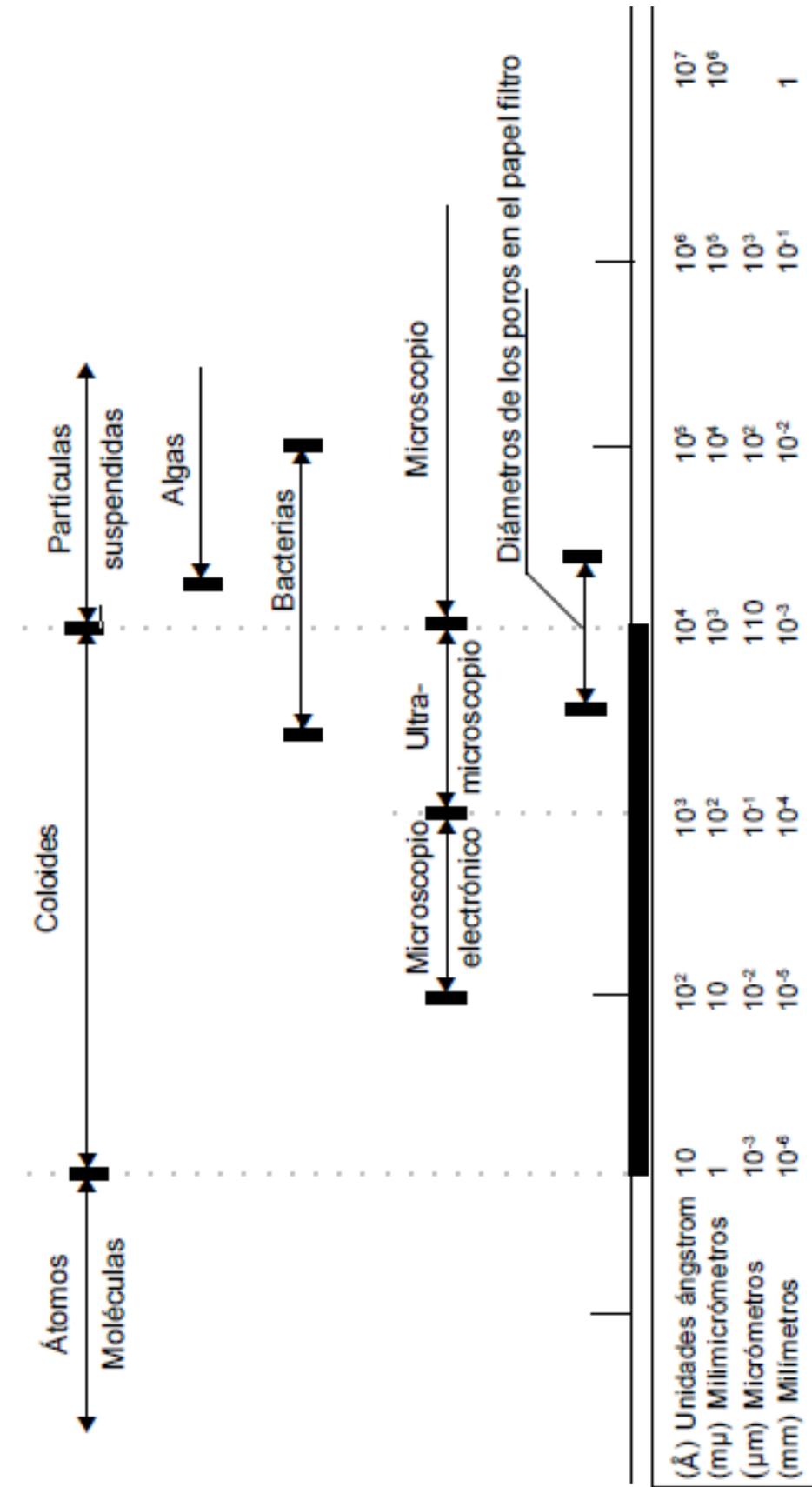


Figura 1-1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua



## b) Sólidos y residuos

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada.

Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

La figura 1-1 muestra la distribución de partículas en el agua según su tamaño. Las partículas pueden estar:

- Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1.000milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1.000milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.
- Es necesario aclarar que las pruebas analíticas para determinar las formas de los residuos no determinan sustancias químicas específicas y solo clasifican sustancias que tienen propiedades físicas similares y comportamiento semejante frente a las diferentes condiciones ambientales.



### ***Sólidos totales***

Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105°C.

Equivalencias:

Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos

Sólidos totales = sólidos fijos + sólidos volátiles

### ***Sólidos disueltos o residuos disueltos.***

Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1  $\mu$ ).

### ***Sólidos en suspensión.***

Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal.

Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.



### ***Sólidos volátiles y fijos.***

Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico.

Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico.

### **c) Color**

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal;
- la descomposición de la materia;
- la materia orgánica del suelo;
- la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y
- una combinación de los procesos descritos.



En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada.

Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente.

Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que este haya sido removido, para evitar que la aplicación de cloro como desinfectante pueda dar origen a la formación de trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales.

El valor guía de la OMS y del Canadá es 15 unidades de color (UC) para aguas de bebida.



#### d) Olor y sabor

El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que “A lo que huele, sabe el agua”.

Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor.

En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

El cuadro 1-1 presenta un resumen de algunos olores característicos del agua, de acuerdo con su origen.

**Cuadro 1-1. Olores característicos del agua y su origen**

| Naturaleza          | Origen                              |
|---------------------|-------------------------------------|
| Olor balsámico      | Flores                              |
| Dulzor              | <i>Coelosphaerium</i>               |
| Olor químico        | Aguas residuales industriales       |
| Olor a cloro        | Cloro libre                         |
| Olor a hidrocarburo | Refinería de petróleo               |
| Olor medicamentoso  | Fenol, yodoformo                    |
| Olor a azufre       | Ácido sulfhídrico, H <sub>2</sub> S |
| Olor a pescado      | Pescado, mariscos                   |
| Olor séptico        | Alcantarilla                        |
| Olor a tierra       | Arcillas húmedas                    |
| Olor fecaloide      | Retrete, alcantarilla               |
| Olor a moho         | Cueva húmeda                        |
| Olor a legumbres    | Hierbas, hojas en descomposición    |



Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales.

En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo.

El cuadro 1-2 muestra los límites de percepción de algunas sales y compuestos presentes en el agua.

**Cuadro 1-2. Límites de percepción de algunas sales y compuestos en el agua (mg/L)**

| Sustancia                    | Netamente reconocible | Debidamente perceptible | No apreciable |
|------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| $\text{CaCl}_2; \text{NaCl}$ | 600                   | 300                     | 150           |
| $\text{MgCl}_2$              | 100                   | 60                      | —             |
| $\text{FeSO}_4$              | —                     | 3,5                     | 1,75          |
| $\text{CuSO}_4$              | 7                     | 3,5                     | 1,75          |
| $\text{H}_2\text{S}$         | 1,15                  | 0,55                    | 0,30          |
| $\text{H}_2\text{SO}_4$      | 4                     | 2                       | 1             |
| $\text{Cl}_2$                | 0,1                   | 0,05                    | 0,05          |
| $\text{Ca}(\text{OCl})_2$    | 0,5                   | 0,20                    | 0,20          |

En algunos casos, la eliminación de los olores puede realizarse mediante la aireación o la adición de carbón activado.



La cloración en presencia de compuestos fenólicos puede imprimir un mal sabor en el agua, por la formación de derivados clorados que producen un sabor a derivados fenólicos.

La EPA y la OMS recomiendan como criterio que por razones organolépticas, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable.

#### **e) Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

#### **f) pH**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución.

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.



Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua.

Las guías canadienses han establecido el rango de pH 6,5 a 8,5 para el agua potable.

#### **2.4.2 Características químicas**

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor.

A continuación se sustentan las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de abastecimiento.



Asimismo, se citan las recomendaciones que, como criterios de calidad, ha publicado la EPA en el año 2000 (4) en Estados Unidos, así como las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá-1978 y las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS (3). Véase el cuadro 1-3.

### **Aceites y grasas**

La presencia de aceites y grasas en el agua puede alterar su calidad estética (olor, sabor y apariencia).

El contenido de aceites y grasas en el agua se determina en el laboratorio mediante la extracción de todo el material soluble en un solvente orgánico tal como el hexano. Los resultados se reportan como mg/L de MEH (material extraíble en hexano).

Las normas de calidad de agua recomiendan que los aceites y grasas estén ausentes en el agua para consumo humano, más por razones de aceptabilidad que porque exista algún riesgo de daño a la salud.



**CUADRO 1-3. CRITERIOS DE CALIDAD PARA EL AGUA POTABLE**

| Parámetros                  |      | Regulaciones Internas Primarias | Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2) | Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3) |
|-----------------------------|------|---------------------------------|---|---|
| Unidades                    |      | Nivel máximo del contaminante   | Concentración máxima aceptable                              | Valor guía  |
| <b>Físicos</b>              |      |                                 |   |   |
| Color                       | TCU  | —                               | 15  | 15  |
| Sabor y olor                |      | Aceptable                       | —   | Aceptable   |
| Turbiedad                   | UNT  | 5 <sup>a</sup>                  | 5   | 5 <sup>b</sup>                                      |
| <b>Inorgánicos</b>          |      |                                 |   |   |
| Aluminio                    | mg/L | —                               | —   | 0,2   |
| Amonio                      | mg/L | —                               | —   | 1,5   |
| Antimonio                   | mg/L | 0,006                           | —   | 0,005 <sup>(P)</sup>                                |
| Arsénico                    | mg/L | 0,05                            | 0,05  | 0,01 <sup>c</sup>                                   |
| Bario                       | mg/L | 2,0                             | 1,0   | 0,7   |
| Boro                        | mg/L | —                               | 5,0   | 0,3   |
| Cadmio                      | mg/L | 0,005                           | 0,005   | 0,003   |
| Cianuro                     | mg/L | 0,2                             | 0,2   | 0,07  |
| Cinc                        | mg/L | —                               | 5,0   | 3   |
| Cloro                       | mg/L | —                               | —   | 5 <sup>d</sup>                                      |
| Cloruro                     | mg/L | —                               | 250   | 250   |
| Cobre                       | mg/L | 1,3 <sup>ma</sup>               | 1,0   | 2 <sup>d</sup>                                      |
| Cromo (total)               | mg/L | 0,1                             | 0,05  | 0,05 <sup>(P)</sup>                                 |
| Fluoruro                    | mg/L | 4                               | 1,5   | 1,5   |
| Hierro                      | mg/L | —                               | 0,3   | 0,3   |
| Manganeso                   | mg/L | —                               | 0,05  | 0,5 <sup>(P)</sup>                                  |
| Mercurio                    | mg/L | 0,002                           | 0,001   | 0,001   |
| Nitrato (como N)            | mg/L | 10                              | 10 <sup>f</sup>   | 50 <sup>j</sup>                                     |
| Nitrito (como N)            | mg/L | 1                               | 1,0 <sup>f</sup>  | 3   |
| pH                          | —    | —                               | 6,5 – 8,5   | —   |
| Plata                       | mg/L | —                               | 0,05  | 0   |
| Plomo                       | mg/L | 0,015 <sup>ma</sup>             | 0,05  | 0,01  |
| Selenio                     | mg/L | 0,05                            | 0,01  | 0,01  |
| Sulfato                     | mg/L | —                               | 500   | 250   |
| Sulfuros (H <sub>2</sub> S) | mg/L | —                               | 0,05  | 0,05 <sup>@</sup>                                   |
| Sólidos disueltos           | mg/L | —                               | 500   | 1.000   |



| Parámetros                     |               | Regulaciones Internas Primarias EPA (2000) | Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2) | Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3) |
|--------------------------------|---------------|--|---|---|
| Orgánicos                      | Unidades µg/L | Nivel máximo permitido                     | Concentración máxima aceptable                              | Valor guía  |
| Aldrin + dieldrin              | µg/L          |  | 0,7   | 0,03  |
| Benceno                        | µg/L          | 5  | —   | 10 <sup>c</sup>                                     |
| Carbofurano                    | µg/L          | 40   |   | 5   |
| Clordano                       | µg/L          | 2  | 7   | 0,2   |
| Clorobenceno                   | µg/L          | 100  | —   | —   |
| Cloroformo                     | µg/L          | —  | 100   | 200 <sup>c</sup>                                    |
| DDT                            | µg/L          |  | 30  | 2   |
| Dioxina                        | µg/L          | 0,00003                                    | —   | —   |
| Endrin                         | µg/L          | 2  | 0,2   | —   |
| Fenoles                        | µg/L          | —  | 2   | —   |
| Heptacloro + heptaclor-epóxido | µg/L          | 0,6  | 3   | 0,03  |
| Lindano                        | µg/L          | 0,2  | 4   | 2   |
| Metoxycloro                    | µg/L          | 40   | 100   | 20  |
| Monocloramina                  | µg/L          | —  | —   | 3.000   |
| Parathión                      | µg/L          |  | 35  | —   |
| PCB                            | µg/L          | 0,5  | —   | —   |
| Plaguicidas (total)            | µg/L          | —  | 100 <sup>h</sup>  | —   |
| Tetracloruro de carbono        | µg/L          | 5  |   | 2   |
| Tolueno                        | µg/L          | 1.000                                      | —   | 700 <sup>d</sup>                                    |
| Toxafeno                       | µg/L          | 3  | 5   | —   |
| 2,4-D                          | µg/L          | 70   | 100   | 30  |
| 2,4,5-TP                       | µg/L          | 50   | 10  | 9   |
| Trihalometanos                 | µg/L          | 100  | 350   | ƒ   |

TCU: Unidades de Color Verdadero.

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

( P ) Valor guía provisional.

( I ) En las concentraciones normalmente encontradas, no se ha detectado daño en la salud.

a La Regla de Tratamiento de Agua de Superficie requiere que los sistemas que usan agua de superficie o subterránea bajo influencia directa de agua de superficie: (1) desinfecten el agua y (2) filtren el agua o realicen el mismo nivel de tratamiento que aquellos que filtran el agua. El tratamiento debe reducir los niveles de *Giardia lamblia* (parásito) en 99,9% y los virus en 99,99%. La *Legionella* (bacteria) no tiene límite, pero la EPA considera que si se inactivan la *Giardia* y los virus, la *Legionella* también estará controlada. En ningún momento la turbiedad (enturbiamiento del agua) puede superar las 5 UNT (los sistemas filtrantes deben asegurar que la turbiedad no supere una UNT [0,5 UNT para filtración convencional o directa] en al menos 95% de las muestras diarias de cualquier mes); HPC: no más de 500 colonias por mililitro.

b Turbiedad promedio para una efectiva desinfección: = 1 UNT. Muestra simple: = 5 UNT.

c Por ser consideradas sustancias cancerígenas.

d Concentraciones establecidas porque a concentraciones mayores, se pueden ver afectados el sabor, el olor y la apariencia del agua.

f Cuando nitrato y nitrito están presentes, la suma de las dos concentraciones no debe exceder 10 mg/L.

g La suma de la razón entre la concentración de cada uno y su respectivo valor guía no debe exceder de 1.

h Se aplica cuando más de un plaguicida considerado en las guías de calidad están presentes en el agua.

@ Relacionado con el olor y el sabor del agua.

na El plomo y el cobre se regulan mediante una técnica de tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas públicos de agua tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más de 10% los valores permitidos.



### **Agentes espumantes**

Entre los agentes espumantes se agrupa a todos los compuestos tensoactivos que, por su naturaleza, en mayor o en menor grado, producen espuma cuando el agua es agitada. La causa principal reside en la presencia de residuos de los detergentes domésticos, como el alquil-sulfonato lineal (LAS) y el alquil-sulfonato bencénico ramificado (ABS), entre los más comunes.

Su acción más importante en las aguas superficiales está relacionada con la interferencia en el poder autodepurador de los recursos hídricos, debido a la inhibición de la oxidación química y biológica. Como consecuencia de esto, aun en aguas fuertemente contaminadas, la determinación de la carga orgánica biodegradable (DBO) suele presentar valores bajos. Esto se debe, entre otras causas, a que las bacterias en presencia de detergentes se rodean de una película que las aísla del medio e impide su acción.

Por otro lado, la solubilidad del oxígeno en aguas que contienen detergentes es menor que en aguas libres de ellos. Se disminuye, en consecuencia, la difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua.

Frente a la presencia de aceites y grasas, los detergentes juegan un papel emulsionante, lo que depende fundamentalmente de la estructura del grupo líofilo del detergente.



Asimismo, los “agentes tensoactivos” presentes en el agua pueden dispersar las sustancias insolubles o absorbidas, debido a la disminución de la tensión superficial del agua. Interfieren así en los procesos de coagulación, sedimentación y filtración.

Aunque los detergentes pueden tener estructuras químicas diversas o ser más o menos biodegradables, se ha demostrado que concentraciones menores de 0,5 mg/L no tienen efectos adversos en los procesos de tratamiento ni en la salud.

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano no presentan un valor guía referido al contenido de detergentes en el agua de bebida, pero recomiendan que el agua no presente espuma ni problemas de olor ni sabor relacionados con este parámetro.

### **Alcalinidad**

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica.

Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con



tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor.

Durante el tratamiento, las aguas crudas de muy baja alcalinidad pueden requerir la adición de un alcalinizante primario (como el hidróxido de calcio).

La EPA no hace recomendaciones respecto a la alcalinidad en fuentes de agua, ya que esta se liga a factores como el pH y la dureza, pero concluye que una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un cambio en la calidad del agua.

### **Aluminio**

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de



la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm.

El problema mayor lo constituyen las aguas que presentan concentraciones altas de aluminio, las cuales confieren al agua un pH bajo, debido a sus propiedades anfóteras, que hacen que sus sales se hidrolicen formando ácidos débiles.

Durante el tratamiento es posible remover las sales de aluminio solubles, mediante la formación de hidróxido de aluminio. Sin embargo, es necesario tener mucho control del pH, pues si este sube excesivamente, podría producirse la formación de aluminatos, nuevamente solubles. La coagulación, en este caso, se realiza mediante polímeros orgánicos, por lo general aniónicos.

Cuando el aluminio se encuentra en el agua cruda, se recomienda usar como coagulantes sales de hierro o polímeros sintéticos. Los coagulantes alumínicos dejan un remanente de metal que, en algunos casos, puede llegar a niveles no deseados.

En el caso del aluminio, la OMS ha establecido un valor guía de 0,2 mg/L para aguas de consumo humano.

### **Amonio**

Es el producto final de la reducción de las sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas y debe su origen a los siguientes factores:

- El nitrógeno atmosférico, por fijación química.



- Las proteínas animales o vegetales, por putrefacción mediante acción bacteriana.
- La reducción de nitritos.

El amoníaco se encuentra en cantidades notables cuando el medio es fuertemente reductor. En un medio oxidante, el ion amonio se transforma en nitrito.

Se le considera un constituyente normal de las aguas superficiales y está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües. Cuando su concentración es mayor de 0,1 mg/L (como N), podría constituirse en un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales.

El amoníaco en las aguas residuales es producido en su mayor parte por la eliminación de compuestos que tienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea o úrea. En casos menos frecuentes, se puede producir por reducción de nitratos en condiciones anaeróbicas.

El amoníaco es un micronutriente para microorganismos y algas en los sistemas de distribución. Su presencia en el agua favorece la multiplicación de estos.

Este compuesto influye en los procesos de desinfección con cloro e incrementa su demanda debido a la formación de cloramidas.

Por lo general, la eliminación del amoníaco a concentraciones altas se realiza mediante la oxidación con cloro.



La OMS establece como valor guía para aguas de bebida 1,5 mg/L, referido más bien a criterios de aceptabilidad (olor y sabor).

### **Antimonio**

No es un elemento esencial para la vida de las personas o animales. En el agua puede encontrarse bajo el estado de oxidación III ó V y a concentraciones promedio de 0,6 mg/L. Se lo relaciona con el aumento del colesterol en la sangre.

Las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales con antimonio son las descargas de la industria petrolera, cerámica, electrónica, entre otras.

Debido a que su comportamiento químico es parecido al del arsénico, su proceso de remoción es similar al de este.

Respecto al agua potable, el valor guía provisional dado por la OMS es de

0,005 mg/L. La EPA indica como nivel máximo de concentración 0,006 mg/L.

### **Arsénico**

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para el hombre.

Se encuentra en forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos inorgánicos como orgánicos.



Las concentraciones de As en aguas naturales usualmente son menores de 10  $\mu\text{g/L}$ . Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones entre 0,2 y 1 g/L.

La toxicidad del As es compleja, pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto.

El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en seres humanos.

En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de As(III) son más tóxicas que las de As(V) y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico está relacionada con su toxicidad; todos los compuestos solubles son tóxicos.

Se sospecha que el arsénico tiene efectos cancerígenos por la correlación encontrada entre la incidencia de hiperquetosis y cáncer de la piel por un lado y la ingestión de aguas con más de 0,3 mg/L de arsénico por otro. Esta relación fue comprobada por Trelles (5) en la Argentina.

El metabolismo del As se realiza principalmente en el hígado, aunque su mecanismo no está bien establecido.

La remoción de arsénico del agua se basa principalmente en su oxidación a su forma pentavalente antes de la coagulación con sulfato férrico a pH de 6 a 8, con alumbre a pH de 6 a 7 o



ablandamiento con cal a pH 11. A escala experimental, este método ha permitido una remoción de 90% de arsénico.

Debido a sus efectos adversos sobre la salud y a la insuficiente información sobre su remoción del agua, la EPA y las guías canadienses recomiendan que el contenido de arsénico en fuentes de abastecimiento no exceda 0,05 mg/L.

El valor guía de la OMS para el agua de bebida es 0,01 mg/L.

### **Asbesto**

El contenido de asbesto en el agua es una preocupación reciente. Bajo ciertas condiciones de calidad del agua y debido a la erosión, las fibras de asbesto pueden desprenderse de las tuberías de asbesto-cemento presentes en los sistemas de distribución. Sin embargo, una vez identificado el problema, es posible mitigar el efecto mediante el control y la reducción de la corrosividad del agua.

Estudios realizados en el Canadá encontraron cantidades que varían desde menos de 105 hasta  $2 \times 10^9$  fibras de asbesto por litro en agua cruda y cantidades de  $9,5 \times 10^6$  fibras de asbesto por litro en el agua filtrada (6).

La EPA reporta que concentraciones superiores a 7 millones de fibras mayores de 10 micrómetros por litro (nivel máximo permitido) en el agua potable podrían significar un alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos.



Sin embargo, la OMS considera que no es necesario recomendar un valor guía para el asbesto en el agua de bebida, debido a que las concentraciones normalmente halladas en ella no representan un riesgo para la salud.

### **Bario**

Elemento altamente tóxico para el hombre; causa trastornos cardíacos, vasculares y nerviosos (aumento de presión arterial). Se considera fatal una dosis de 0,8 a 0,9 gramos como cloruro de bario (de 550 a 600 miligramos de bario).

La contaminación del agua por bario puede provenir principalmente de los residuos de perforaciones, de efluentes de refinerías metálicas o de la erosión de depósitos naturales.

Las concentraciones halladas en el agua son por lo general muy bajas; varían entre trazas y 0,05 mg/L.

Estudios realizados en las aguas de consumo muestran evidencias de que el bario puede ser absorbido por óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, lo cual explicaría su eliminación durante la coagulación. Sin embargo, existen pruebas que demuestran que el tratamiento convencional mediante coagulantes de aluminio y hierro, con filtración posterior, no es un método particularmente efectivo para la remoción de bario en el agua. Sorg y Logsdon (7) encontraron una eficiencia menor de 30% en pruebas de laboratorio.



Por otro lado, un control adecuado del pH en la planta de ablandamiento del agua mediante cal puede lograr una remoción de 90% del bario (7, 8).

Como un margen de seguridad, la EPA y las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá han fijado tentativamente como límite 2 y 1 mg/L, respectivamente, en las fuentes de aguas de consumo humano. La OMS da un valor guía de 0,7 mg/L.

### **Boro**

El boro no se considera un elemento esencial para la nutrición humana.

Existen estudios que demuestran su influencia en el retardo del crecimiento de las plantas.

Estudios realizados en plantas piloto han demostrado gran eficiencia de remoción de boro en los procesos de ablandamiento cal-soda a pH 8,5–11,3 (98%) y, en menor grado, en la coagulación con sulfato férrico.

La OMS ha establecido como valor guía para aguas de consumo 0,3 mg/L, mientras que el Canadá considera 5 mg/L como concentración máxima aceptable.

Esta diferencia tan grande entre los valores guía se debe a la insuficiente información sobre los efectos de esta sustancia sobre el bienestar del consumidor.



## **Cadmio**

No es un elemento esencial para la vida del hombre.

La contaminación de las aguas superficiales con este metal pesado puede provenir de la corrosión de los tubos galvanizados, de la erosión de depósitos naturales, de los efluentes de refinerías de metales o de líquidos de escorrentía de baterías usadas o pinturas. Muchos pigmentos usados para la coloración de plásticos o la formulación de pinturas contienen concentraciones elevadas de cadmio.

Este metal pesado es potencialmente tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones.

En el organismo, algunos iones  $\text{Ca}^{2+}$  de los huesos pueden ser reemplazados por iones  $\text{Cd}^{2+}$ , pues ambos iones tienen el mismo estado de oxidación y casi el mismo tamaño. Esta sustitución puede causar fragilidad en los huesos y susceptibilidad a las fracturas.

La ingestión de agua y alimentos que contengan el metal representa de 5 a 10% del total de cadmio absorbido en el organismo. Estas concentraciones dependen de la ingestión de proteínas y de la presencia de vitamina D; incluso, se relaciona con la concentración en el organismo de algunos elementos, como Zn, Se y Ca, con los cuales compite el cadmio. El cadmio también reduce los niveles de hierro hepático.



La vida media del cadmio en el organismo es muy larga y se calcula entre 10 y 30 años, periodo en el cual permanece almacenado en varios órganos, en particular el hígado y los riñones.

Se ha encontrado que los procesos de coagulación remueven el cadmio, pero una variable importante es el pH. Al usar sales de aluminio y regular el pH, es posible la remoción de 90% de cadmio en aguas turbias (9).

El sulfato de hierro puede remover 90% de cadmio a pH 7,5 (10).

El proceso de ablandamiento cal-soda puede tener una efectividad cercana a 100%, debido a que se lleva a cabo a pH alto.

La EPA recomienda como margen de seguridad un límite máximo permisible de 0,005 mg/L para aguas de consumo humano. Los valores guía dados por la OMS y el Canadá son 0,003 mg/L y 0,005 mg/L, respectivamente. Sin embargo, dado el poder bioacumulativo del cadmio, se recomienda que la concentración en el agua tratada sea la menor posible.

### **Cianuro**

Su presencia no es frecuente en aguas naturales.

La concentración de cianuro en aguas superficiales se debe, por lo general, a su contaminación mediante descargas industriales, en especial de galvanoplastia, plásticos, fertilizantes y minería. La extracción de oro usa cantidades importantes de cianuro en



procesos que generan efluentes con estos residuos, la mayor parte de los cuales tienen como destino final los ríos y los lagos.

El cianuro es muy tóxico: una dosis de 0,1 mg/L tiene efectos negativos en los peces y una de 50–60 mg/L puede ser fatal para los seres humanos. Los efectos del cianuro sobre la salud están relacionados con lesiones en el sistema nervioso y problemas de tiroides.

La toxicidad del cianuro depende de su concentración, el pH y la temperatura, entre otros factores. Los cianuros alcalinos disueltos se transforman por oxidación en carbonatos alcalinos, lo cual hace que disminuyan extraordinariamente sus propiedades tóxicas.

El organismo humano convierte el cianuro en tiocianato, sustancia de menor toxicidad y de fácil excreción.

Es importante anotar que la flora bacteriana no muere, sino que se inhibe con la presencia de pequeñas concentraciones de cianuro, y vuelve a desarrollar su actividad normal cuando desaparece.

Cuando un agua que contiene cianuros o sulfocianuros se clora, se forma cloruro de cianógeno (CICN), muy tóxico, que persiste durante 24 horas a pH 9 si no hay cloro residual.

Bajo condiciones ácidas, la ozonización o cloración de aguas contaminadas con tiocianato puede favorecer la formación de ácido cianhídrico (HCN).



En la cloración con cloro gas o hipoclorito, el cianuro libre (HCN y CN-) se destruye y se transforma en cianato (11, 12). La cloración efectuada hasta obtener cloro residual, a pH neutro o ligeramente alcalino, reduce los niveles de cianuro por debajo de los límites propuestos como deletéreos.

El ozono es también particularmente efectivo para la oxidación del cianuro.

Hay poca información reciente sobre la remoción de cianuro durante el tratamiento del agua con fines de consumo, tal vez porque debería estar ausente en el agua cruda seleccionada para su potabilización.

La EPA y las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan un contenido no mayor de 0,2 mg/L en aguas destinadas a consumo público. La OMS propone una concentración menor: 0,07 mg/L.

## **Cinc**

Las aguas naturales pueden contener cinc en concentraciones bastante bajas. En el agua de suministro, el cinc proviene generalmente del contacto con accesorios y estructuras galvanizadas o de bronce.

El cinc es un elemento esencial y benéfico para el metabolismo humano, ya que muchas enzimas dependen de él para la



descomposición del ácido carbónico y de la insulina, hormona esencial en el metabolismo de los hidratos de carbono.

La salubridad del cinc es variable y depende del pH y de la alcalinidad.

Diferentes estudios han demostrado que el cinc no tiene efectos sobre la salud en concentraciones tan altas como 40 mg/L, pero que tiene un marcado efecto sobre el sabor; por ello su contenido debe limitarse.

Por ser un elemento anfótero, el cinc puede estar en sus formas solubles tanto con pH ácido como alcalino. Debido a esto, su remoción es difícil, aunque hay poca información al respecto.

Estudios de remoción de cinc en aguas residuales reportan que la coagulación con sulfato no es efectiva (30%). El ablandamiento cal-soda con un pH de 9,5 puede mejorar la eficiencia hasta un rango de 60 a 90% (10).

Debido a su influencia en el sabor y a la poca información respecto a su remoción, las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan que la concentración de cinc en aguas de consumo no exceda los 5 mg/L. La OMS limita esta recomendación a 3 mg/L.

### **Cloruros**

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en



aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.

En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad.

A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua y también sobre algunos componentes del cemento, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo.

Por sus características químicas y la gran solubilidad de la mayoría de los cloruros, su remoción requiere métodos sofisticados y costosos, muchos de ellos impracticables, especialmente cuando se trata de volúmenes relativamente altos.

El método tradicional, que puede resultar más eficiente y práctico, es el de la destilación. Actualmente se está trabajando en este campo para lograr unidades que aprovechen la energía solar y eliminen los cloruros de manera eficiente y a bajo costo. Este sistema puede resultar especialmente útil en comunidades costeras cuya única fuente sea el agua del mar.

Los límites fijados en el agua por las normas de calidad se sustentan más en el gusto que le imparten al agua que en motivos de salubridad.



Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua (cuadro 1-3), se ha establecido un límite de 250 mg/L en aguas de consumo, concentración que puede ser razonablemente excedida según las condiciones locales y la costumbre de los consumidores. La OMS considera que por encima de esta concentración, los cloruros pueden influir en la corrosividad del agua.

### **Cobre**

Con frecuencia se encuentra en forma natural en las aguas superficiales, pero en concentraciones menores a un mg/L. En estas concentraciones, el cobre no tiene efectos nocivos para la salud.

Se trata de un elemento benéfico para el metabolismo, esencial para la formación de la hemoglobina. La deficiencia de cobre ha sido asociada con la anemia nutricional de los niños.

Sin embargo, si se ingiere agua contaminada con niveles de cobre que superan los límites permitidos por las normas de calidad, a corto plazo pueden generarse molestias gastrointestinales. Exposiciones al cobre a largo plazo podrían causar lesiones hepáticas o renales.

Los peces (principalmente la trucha) son especialmente sensibles a este elemento y se ven indirectamente afectados cuando, al actuar el cobre como alguicida, elimina la capacidad de captación



de oxígeno del agua y disminuye el OD a concentraciones tan pequeñas que ya no es posible el desarrollo de estas especies.

La presencia del cobre en el agua está relacionada principalmente con la corrosión de las cañerías en la vivienda, la erosión de depósitos naturales y el percolado de conservantes de madera, entre otros.

En algunos sistemas se aplica sulfato de cobre en dosis controladas como mecanismo para combatir las algas en el agua. Las dosis van de 0,1 a 2 mg/L.

En concentraciones altas, el cobre puede favorecer la corrosión del aluminio y el cinc y cambiar el sabor del agua.

Pruebas de coagulación en laboratorio han reportado una eficiencia en la remoción del cobre de entre 60 a 90% (10), dependiendo del pH y la turbiedad.

La EPA ha establecido una concentración máxima de 1,3 mg/L, que denomina nivel de acción; es decir, una concentración límite que sirve como un aviso para que los sistemas públicos de suministro de agua tomen medidas de tratamiento (si es necesario, adicionales) cuando los niveles de las muestras de agua superan en más de 10% los valores permitidos.

Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá han recomendado un límite de un mg/L de cobre en aguas destinadas al consumo humano. El valor guía dado por la OMS es 2 mg/L.



## **Cromo**

De las especies normalmente presentes en las aguas superficiales, el Cr (III) es esencial para los seres humanos, pues promueve la acción de la insulina.

En cambio, el Cr (VI) es considerado tóxico por sus efectos fisiológicos adversos. No se conoce de daños a la salud ocasionados por concentraciones menores de 0,05 mg/L de Cr (VI) en el agua.

El cromo metálico y los derivados del cromo (VI) usualmente son de origen antropogénico.

Por su naturaleza química, el Cr (III) difícilmente se encuentra con un pH mayor de 5, donde el cromo está, por lo general, en forma hexavalente.

La erosión de depósitos naturales y los efluentes industriales que contienen cromo (principalmente de acero, papel y curtiembres), se incorporan a los cuerpos de aguas superficiales. La forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en el agua, pues si está presente en grandes cantidades, el cromo (VI) se reducirá a cromo (III), que se podrá absorber en las partículas o formar complejos insolubles.

Estos complejos pueden permanecer en suspensión y ser incorporados a los sedimentos. La proporción de cromo (III) es directamente proporcional a la profundidad de los sedimentos.



En teoría, el cromo (VI) puede resistir en este estado en aguas con bajo contenido de materia orgánica, mientras que con el pH natural de las aguas, el cromo (III) formará compuestos insolubles, a menos que se formen complejos. Se desconoce la proporción relativa de cromo (III) y cromo (VI) en las aguas.

En el tracto gastrointestinal de los humanos y los animales, se absorbe menos de 1% del cromo (III) y alrededor de 10% del cromo (VI). La forma química, la solubilidad del compuesto en agua y el tiempo de permanencia en los órganos modifican la velocidad de la absorción.

Los compuestos de cromo (VI), que son fuertes agentes oxidantes, tienden a ser irritantes y corrosivos; también son considerablemente más tóxicos que los compuestos de cromo (III) si la dosis y la solubilidad son similares. Se ha postulado que esta diferencia en la toxicidad puede estar relacionada con la facilidad con la que el cromo (VI) atraviesa las membranas celulares y con su subsecuente reducción intracelular e intermediarios reactivos.

Se ha demostrado que el cromo (VI) es carcinógeno para los seres humanos, mientras que el cromo (0) y los derivados de cromo (III) aún no pueden clasificarse respecto a su carcinogenicidad.



Debido a su gran solubilidad, el Cr (VI) es más difícil de remover que el Cr (III). La cloración puede convertir por oxidación el Cr (III) en Cr (VI) y crear un problema en el tratamiento del agua.

A escala experimental, la remoción del cromo trivalente puede ser efectiva mediante la coagulación con alumbre o sulfato férrico, y en los sistemas de ablandamiento con cal. En este último proceso, el factor pH es muy importante.

Con un pH entre 10,6 y 11,3, la remoción puede llegar a 98%, mientras que a 9,2, la eficiencia baja a 70%.

La remoción del Cr (VI) es muy difícil mediante el tratamiento convencional de coagulantes. Se ha encontrado que el sulfato ferroso es razonablemente efectivo como reductor del Cr (VI) a Cr (III) (13). El ablandamiento cal-soda puede remover entre 80 y 90% de Cr (III), pero el Cr (VI) no se remueve a pH 9,5.

La EPA recomienda, como factor de seguridad, que el límite para cromo en fuentes de agua destinadas a consumo humano no exceda 0,1 mg/L como cromo total. Las guías de la OMS y del Canadá son más exigentes: 0,05 mg/L.

### **Dureza**

Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio.



Aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud.

Pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado.

La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos.

Un agua dura puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente. Esta característica física es nociva, particularmente en aguas de alimentación de calderas, en las cuales la alta temperatura favorece la formación de sedimentos.

La remoción de la dureza en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda.

En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (en todos los casos, como  $\text{CaCO}_3$ ).

Las normas de calidad no establecen un límite específico para la dureza en el agua para consumo humano.

### **Fenoles**

Se definen como los hidróxidos derivados del benceno y su núcleo condensado.



Su presencia en el agua está relacionada con la descomposición de hojas y materia orgánica, ácidos húmicos y fúlvicos, pero principalmente se los asocia a procesos de contaminación de las fuentes por desechos industriales, aguas servidas, fungicidas y pesticidas, hidrólisis y oxidación de pesticidas organofosforados, degradación bacteriológica de herbicidas del ácido fenoxialquílico, entre otros.

Los compuestos fenólicos y los fenoles halogenados son tóxicos para el hombre a concentraciones altas. Pero aun en cantidades muy pequeñas, cambian las condiciones organolépticas del agua debido a su intenso olor y sabor, ambos desagradables.

Los compuestos fenólicos son muy difíciles de remover con los tratamientos convencionales.

Si un agua filtrada que contiene fenoles es sometida a la cloración, los derivados fenólicos clorados pueden cambiar el olor y el sabor del agua, lo que no necesariamente será percibido en la planta de tratamiento, pero sí puede manifestarse en las conexiones domiciliarias.

Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan que el contenido de los compuestos fenólicos no sea superior a 2 µg/L.

## **Fluoruros**



Elemento esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños (0,8 a 1,2 mg/L).

Sin embargo, si la concentración de fluoruro en el agua es alta, podría generar manchas en los dientes (“fluorosis dental”) y dañar la estructura ósea.

Algunos países como el Canadá y Estados Unidos han implementado programas de fluorización del agua de consumo como una medida para prevenir la caries dental infantil.

El cuadro 1-4 muestra las recomendaciones referidas al contenido de flúor en el agua, teniendo en cuenta la temperatura promedio anual del lugar.

Las principales fuentes de concentraciones contaminantes de flúor en el agua son los efluentes de fábricas de acero y metales o de fábricas de plásticos y fertilizantes.



**Cuadro 1-4. Recomendación del contenido de flúor en el agua de consumo**

| Promedio anual de temperatura máxima del ambiente, °C* | Nivel óptimo de flúor en mg/L |
|--|-------------------------------|
| 10,0 – 12,2  | 1,2                           |
| 12,7 – 14,4  | 1,1                           |
| 15,0 – 17,7  | 1,0                           |
| 18,3 – 21,6  | 0,9                           |
| 22,2 – 26,1  | 0,8                           |
| 26,6 – 32,7  | 0,7                           |

\* Datos de por lo menos cinco años.

Los procesos convencionales de coagulación con aluminio no son efectivos para la remoción de fluoruros. Sorg (9) reportó que para reducir la concentración de fluoruros en el agua de 3,6 a 1 mg/L se requerirían 350 mg/L de aluminio.

Debido a que la concentración de fluoruros en el agua está en función de la temperatura del agua, la EPA recomienda un rango máximo de 4 mg/L en aguas para consumo humano.

Las guías de calidad de agua para consumo humano, tanto del Canadá como de la OMS, indican como valor guía 1,5 mg/L.

### **Fosfatos**

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos)



y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos. Es común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de la vida acuática y limitantes del crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etcétera.

Para una buena interpretación de la presencia de fosfatos en las fuentes de aguas crudas, es recomendable la diferenciación analítica de las especies químicas existentes en ellas.

La fuente principal de los fosfatos orgánicos son los procesos biológicos.

Estos pueden generarse a partir de los ortofosfatos en procesos de tratamiento biológico o por los organismos acuáticos del cuerpo hídrico.

Otra fuente importante de fosfatos en las aguas superficiales son las descargas de aguas que contienen como residuo detergentes comerciales.

Concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua. Las normas de calidad de agua no han establecido un límite definitivo. Sin embargo, es necesario estudiar la concentración de fosfatos en el agua, su relación con la productividad biológica y los



problemas que estos pueden generar en el proceso de filtración y en la producción de olores.

### ***Hidrocarburos***

La mayor parte de los hidrocarburos que se pueden encontrar en el agua son tóxicos. Sin embargo, concentraciones que no llegan a repercutir en la salud pueden causar molestias e inconvenientes, ya que comunican al agua propiedades organolépticas (sabor y olor) indeseables, interfieren en el tratamiento y atraviesan los filtros de arena.

En algunos casos, estos compuestos presentes en el agua pueden llegar a producir dermatitis.

Su presencia en el agua superficial se debe a descargas de desechos industriales y a derrames accidentales.

El agua de lluvia puede arrastrar cantidades notables de hidrocarburos en suspensión, derivados de la combustión, de desechos de automotores, asfalto, etcétera. Algunos de estos productos de combustión son carcinógenos y deben estar ausentes en el agua de consumo humano.

Las normas de calidad del agua especifican que estos compuestos tienen que estar ausentes en el agua de consumo humano.

### ***Hierro***



El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua.

Tiene gran influencia en el ciclo de los fosfatos, lo que hace que su importancia sea muy grande desde el punto de vista biológico. En la naturaleza se presenta en dos formas: asimilable y no asimilable. En las aguas superficiales, el hierro puede estar también en forma de complejos organoférricos y, en casos raros, como sulfuros. Es frecuente que se presente en forma coloidal en cantidades apreciables.

Las sales solubles de hierro son, por lo general, ferrosas (Fe II) y la especie más frecuente es el bicarbonato ferroso:  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ .

En contacto con el oxígeno disuelto en el agua, las sales ferrosas se convierten en férricas por oxidación y se precipitan en forma de hidróxido férrico.

Esta precipitación es inmediata con un pH superior a 7,5.

Con un pH mayor de 2,2, el hidróxido férrico es insoluble. El ion ferroso lo es con un pH mayor de 6. De acuerdo con ello, las aguas



subterráneas —que, por estar fuera del contacto con el aire, se encuentran en un medio natural fuertemente reductor— podrán tener en solución cantidades notables de hierro ferroso.

Este metal en solución contribuye con el desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución.

La remoción del hierro de las aguas crudas superficiales es relativamente fácil con los procesos comunes de remoción de la turbiedad, mediante los cuales su concentración puede bajar de 10 mg/L a 0,3 mg/L, que es la concentración recomendada para el agua de consumo. Sin embargo, es posible que haya problemas si el hierro está presente en complejos orgánicos inestables.

Por consideraciones de sabor y debido a que los tratamientos convencionales pueden eliminar el hierro en estado férrico pero no el hierro soluble Fe (II), las guías de calidad de la OMS y del Canadá recomiendan que en las aguas destinadas al consumo humano no se sobrepase 0,3 mg/L de hierro.

### ***Manganeso***

El manganeso es un elemento esencial para la vida animal; funciona como un activador enzimático. Sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central.



Su presencia no es común en el agua, pero cuando se presenta, por lo general está asociado al hierro.

Comúnmente se encuentra en el agua bajo su estado reducido, Mn (II), y su exposición al aire y al oxígeno disuelto lo transforma en óxidos hidratados menos solubles.

En concentraciones mayores a 0,15 mg/L, las sales disueltas de manganeso pueden impartir un sabor desagradable al agua.

La presencia de manganeso en el agua provoca el desarrollo de ciertas bacterias que forman depósitos insolubles de estas sales, debido a que se convierte, por oxidación, de manganeso en solución al estado mangánico en el precipitado.

Esta acción es similar en el hierro.

Por lo general, en el agua es más difícil de controlar el manganeso que el hierro. Su remoción se realiza formando sales insolubles, para lo cual, en muchos casos, es necesario el uso de oxidantes y un pH alto.

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS establecen como valor provisional 0,5 mg/L, pero las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan una concentración diez veces menor: 0,05 mg/L, por consideraciones principalmente relacionadas con el sabor y el olor del agua.

### ***Materia orgánica***



Las aguas naturales, además de sustancias minerales y disueltas, pueden llevar en suspensión sustancias orgánicas provenientes del lavado de los suelos o del metabolismo de los organismos que viven en ellos. Además, los cuerpos de aguas superficiales pueden recibir descargas de aguas residuales de origen doméstico o industrial, las cuales provocan la polución y la contaminación en niveles variables.

Las sustancias provenientes del lavado de suelos son principalmente ácidos húmicos, mientras que las producidas por el metabolismo de los organismos acuáticos son los hidratos de carbono, las proteínas, las aminas, los lípidos, etcétera, así como pigmentos, hormonas y vitaminas, que funcionan como catalizadores o inhibidores de las funciones biológicas.

Las sustancias provenientes de los desechos animales son principalmente derivados de la urea o úrea, la cadaverina y la putrescina, entre otros.

Estas sustancias orgánicas representan una fuente de alimentación para los organismos (autótrofos y heterótrofos) presentes en el agua. Tienden a desaparecer progresivamente por oxidación, y pasar a CO<sub>2</sub>, amoníaco, nitritos, nitratos, etcétera.

Por lo general, las aguas naturales no contaminadas presentan cantidades mínimas de materia orgánica, salvo aquellas que provienen de bosques o aguas estancadas.



La materia orgánica puede ser, en muchos casos, la responsable del color, el olor y el sabor del agua, los cuales deben ser eliminados durante el tratamiento a fin de hacerla apta para el consumo humano.

Como es muy difícil determinar analíticamente la presencia de estas sustancias orgánicas en el agua, se han establecido métodos globales de determinación.

Estos son los siguientes:

a. Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO5

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/L. Esta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores.

Es una prueba que reduce a números un fenómeno natural, muy sencillo en teoría, pero en esencia muy complejo.

El cálculo se efectúa mediante la determinación del contenido inicial de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días en otra muestra semejante, conservada en un frasco cerrado a 20 °C. La diferencia entre los dos contenidos corresponde a la DBO5.

b. Demanda Química de Oxígeno: DQO



Equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos.

La eliminación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la coagulación-floculación, la sedimentación y la filtración. Sin embargo, cuando la fuente de agua cruda tiene una carga orgánica y bacteriana muy grande —caso en el que la DBO5 puede alcanzar valores muy altos—, será necesaria una precloración, que debe constituirse en un proceso adecuadamente controlado.

Lo deseable es que las fuentes de agua cruda no presenten una carga orgánica elevada.

Por la naturaleza de estos parámetros, las normas de calidad de agua establecen que los causantes de la contaminación orgánica deben estar ausentes en las aguas para consumo humano.

### ***Mercurio***

Se considera al mercurio un contaminante no deseable del agua.

El mercurio es un metal pesado muy tóxico para el hombre en las formas aguda y crónica. En el tracto intestinal las sales mercuriosas son menos solubles que las mercúricas y, por lo tanto, son menos nocivas. Se considera que dosis de 20 y 50 mg/L en la forma mercúrica son fatales.



En el agua, el Hg se encuentra principalmente en forma inorgánica, que puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. De estos, puede trasladarse al plancton, a las algas y, sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como los peces, las aves rapaces e incluso al hombre.

El mercurio metálico y el inorgánico se convierten en mercurio metilado por medio de procesos biológicos que se producen en el agua contaminada con este metal. Tanto el dimetil mercurio  $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$  como el ion metilo de mercurio  $\text{HgCH}_3^+$  son absorbidos por los tejidos de los organismos vivos. Estas especies químicas se bioacumulan, permanecen durante largos periodos en los tejidos y pueden incorporarse en la cadena alimentaria biomagnificándose.

La permeabilidad del mercurio elemental en los lípidos es más alta que la de la forma ionizada y, en consecuencia, el  $\text{Hg}_0$  puede atravesar las barreras hematoencefálica y placentaria.

La absorción gastrointestinal de sales de mercurio divalentes o monovalentes a partir de los alimentos es de aproximadamente 20% del Hg ingerido.

En términos de su toxicidad y sus efectos adversos sobre la salud, el metilmercurio es la forma más importante de mercurio orgánico. Sus efectos son básicamente neurotóxicos y genotóxicos.



Los niveles aceptables de ingestión de mercurio se basan en evidencias epidemiológicas mediante las cuales se sabe que la menor concentración de metilmercurio en la sangre asociada con síntomas tóxicos es 0,2 microgramos por gramo de peso, que corresponde a una prolongada y continua ingestión de 0,3 mg/70 kilogramos por día.

Las pruebas realizadas en plantas piloto demuestran que la remoción de mercurio inorgánico depende del pH y de la turbiedad del agua y tienen poca dependencia de la concentración de mercurio, cuando se encuentra entre 0,003 y 0,016 mg/L.

Experimentalmente, se ha comprobado que el tratamiento convencional de coagulación–filtración mediante aluminio o sulfato férrico puede remover entre 70 y 80% de mercurio inorgánico en aguas crudas turbias (13, 14). Sin embargo, en aguas claras la remoción puede reducirse a la mitad o menos.

La coagulación con sulfato férrico (17 mg/L) probó ser 66% efectiva con pH 7 y 97% con pH 8. El sulfato de aluminio es menos eficiente y logra solamente 38% de efectividad a pH 8.

La turbiedad desempeña un papel importante en la reducción de las concentraciones de mercurio en el agua, pues experimentalmente se ha demostrado que con turbiedades mayores de 100 UNT, la eficiencia crece sustantivamente.



Con respecto al mercurio orgánico, el proceso de ablandamiento con cal es moderadamente efectivo y dependiente del pH y llega a 30% con pH 9,4 y alcanza entre 60 y 80% con pH entre 10,7 y 11,4. Se ha probado experimentalmente que las resinas de intercambio iónico son efectivas en la remoción de mercurio hasta 98%, tanto en la forma orgánica como inorgánica.

Sobre la base de las consideraciones mencionadas, la EPA recomienda no exceder el límite de 0,002 mg/L como mercurio total. Las guías de la OMS y del Canadá recomiendan una concentración máxima de 0,001 mg/L.

### ***Nitritos y nitratos***

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos.

Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos.

Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua.

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ ) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas



acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.

Los nitritos (sales de ácido nitroso,  $\text{HNO}_2$ ) son solubles en agua. Se transforman naturalmente a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana.

El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se lo encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente para dar nitratos y que, generalmente, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos.

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, incluyendo el amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Generalmente, los nitratos son solubles, por lo que son movilizados con facilidad de los sedimentos por las aguas superficiales y subterráneas.

Después de la absorción, tanto nitratos como nitritos se distribuyen con rapidez a todos los tejidos.

Una vez en la sangre, el nitrito reacciona con el ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) de la desoxihemoglobina y forma metahemoglobina, en la cual el



hierro se encuentra en estado férrico ( $Fe^{3+}$ ), por lo que es incapaz de transportar el oxígeno. Por ello se relaciona al nitrito con una anomalía en la sangre de los niños (metahemoglobinemia) por la ingestión de aguas con un contenido mayor de 10 mg/L de nitratos (como N) y como resultado de la conversión de nitrato en nitrito. La mayor parte de estos casos se asocian a aguas que contienen más de 45 mg/L de nitrato (10 mg/L como  $NO_3-N$ ).

Aunque se ha comprobado que bebés menores de 6 meses que ingieren nitratos en concentraciones altas pueden morir si no reciben tratamiento inmediato, es importante anotar que no todos los niños que ingieren aguas con altos contenidos de nitratos (10 mg/L o más) necesariamente desarrollan la enfermedad. Para ello se requiere una predisposición natural. En este caso, la edad es un factor determinante, porque rara vez se presenta en niños de más de seis meses y mucho menos en adultos.

La presencia de nitratos y nitritos no es extraña, especialmente en aguas almacenadas en cisternas en comunidades rurales.

Aunque la toxicidad relativa de los nitratos es bien conocida, es difícil establecer cuál es el nivel de una dosis nociva. Los nitritos tienen mayor efecto nocivo que los nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no se presentan niveles mayores de 1 mg/L y la oxidación con cloro los convierte en nitratos, el problema prácticamente queda solucionado.



Es importante destacar que aunque el agente responsable de esta enfermedad son los nitritos, debido a que estos se forman naturalmente a partir de los nitratos, un factor determinante en la incidencia de esta enfermedad es la concentración de nitratos en el agua y los alimentos. Para dar una idea de la gravedad y magnitud potencial de este problema, basta mencionar que los datos obtenidos a través del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (GEMS, por sus siglas en inglés) indican que 10% de los ríos estudiados en todo el mundo tenían concentraciones de nitratos por encima del límite recomendado por la OMS. Los estudios de GEMS también encontraron que en Europa 15% de los ríos tenían concentraciones de nitratos hasta 45 veces mayores que la concentración natural.

Los métodos tradicionales de floculación e incluso ablandamiento con cal no son efectivos para la remoción de nitratos. El más eficiente es el de resinas de intercambio iónico, que puede remover concentraciones tan altas como 30 mg/L y reducirlas hasta 0,5 mg/L en procesos continuos.

En la práctica, difícilmente los nitritos se encuentran en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración.

Por sus efectos adversos para la salud de los lactantes y porque no se tienen procesos definitivos para su remoción, el contenido de nitratos en aguas de consumo público no debe exceder, según la



EPA, de 10 mg/L. Puesto que los nitritos tienen un efecto tóxico superior a los nitratos, el contenido no debe exceder de un mg/L; en ambos casos, medidos como nitrógeno.

La OMS establece un valor guía provisional de 50 mg/L (N-NO<sub>3</sub>) y 3 mg/L (N-NO<sub>2</sub>), mientras que el Canadá recomienda un máximo de 10 mg/L para el primero y un mg/L para el segundo.

### ***Oxígeno disuelto (OD)***

Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire.

Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua. Puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. La ley de Henry y Dalton dice: “La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e inversamente proporcional a la temperatura”. El agua destilada es capaz de disolver más oxígeno que el agua cruda.

No es posible establecer un contenido ideal de oxígeno en el agua, ya que hay aspectos positivos y negativos de su presencia. Sin embargo, si el agua contiene amoníaco o hierro y manganeso en



sus formas reducidas, es preferible que el OD esté cercano al punto de saturación.

Las aguas superficiales no contaminadas, si son corrientes, suelen estar saturadas de oxígeno y a veces incluso sobresaturadas; su contenido depende de la aereación, de las plantas verdes presentes en el agua, de la temperatura y de la hora del día (mañana o tarde), etcétera.

### **pH**

Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua.

Este parámetro tiene mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua.

Por lo general, un agua con pH menor de 6,0 es considerada agresiva y corrosiva para los metales.

Un pH ácido en el agua no necesariamente indica la presencia de ácidos, pues algunas sales como las de aluminio pueden generar pH 4 por hidrólisis.

El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

Durante la coagulación, la remoción de la turbiedad es eficiente por lo general en un rango de pH de 6,0 a 7,8, mientras que la remoción del color se consigue con un pH de entre 4 y 6. Sin embargo, es



necesario puntualizar que el pH óptimo para ambos casos debe determinarse por medio de la prueba de jarras.

La desinfección con cloro es más efectiva a un nivel bajo de pH. Esto se debe a la mayor efectividad del ácido hipocloroso comparado con el ion hipoclorito y al hecho de que el ácido hipocloroso predomina con valores de pH bajos.

La estabilidad del agua depende del pH. Una planta de tratamiento debe producir agua que no sea ni corrosiva ni incrustante. En la práctica, esto significa que el pH del agua tratada debe ser ligeramente mayor que el pH de saturación.

En otras palabras, el índice de saturación debe ser ligeramente positivo.

La medición del pH debe realizarse in situ, ya que puede sufrir variación importante en el transcurso del tiempo, debido a diversas causas, entre las cuales se encuentran la sobresaturación de CO<sub>2</sub>, como consecuencia de la presencia de plantas acuáticas o su contenido en el aire, reacciones químicas, temperatura, etcétera. La variación del pH entre las mediciones en campo y las realizadas en el laboratorio puede llegar hasta la unidad, a pesar de haberse efectuado el mismo día.

### ***Plaguicidas***

Este nombre agrupa a un gran número de compuestos orgánicos que se usan con diversos propósitos en el campo agrícola: control



de plagas, maleza, hierba, etcétera. Entre los plaguicidas más comunes tenemos los hidrocarburos clorados, los carbamatos, los organofosforados y los clorofenoles. La presencia de estos compuestos en niveles tóxicos genera problemas en el agua y en el ambiente.

El efecto de los plaguicidas en la salud humana depende de su naturaleza química, pues mientras unos se acumulan en los tejidos, otros son metabolizados.

La remoción de los plaguicidas presentes en las aguas todavía se encuentra en la fase experimental, pero se sabe que su tratamiento con carbón activado reduce notoriamente los niveles de algunos de estos compuestos.

Las guías de calidad indican valores específicos en cada caso, todos a nivel de trazas.

### ***Plata***

No es un componente propio de las aguas naturales.

Se considera que en las personas que ingieren agua con cantidades excesivas de plata pueden presentar decoloración permanente e irreversible de la piel, los ojos y las membranas mucosas.

Todos los estudios que se han hecho sobre este elemento y sus posibles efectos son preliminares, por lo cual no se puede postular límites sobre los niveles que afectan la salud humana.



El proceso de floculación puede lograr una eficiencia de entre 70 y 80% mediante sulfato férrico con un pH entre 7 y 9 ó sulfato de aluminio con un pH entre 6 y 8. También ofrece buenos resultados el ablandamiento con cal con un pH entre 7 y 9.

Debido a que no hay suficiente información, las guías canadienses consideran que el límite no debe excederse de 0,05 mg/L en agua de consumo humano. Sin embargo, la OMS considera que no es necesario recomendar un límite de concentración de plata en el agua de bebida, debido a que con concentraciones normalmente encontradas en ella, no se han detectado daños en la salud de los consumidores.

### **Plomo**

Las fuentes naturales por lo general contienen plomo en concentraciones que varían notoriamente. Se pueden encontrar desde niveles tan pequeños como trazas hasta concentraciones importantes que contaminan definitivamente el recurso hídrico.

El plomo es un metal pesado en esencia tóxico; puede provocar en el hombre intoxicaciones agudas o crónicas. Es causa de la enfermedad denominada *saturnismo*.

Es un elemento con gran capacidad de bioacumulación; afecta prácticamente a todos los órganos, tanto de los seres humanos como de los animales.



Los sistemas más sensibles a este metal son el nervioso (especialmente, en los niños), el hematopoyético y el cardiovascular.

En instalaciones antiguas, la mayor fuente de plomo en el agua de bebida proviene de las tuberías de abastecimiento y de las uniones de plomo. Si el agua es ácida, puede liberar gran cantidad de plomo de las tuberías, principalmente en aquellas en las que el líquido permanece estancado por largo tiempo. Aun en el agua estancada por corto tiempo en una tubería de cobre-plomo, la concentración de este último metal puede llegar a hasta 100 µg Pb/L.

La remoción del plomo presente en el agua en los procesos convencionales de floculación o ablandamiento con cal se realiza formando hidróxidos y carbonatos de plomo insolubles. Mediante este método es posible llegar a una eficiencia de 98%.

La coagulación con aluminio con un pH de 6,5 a 7 puede lograr una remoción de 60 a 80%. Con pH mayores de 9,5 la eficiencia de remoción sube a 90% (9, 10).

Cuando las aguas crudas de baja turbiedad contienen una alta concentración de plomo, el sulfato férrico puede ser más efectivo para su remoción (15).

El ablandamiento cal-soda con un pH entre 7 y 11 puede remover por encima del 90% de plomo en el agua (16).



Debido a que la exposición al plomo es muy común y por el peligro potencial que representa, las concentraciones de este metal en el agua deben ser las más bajas posibles.

La EPA ha establecido una concentración máxima de 0,015 mg/L, que denomina *nivel de acción*; es decir, una concentración límite que sirve como un aviso para que los sistemas públicos de suministro de agua tomen medidas de tratamiento (si es necesario, adicionales) cuando los niveles de las muestras de agua superen en más de 10% los valores permitidos.

Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá especifican 0,05 mg/L mientras que la OMS es más exigente: 0,01 mg/L.

### **Selenio**

Es raro encontrarlo disuelto en aguas naturales. Su origen, por lo general, está ligado a descargas de residuos mineros, petroleros e industriales, pero también puede provenir de la erosión de depósitos naturales.

Las especies más frecuentes son Se (IV) y Se (VI). Ambas formas son muy estables e independientes una de la otra. Los métodos tradicionales de análisis no hacen una distinción especial entre ambas.

Los efectos del selenio en el hombre son similares a los del arsénico y, al igual que este, puede causar intoxicaciones agudas



y crónicas que en algunos casos pueden llegar a ser fatales. Entre los principales síntomas que presentan los intoxicados con selenio están la caída del cabello y de las uñas, el adormecimiento de los dedos de las manos y los pies y problemas circulatorios.

Pruebas de laboratorio y en plantas piloto han demostrado que la remoción del selenio es moderada (70–80%) en el proceso de coagulación con sulfato férrico con un pH entre 6 y 7, y que es menos efectiva con sulfato de aluminio. Los reportes indican que el intercambio iónico o la ósmosis inversa mejoran la efectividad de remoción, que puede llegar a ser superior a 90%.

Debido a que en la práctica el tratamiento solo tiene un efecto moderado en la remoción del selenio y a que sus efectos nocivos sobre la salud son comprobados, la EPA recomienda que en aguas destinadas al consumo humano, este elemento no esté por encima de 0,05 mg/L. El valor guía propuesto por la OMS y por el Canadá es 0,01 mg/L.

### **Sulfatos**

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad.

Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido.



Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo.

Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio.

Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones.

Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas.

La remoción de sulfato puede resultar costosa y requerir métodos complicados, por lo cual es preferible elegir fuentes naturales con niveles de sulfato por debajo de los límites aconsejados.

Por sus efectos laxantes, su influencia sobre el sabor y porque no hay métodos definidos para su remoción, la OMS recomienda que en aguas destinadas al consumo humano, el límite permisible no exceda 250 mg/L, pero indica, además, que este valor guía está destinado a evitar la probable corrosividad del agua. Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan un máximo de 500 mg/L.

## PRINCIPALES CONTAMINANTES FISICOQUÍMICOS.



Los detalles sobre cada contaminante en forma individual se han tratado en la sección anterior.

### **Contaminantes inorgánicos**

Este es el grupo que más dificultades puede presentar, ya que los métodos convencionales de tratamiento no son efectivos en todos los casos.

Cuando se identifiquen contaminantes inorgánicos muy tóxicos en concentraciones altas o estos sean de difícil remoción, como factor de seguridad, debería considerarse la búsqueda de otras fuentes alternas que no los contengan.

Aunque en teoría, en las plantas piloto existen sistemas para reducir o remover contaminantes inorgánicos deletéreos, como se expuso anteriormente, la forma química en la que estos se encuentren y el pH del agua son factores críticos que si no se toman en cuenta y no se controlan adecuadamente durante el proceso de tratamiento, pueden hacer fracasar el método.

### **Contaminantes orgánicos**

Los contaminantes orgánicos biodegradables son de fácil remoción y no constituyen problema durante el tratamiento, siempre y cuando se encuentren en concentraciones no excesivas. En este último caso, la precloración puede constituir una alternativa que debe ser



cuidadosamente controlada para evitar la formación de contaminantes aún más peligrosos.

Los contaminantes orgánicos no biodegradables (hidrocarburos, pesticidas, productos aromáticos, etcétera) son un problema difícil de afrontar para plantas de tratamiento convencionales. En la mayoría de los casos, pueden ser controlados mediante la adición de carbón activado pulverizado o el uso de carbón activado granular dispuesto sobre los lechos de los filtros.

Se debe tomar en cuenta, además, que los pesticidas que se mencionan en las normas de calidad representan a más de 700 compuestos orgánicos que han sido detectados en Estados Unidos en las aguas de bebida y que provienen de contaminaciones por descargas industriales o domésticas, escorrentías de zonas rurales o urbanas o descomposición natural de materia animal o vegetal.

Como se expuso, la descomposición de cierta materia vegetal genera ácidos húmicos que, en combinación con el cloro usado en la desinfección, da origen a la formación de trihalometanos, compuestos que últimamente están siendo asociados a la aparición de cáncer en animales de experimentación.

En casos en que se sospeche de la presencia de compuestos que puedan descomponerse en trihalometanos, el sistema de cloración deberá localizarse en otro punto o deberá cambiarse a otro agente desinfectante no halógeno como el ozono.



## **Contaminantes radiológicos**

Se deben considerar dos tipos de contaminación radiológica: la natural y la provocada por el hombre.

Los radionúcleos naturales (emisores alfa) ocurren algunas veces en aguas subterráneas, pero el tratamiento con cal-soda empleado para el ablandamiento es suficiente para eliminarlos, así como la ósmosis reversa.

Los radionúcleos artificiales (emisores beta y gama) son el producto de residuos de plantas atómicas o de fallas en su control y, por lo tanto, son fácilmente controlables si se ejerce una vigilancia permanente sobre ellas, ya que para su eliminación se requieren estudios particulares en cada caso.

No se ha tratado el tema de los contaminantes radiológicos porque se ha considerado que están fuera de los alcances de este manual.

## **2.5 EL AGUA POTABLE**

### **2.5.1 Aspectos fisicoquímicos**

Se conoce con este nombre al agua que ha sido tratada con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano, teniendo en cuenta todos sus usos domésticos.

Algunas especies biológicas, físicas y químicas pueden afectar la aceptabilidad del agua para consumo humano. Por ejemplo:

a) Su apariencia estética: turbiedad, olor, color y sabor, espuma.



b) Su composición química: acidez, alcalinidad, aceites y grasas, compuestos orgánicos e inorgánicos en general.

Es necesario, asimismo, considerar las transformaciones químicas y bioquímicas a que están expuestos los contaminantes del ambiente acuático.

Las alteraciones químicas pueden afectar su disponibilidad biológica o tóxica (aumentarla o disminuirla). Poco se sabe acerca de estos procesos químicos, físicos y biológicos y sus mecanismos, a pesar de que son indispensables para comprender los efectos en la salud del consumidor.

Por citar un ejemplo, aún no se entiende bien la relación que existe entre la dureza del agua y las trazas metálicas y los efectos en el organismo del consumidor, pero se sabe que estos factores pueden influir en la salud y tal vez estar relacionados con algunas enfermedades de la población en diferentes áreas geográficas.

### **2.5.2 Criterios de calidad del agua para consumo humano:**

#### **Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS**

Los programas de control y vigilancia del agua potable requieren normas adecuadas que regulen la calidad del agua de consumo humano, que permitan seleccionar fuentes adecuadas de agua cruda y los procesos de tratamiento y distribución.

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS (cuadro 1-3) constituyen una herramienta válida referida a la



calidad fisicoquímica del agua destinada al consumo del hombre. A partir de ellas cada país puede establecer sus propias normas y tener en cuenta los siguientes criterios básicos:

- 1) Los valores establecidos para cada parámetro deben asegurar la aceptabilidad estética del agua y no representar riesgos para la salud del consumidor.
- 2) La calidad del agua debe ser adecuada para el consumo humano y tomar en cuenta todos los usos domésticos.
- 3) Los valores establecidos sirven como señal para que cuando se supere este valor:
  - a) Se investigue la causa
  - b) Se consulte con las autoridades responsables de la salud pública.

Las autoridades deben asegurar que la calidad del agua sea aceptable para ser consumida durante toda la vida. Las metas señaladas están dirigidas a salvaguardar la salud del consumidor. Algunas exposiciones a contaminantes por periodos cortos pueden ser toleradas, siempre que el nivel de toxicidad se controle adecuadamente. El no cumplimiento de las metas señaladas por corto tiempo no significa necesariamente que el agua deba ser descartada definitivamente para el consumo.

La elaboración de las normas nacionales de calidad del agua potable debe tomar en cuenta consideraciones locales como la



geografía, la situación socioeconómica, la dieta y las actividades industriales.

Aspectos fisicoquímicos. Las normas de calidad fisicoquímica del agua potable son muy estrictas respecto a sus regulaciones. Solo aquellas relacionadas con la preservación de la vida acuática son más exigentes.

En este manual hemos presentado lo dispuesto por las regulaciones internas de la EPA (4) en Estados Unidos, las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS (3) y las Guías de Calidad de Agua para Bebida del Canadá de 1978 (2) (cuadro 1-3).

## **2.6 EL REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

### **2.6.1 Abastecimiento de agua, proveedor y consumidor**

#### **Sistema de abastecimiento de agua**

Para efectos de la aplicación del presente Reglamento, se define como sistema de abastecimiento de agua para consumo humano, al conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas que son accionadas por procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde la captación hasta el suministro del agua mediante conexión domiciliaria, para un abastecimiento



convencional cuyos componentes cumplan las normas de diseño del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento; así como aquellas modalidades que no se ajustan a esta definición, como el abastecimiento mediante camiones cisterna u otras alternativas, se entenderán como servicios en condiciones especiales.

### **Tipos de suministro**

El sistema de abastecimiento de agua atiende a los consumidores a través de los siguientes tipos de suministro:

1. Conexiones domiciliarias;
2. Piletas públicas;
3. Camiones cisterna; y
4. Mixtos, combinación de los anteriores.

En caso que el abastecimiento sea directo mediante pozo, lluvia, río, manantial entre otros, se entenderá como recolección individual el tipo de suministro.

Componentes hidráulicos del sistema de abastecimiento Los principales componentes hidráulicos en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, de acuerdo al tipo de suministro, son los siguientes:

1. Estructuras de captación para aguas superficiales o subterráneas;
2. Pozos;



3. Reservorios;
4. Cámaras de bombeos y rebombeo;
5. Cámara rompe presión;
6. Planta de tratamiento;
7. Líneas de aducción, conducción y red de distribución;
8. Punto de suministro; y
9. Otros.

### **Requisitos sanitarios de los componentes de los sistemas de abastecimiento de agua**

La Autoridad de Salud del nivel nacional normará los requisitos sanitarios que deben reunir los componentes de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano en concordancia con las normas de diseño del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, los que serán vigilados por la Autoridad de Salud del nivel regional, los mismos que deberá considerar sistemas de protección, condiciones sanitarias internas y externas de las instalaciones, sistema de desinfección y otros requisitos de índole sanitario.

### **Proveedor del agua para consumo humano**

El Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, establece como proveedor de agua para consumo humano, a toda persona natural o jurídica bajo cualquier modalidad empresarial,



junta administradora, organización vecinal, comunal u otra organización que provea agua para consumo humano. Así como proveedores de servicios en condiciones especiales.

### **Obligaciones del proveedor**

El proveedor de agua para consumo humano está obligado a:

1. Suministrar agua para consumo humano cumpliendo con los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos establecidos en el Reglamento;
2. Controlar la calidad del agua que suministra para el consumo humano de acuerdo a lo normado en el Reglamento;
3. Inscribirse en los registros que la Autoridad de Salud administra en sujeción al Reglamento;
4. Suministrar a la Autoridad de Salud y al órgano de control toda información vinculada con el control de calidad del agua, con carácter de declaración jurada;
5. Colaborar en las acciones de protección y recuperación de las fuentes hídricas que la autoridad establezca;
6. Informar a la Autoridad de Salud y al órgano de control así como a los consumidores de las alteraciones, modificaciones o contingencias presentadas en el servicio de suministro del agua en forma oportuna e indicando las medidas preventivas y correctivas a tomar;



7. Obtener los registros, aprobaciones y autorizaciones sanitarias que establece el presente Reglamento;
8. Brindar las facilidades que se requiera a los representantes autorizados del órgano de supervisión y de salud, para realizar las acciones de vigilancia y supervisión; y
9. Cumplir con las demás disposiciones del presente Reglamento y de las normas técnicas que emitan la autoridad de salud de nivel nacional.

#### **Uso de desinfectantes y otros insumos químicos**

Todo proveedor de agua para consumo humano sólo podrá hacer uso de aquellos desinfectantes, insumos químicos y bioquímicos que posean registro sanitario.

#### **Obligatoriedad de cumplimiento del plan de control de calidad**

El proveedor es responsable por la calidad del agua para consumo humano que suministra y está obligado a aplicar un plan de control de calidad (PCC), que incluya la fuente, la captación, producción y distribución, a fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos de calidad del agua establecidos en el Reglamento.

#### **Presentación del plan de control de calidad**

El plan de control de calidad del agua para consumo humano que el proveedor aplica debe ser formulado de acuerdo a lo dispuesto



en el presente Reglamento y a las normas técnicas que emita la Autoridad de Salud de nivel nacional. Dicho plan se formulará sobre la base del análisis de riesgos verificados a partir de una caracterización del agua o se determine el riesgo a través de la acción de vigilancia y supervisión y de las actividades de la cuenca que establezca los parámetros microbiológicos, inorgánicos, orgánicos y organolépticos y los puntos de muestreo o críticos de control del sistema de abastecimiento, y será el patrón de referencia para la posterior acción de supervisión y vigilancia sanitaria. Los planes de control de calidad, deberán:

1. Ser aprobados por la Dirección Regional de Salud o Gerencia Regional de Salud o Dirección de Salud de la jurisdicción donde desarrolla la actividad el proveedor, por un periodo de vigencia que determinará dicha Autoridad de Salud;
2. La vigencia señalada en el numeral precedente está entre dos (02) a seis (06) años, considerándose el tipo de fuente, tamaño y complejidad del sistema de abastecimiento; y
3. El proveedor iniciará la gestión para la renovación de la vigencia del plan de control de la calidad ante la Autoridad de Salud, seis (06) meses antes de la fecha de vencimiento de la Resolución Directoral con la que fue aprobada.

## **2.6.2 Requisitos de calidad del agua para consumo humano**

### **Agua apta para el consumo humano**



Es toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos en el Reglamento.

### **Parámetros microbiológicos y otros organismos**

Toda agua destinada para el consumo humano, como se indica en el Anexo I, debe estar exenta de:

1. Bacterias coliformes totales, termotolerantes y Escherichia coli,
2. Virus;
3. Huevos y larvas de helmintos, quistes y quistes de protozoarios patógenos;
4. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépedos, rotíferos y nemátodos en todos sus estadios evolutivos; y
5. Para el caso de Bacterias Heterotróficas menos de 500 UFC/ml a 35°C.

### **Parámetros de calidad organoléptica**

El noventa por ciento (90%) de las muestras tomadas en la red de distribución en cada monitoreo establecido en el plan de control, correspondientes a los parámetros químicos que afectan la calidad estética y organoléptica del agua para consumo humano, no deben exceder las concentraciones o valores señalados en el Anexo II del presente Reglamento. Del diez por ciento (10%) restante, el proveedor evaluará las causas que originaron el incumplimiento y



tomará medidas para cumplir con los valores establecidos en el presente Reglamento.

### **Parámetros inorgánicos y orgánicos**

Toda agua destinada para el consumo humano, no deberá exceder los límites máximos permisibles para los parámetros inorgánicos y orgánicos señalados en la Anexo III del presente Reglamento.

### **Parámetros de control obligatorio (PCO)**

Son parámetros de control obligatorio para todos los proveedores de agua, los siguientes:

- 1. Coliformes totales;**
- 2. Coliformes termotolerantes;**
- 3. Color;**
- 4. Turbiedad;**
- 5. Residual de desinfectante; y**
- 6. pH**

En caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*, como prueba confirmativa de la contaminación fecal.



### **Parámetros adicionales de control obligatorio (PACO)**

De comprobarse en los resultados de la caracterización del agua la presencia de los parámetros señalados en los numerales del presente artículo, en los diferentes puntos críticos de control o muestreo del plan de control de calidad (PCC) que exceden los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el presente Reglamento, o a través de la acción de vigilancia y supervisión y de las actividades de la cuenca, se incorporarán éstos como parámetros adicionales de control (PACO) obligatorio a los indicados en el artículo precedente.

#### 1. Parámetros microbiológicos

Bacterias heterotróficas; virus; huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos; y organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos y nemátodos en todos sus estadios evolutivos.

#### 2. Parámetros organolépticos

Sólidos totales disueltos, amoníaco, cloruros, sulfatos, dureza total, hierro, manganeso, aluminio, cobre, sodio y zinc, conductividad;

#### 3. Parámetros inorgánicos

Plomo, arsénico, mercurio, cadmio, cromo total, antimonio, níquel, selenio, bario, fluor y cianuros, nitratos, boro, clorito clorato, molibdbeno y uranio.

#### 4. Parámetros radiactivos



Esta condición permanecerá hasta que el proveedor demuestre que dichos parámetros cumplen con los límites establecidos en la presente norma, en un plazo que la Autoridad de Salud de la jurisdicción determine.

En caso tengan que hacerse análisis de los parámetros orgánicos del Anexo III y que no haya capacidad técnica para su determinación en el país, el proveedor de servicios se hará responsable de cumplir con esta caracterización, las veces que la autoridad de salud determine.

En caso que el proveedor excediera los plazos que la autoridad ha dispuesto para cumplir con los LMP para el parámetro adicional de control, la Autoridad de Salud aplicará medidas preventivas y correctivas que correspondan de acuerdo a ley sobre el proveedor, y deberá efectuar las coordinaciones necesarias con las autoridades previstas en los artículos 10°, 11° y 12° del Reglamento, para tomar medidas que protejan la salud y prevengan todo brote de enfermedades causado por el consumo de dicha agua.



“ESTUDIO DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL C.P.M CAMPO  
NUEVO, DISTRITO DE GUADALUPITO, PROVINCIA VIRÚ, DEPARTAMENTO LA LIBERTAD”

---



## ANEXO I

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

| Parámetros  | Unidad de medida    | Límite máximo permisible |
|---|---------------------|--------------------------|
| 1. Bacterias Coliformes Totales.  | UFC/100 mL a 35°C   | 0 (*)                    |
| 2. E. Coli  | UFC/100 mL a 44,5°C | 0 (*)                    |
| 3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.  | UFC/100 mL a 44,5°C | 0 (*)                    |
| 4. Bacterias Heterotróficas   | UFC/mL a 35°C       | 500                      |
| 5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.   | Nº org/L            | 0                        |
| 6. Virus  | UFC / mL            | 0                        |
| 7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos | Nº org/L            | 0                        |

UFC = Unidad formadora de colonias

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml



## ANEXO II

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

| Parámetros                   | Unidad de medida                     | Límite máximo permisible |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 1. Olor                      | ---                                  | Aceptable                |
| 2. Sabor                     | ---                                  | Aceptable                |
| 3. Color                     | UCV escala Pt/Co                     | 15                       |
| 4. Turbiedad                 | UNT                                  | 5                        |
| 5. pH                        | Valor de pH                          | 6,5 a 8,5                |
| 6. Conductividad (25°C)      | $\mu\text{mho/cm}$                   | 1 500                    |
| 7. Sólidos totales disueltos | $\text{mg L}^{-1}$                   | 1 000                    |
| 8. Cloruros                  | $\text{mg Cl}^{-1} \text{ L}^{-1}$   | 250                      |
| 9. Sulfatos                  | $\text{mg SO}_4^{-2} \text{ L}^{-1}$ | 250                      |
| 10. Dureza total             | $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$    | 500                      |
| 11. Amoniaco                 | $\text{mg N L}^{-1}$                 | 1,5                      |
| 12. Hierro                   | $\text{mg Fe L}^{-1}$                | 0,3                      |
| 13. Manganeseo               | $\text{mg Mn L}^{-1}$                | 0,4                      |
| 14. Aluminio                 | $\text{mg Al L}^{-1}$                | 0,2                      |
| 15. Cobre                    | $\text{mg Cu L}^{-1}$                | 2,0                      |
| 16. Zinc                     | $\text{mg Zn L}^{-1}$                | 3,0                      |
| 17. Sodio                    | $\text{mg Na L}^{-1}$                | 200                      |

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad



### ANEXO III

#### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

| Parámetros Inorgánicos                                 | Unidad de medida                   | Límite máximo permisible                       |
|--|------------------------------------|--|
| 1. Antimonio   | mg Sb L <sup>-1</sup>              | 0,020  |
| 2. Arsénico (nota 1)                                   | mg As L <sup>-1</sup>              | 0,010  |
| 3. Bario   | mg Ba L <sup>-1</sup>              | 0,700  |
| 4. Boro  | mg B L <sup>-1</sup>               | 1,500  |
| 5. Cadmio  | mg Cd L <sup>-1</sup>              | 0,003  |
| 6. Cianuro   | mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> | 0,070  |
| 7. Cloro (nota 2)                                      | mg L <sup>-1</sup>                 | 5  |
| 8. Clorito   | mg L <sup>-1</sup>                 | 0,7  |
| 9. Clorato   | mg L <sup>-1</sup>                 | 0,7  |
| 10. Cromo total  | mg Cr L <sup>-1</sup>              | 0,050  |
| 11. Flúor  | mg F L <sup>-1</sup>               | 1,000  |
| 12. Mercurio   | mg Hg L <sup>-1</sup>              | 0,001  |
| 13. Níquel   | mg Ni L <sup>-1</sup>              | 0,020  |
| 14. Nitratos   | mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> | 50,00  |
| 15. Nitritos   | mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> | 3,00 Exposición corta<br>0,20 Exposición larga |
| 16. Plomo  | mg Pb L <sup>-1</sup>              | 0,010  |
| 17. Selenio  | mg Se L <sup>-1</sup>              | 0,010  |
| 18. Molibdeno  | mg Mo L <sup>-1</sup>              | 0,07   |
| 19. Uranio   | mg U L <sup>-1</sup>               | 0,015  |
| Parámetros Orgánicos                                   | Unidad de medida                   | Límite máximo permisible                       |
| 1. Trihalometanos totales (nota 3)                     |                                    | 1,00   |
| 2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,01   |
| 3. Aceites y grasas                                    | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,5  |
| 4. Alacloro  | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,020  |
| 5. Aldicarb  | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,010  |
| 6. Aldrín y dieldrín                                   | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,00003  |
| 7. Benceno   | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,010  |
| 8. Clordano (total de isómeros)                        | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,0002   |
| 9. DDT (total de isómeros)                             | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,001  |
| 10. Endrín   | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,0006   |
| 11. Gamma HCH (lindano)                                | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,002  |
| 12. Hexaclorobenceno                                   | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,001  |
| 13. Heptacloro y heptacloroepóxido                     | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,00003  |
| 14. Metoxicloro  | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,020  |
| 15. Pentaclorofenol                                    | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,009  |
| 16. 2,4-D  | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,030  |
| 17. Acrilamida   | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,0005   |
| 18. Epiclorhidrina                                     | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,0004   |
| 19. Cloruro de vinilo                                  | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,0003   |
| 20. Benzopireno  | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,0007   |
| 21. 1,2-dicloroetano                                   | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,03   |
| 22. Tetracloroetano                                    | mgL <sup>-1</sup>                  | 0,04   |



| Parámetros Orgánicos               | Unidad de medida  | Límite máximo permisible |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| 23. Monocloramina                  | mgL <sup>-1</sup> | 3                        |
| 24. Tricloroetano                  | mgL <sup>-1</sup> | 0,07                     |
| 25. Tetracloruro de carbono        | mgL <sup>-1</sup> | 0,004                    |
| 26. Ftalato de di (2-etilhexilo)   | mgL <sup>-1</sup> | 0,008                    |
| 27. 1,2- Diclorobenceno            | mgL <sup>-1</sup> | 1                        |
| 28. 1,4- Diclorobenceno            | mgL <sup>-1</sup> | 0,3                      |
| 29. 1,1- Dicloroetano              | mgL <sup>-1</sup> | 0,03                     |
| 30. 1,2- Dicloroetano              | mgL <sup>-1</sup> | 0,05                     |
| 31. Diclorometano                  | mgL <sup>-1</sup> | 0,02                     |
| 32. Ácido edético (EDTA)           | mgL <sup>-1</sup> | 0,6                      |
| 33. Etilbenceno                    | mgL <sup>-1</sup> | 0,3                      |
| 34. Hexaclorobutadieno             | mgL <sup>-1</sup> | 0,0006                   |
| 35. Acido Nitritotriacético        | mgL <sup>-1</sup> | 0,2                      |
| 36. Estireno                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,02                     |
| 37. Tolueno                        | mgL <sup>-1</sup> | 0,7                      |
| 38. Xileno                         | mgL <sup>-1</sup> | 0,5                      |
| 39. Atrazina                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,002                    |
| 40. Carbofurano                    | mgL <sup>-1</sup> | 0,007                    |
| 41. Clorotoluron                   | mgL <sup>-1</sup> | 0,03                     |
| 42. Cianazina                      | mgL <sup>-1</sup> | 0,0006                   |
| 43. 2,4- DB                        | mgL <sup>-1</sup> | 0,09                     |
| 44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano   | mgL <sup>-1</sup> | 0,001                    |
| 45. 1,2- Dibromoetano              | mgL <sup>-1</sup> | 0,0004                   |
| 46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP) | mgL <sup>-1</sup> | 0,04                     |
| 47. 1,3- Dicloropropeno            | mgL <sup>-1</sup> | 0,02                     |
| 48. Dicloro-prop                   | mgL <sup>-1</sup> | 0,1                      |
| 49. Dimetato                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,006                    |
| 50. Fenoprop                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,009                    |
| 51. Isoproturon                    | mgL <sup>-1</sup> | 0,009                    |
| 52. MCPA                           | mgL <sup>-1</sup> | 0,002                    |
| 53. Mecoprop                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,01                     |
| 54. Metolacloro                    | mgL <sup>-1</sup> | 0,01                     |
| 55. Molinato                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,006                    |
| 56. Pendimetalina                  | mgL <sup>-1</sup> | 0,02                     |
| 57. Simazina                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,002                    |
| 58. 2,4,5- T                       | mgL <sup>-1</sup> | 0,009                    |
| 59. Terbutilazina                  | mgL <sup>-1</sup> | 0,007                    |
| 60. Trifluralina                   | mgL <sup>-1</sup> | 0,02                     |
| 61. Cloropirifos                   | mgL <sup>-1</sup> | 0,03                     |
| 62. Piriproxifeno                  | mgL <sup>-1</sup> | 0,3                      |
| 63. Microcistin-LR                 | mgL <sup>-1</sup> | 0,001                    |



| Parámetros Orgánicos                            | Unidad de medida  | Límite máximo permisible |
|---|-------------------|--------------------------|
| 64. Bromato                                     | mgL <sup>-1</sup> | 0,01                     |
| 65. Bromodichlorometano                         | mgL <sup>-1</sup> | 0,06                     |
| 66. Bromoformo                                  | mgL <sup>-1</sup> | 0,1                      |
| 67. Hidrato de cloral<br>(tricloroacetaldehído) | mgL <sup>-1</sup> | 0,01                     |
| 68. Cloroformo                                  | mgL <sup>-1</sup> | 0,2                      |
| 69. Cloruro de cianógeno (como<br>CN)           | mgL <sup>-1</sup> | 0,07                     |
| 70. Dibromoacetónitrilo                         | mgL <sup>-1</sup> | 0,1                      |
| 71. Dibromoclorometano                          | mgL <sup>-1</sup> | 0,05                     |
| 72. Dicloroacetato                              | mgL <sup>-1</sup> | 0,02                     |
| 73. Dicloroacetónitrilo                         | mgL <sup>-1</sup> | 0,9                      |
| 74. Formaldehído                                | mgL <sup>-1</sup> | 0,02                     |
| 75. Monocloroacetato                            | mgL <sup>-1</sup> | 0,2                      |
| 76. Tricloroacetato                             | mgL <sup>-1</sup> | 0,2                      |
| 77. 2,4,6- Triclorofenol                        |                   |                          |

**Nota 1:** En caso de los sistemas existentes se establecerá en los Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL<sup>-1</sup>.

**Nota 2:** Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL<sup>-1</sup>.

**Nota 3:** La suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Cloroformo, Dibromoclorometano, Bromodichlorometano y Bromoformo) con respecto a sus límites máximos permisibles no deberá exceder el valor de 1,00 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{LMP_{\text{cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{LMP_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{LMP_{\text{Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{LMP_{\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

donde, C: concentración en mg/L, y LMP: límite máximo permisible en mg/L



#### ANEXO IV

#### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS RADIATIVOS

| Parámetros                                      | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|---|------------------|--------------------------|
| 1. Dosis de referencia total<br><b>(nota 1)</b> | mSv/año          | 0,1                      |
| 2. Actividad global $\alpha$                    | Bq/L             | 0,5                      |
| 3. Actividad global $\beta$                     | Bq/L             | 1,0                      |

**Nota 1:** Si la actividad global  $\alpha$  de una muestra es mayor a 0,5 Bq/L o la actividad global  $\beta$  es mayor a 1 Bq/L, se deberán determinar las concentraciones de los distintos radionúclidos y calcular la dosis de referencia total; si ésta es mayor a 0,1 mSv/año se deberán examinar medidas correctivas; si es menor a 0,1 mSv/año el agua se puede seguir utilizando para el consumo.



## **CAPÍTULO III**

# **RESULTADOS OBTENIDOS**



### **CAPÍTULO III: RESULTADOS OBTENIDOS**

#### **3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO**

##### **a. Ubicación y Acceso**

La zona estudiada se encuentra ubicada en C.P.M Campo Nuevo, del departamento de La Libertad, provincia de Virú, distrito de Guadalupito, a 455 Kms al Norte de la ciudad de Lima

El acceso a la zona es a través de la Carretera Panamericana Norte que la atraviesa de Sur a Norte, y una serie de caminos carrozables que permiten llegar al pozo.

##### **b. Principales Características Hidrometeorológicas**

###### **El Clima**

La zona de estudio forma parte del desierto costero peruano, presenta un clima cálido y seco.

###### **La Cuenca**

Pertenece a la cuenca del río Santa, situada en el departamento de Ancash, entre los paralelos 07°59' y 10°10' de latitud sur y los meridianos 77°11' y 78°38' de longitud Oeste. Tiene un área de 12,332 Km<sup>2</sup>., representando el 0.96% del territorio nacional. La parte baja es de relieve casi plano y contrasta con la estrecha quebrada en que se



convierte el valle en sus tramos medio y superior, donde los cerros dominan el angosto fondo del valle de 500 m.

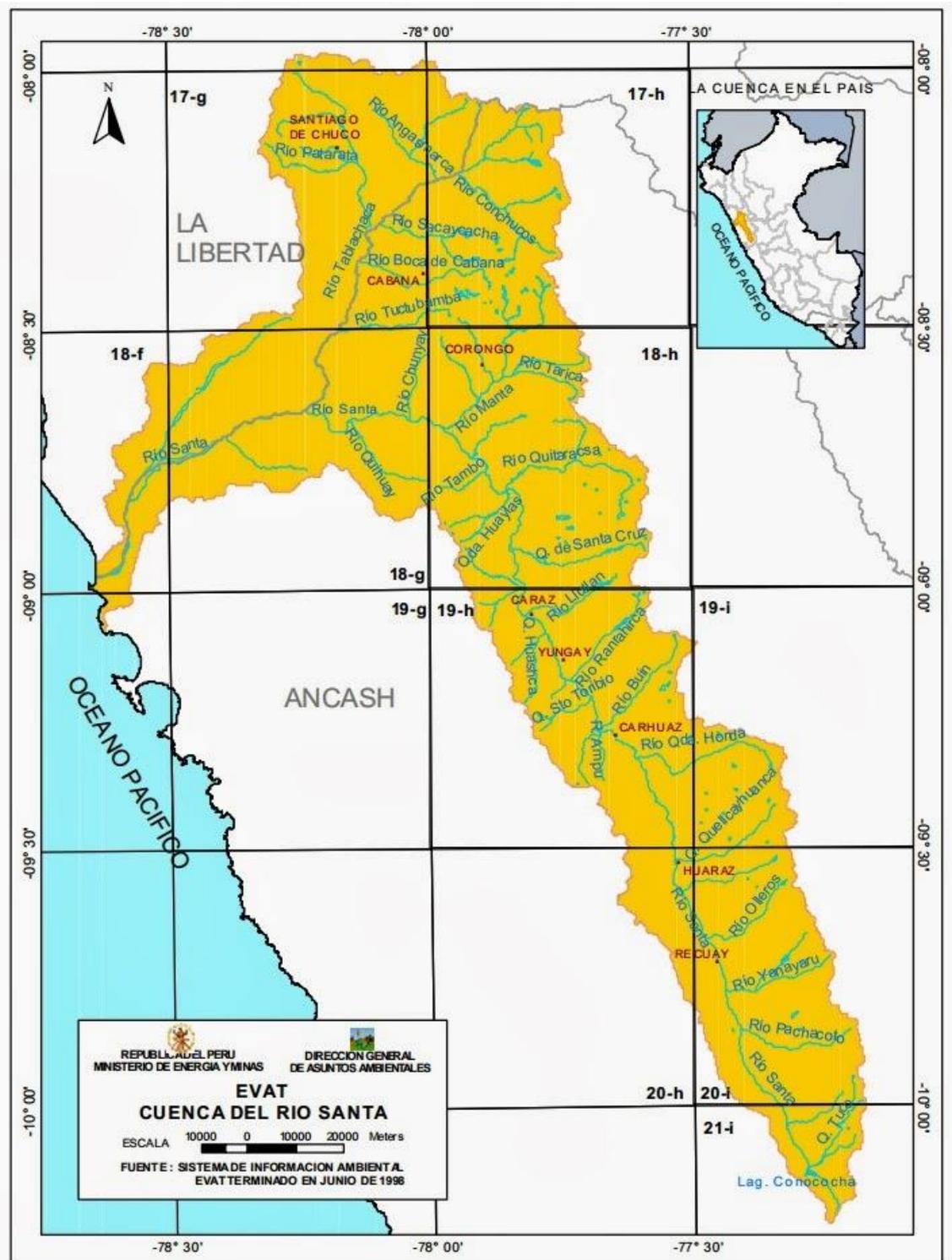
### **Hidrografía**

El colector principal de las escorrentías superficiales del valle que nos ocupa, es el río Santa.

Este río nace en la Laguna de Conococha, sobre los 4,500 m.s.n.m., recibiendo por ambas márgenes, durante su trayecto, el aporte de aguas provenientes de los ríos y quebradas, tales como Tuco, Queullis, Yanayacu, Pariac, Quebrada Honda, Ruin, Quitaraca, Coronguillo, Manta, Chumlla, Pampas, Conchudos, Huaychaca, Ancos, Quinuas y Aguaclara. Su principal tributario es el río Chuquicara que tiene una cuenca colectora de 3,100 Km<sup>2</sup>, aproximadamente, que constituye el 30% de la cuenca colectora total del río Santa. El río Santa tiene una dirección SE – NW en sus 2/3 partes iniciales, cambiando luego a NE – SW para desembocar en el mar, al Norte de la ciudad de Santa. La longitud aproximada del río es de 332 Km.

### **Hidrología**

El régimen del río Santa es irregular, con períodos cortos de grandes descargas y períodos largos de menores descargas, diferenciándose de otros ríos de la costa en la existencia de un caudal permanente en su cauce durante todo el año.





### 3.2 ACUÍFERO SUBTERRÁNEO

#### a) Geometría del acuífero

El acuífero del bajo valle santa tiene forma de una cubeta alargada y angosta hasta la altura del cerro Huacacorral, a partir del cual se ensancha progresivamente hasta su limite en el mar, haciendo hasta allí una superficie de 108.2km<sup>2</sup>.

El substrato rocoso y sus afloramientos, de origen volcánico, constituyen los límites inferiores y laterales, respectivamente, del acuífero.

#### b) El Reservorio Acuífero.-

El acuífero del bajo valle de Santa está formado principalmente por los aluviones cuaternarios trasportados por el río Santa. Estos aluviones están constituidos por cantos rodados, gravas angulosas y redondeadas, arenas, arcillas y limos.

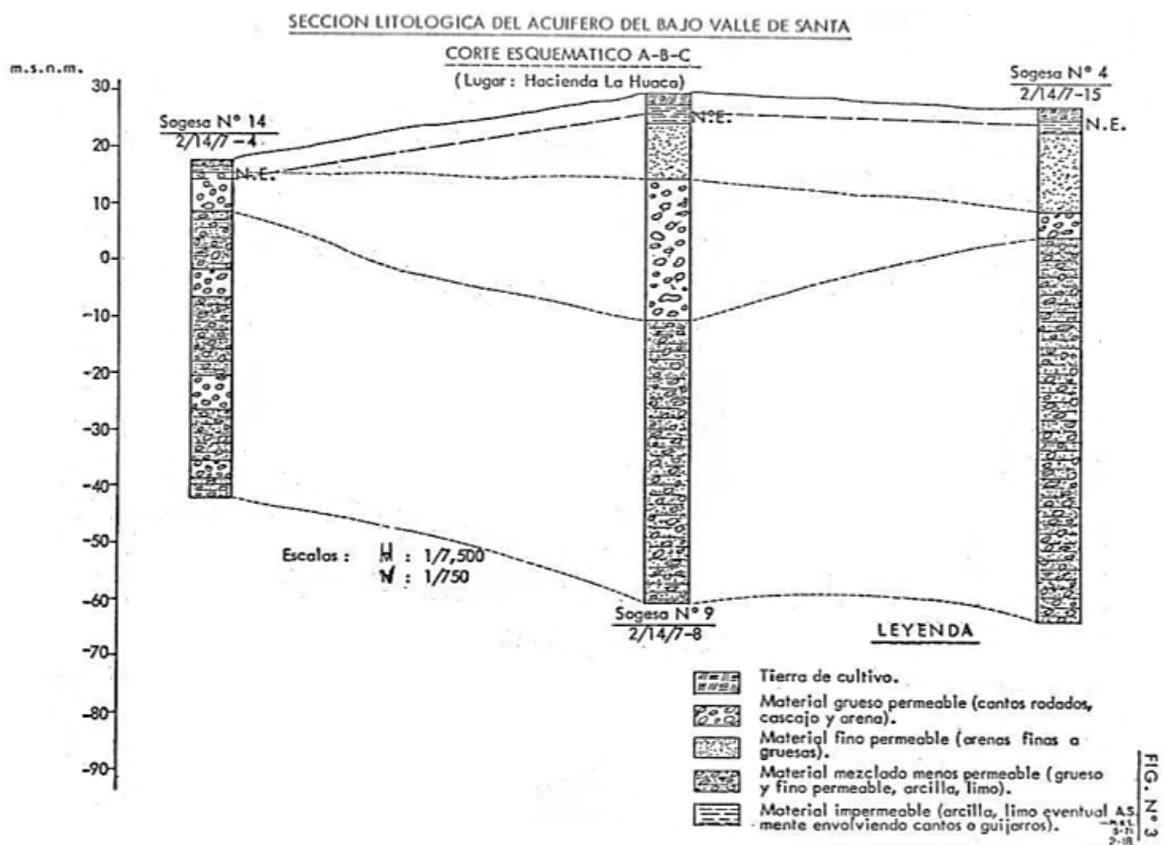
La información recogida de los perforadores de pozos, se ha elaborado un corte esquemático litológico del acuífero que se presenta en la Fig. N° 3 (ver ubicación de la sección esquematizada en el Anexo N° 1). Este gráfico muestra cierta uniformidad del material depositado en el valle. El substrato impermeable está constituido por rocas compactas que afloran formando las colinas que marginan el valle.

### c) La Napa Freática

La napa del bajo valle del río Santa es libre. Esta se forma con las infiltraciones de las aguas del río Santa y es incrementada con las infiltraciones de las aguas de riego superficial, canales de riego sin revestir y por el escurrimiento subterráneo proveniente de la parte alta del valle de Lacramarca, a través de la Quebrada Cascajal.

### d) Fluctuación del Nivel Piezométrico de la Napa

Con las piezometrías realizadas en los meses de abril y octubre de 2014 se determinó que el nivel promedio de la napa disminuyó en octubre en 0.80 m; con un máximo de 2.87 m



### 3.3 FOTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO



Pozo de oxidación de aguas servidas.



Caseta donde está ubicado el pozo artesiano donde se capta agua para la población



Se aprecia el derrame de agua servidas y como contamina el humedal



Distancia entre la caseta del pozo artesiano y el pozo de oxidación



## **CAPÍTULO IV**

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION**

Todas las aguas obtenidas de los acuíferos a través de pozos artesianos o pozos tubulares antes de su utilización como agua potable para el consumo de los centros poblados deben ser seguras para su bebida y por consiguiente, se requiere realizar un análisis organoléptico (físico - químico) para determinar si sus características cumplen con lo especificado en el Reglamento De Calidad De Agua Para Consumo Humano DS N° 031-2012-SA. Y si está dentro de los límites Máximos Permisibles y un análisis bacteriológico porque se requieren la ausencia de cualquier microorganismo patógeno (causante de enfermedades); pueden sufrir un tratamiento para eliminar cualquier bacteria dañina y hacerlas seguras para su consumo. Son los microorganismos indicadores de que el agua no es apta para el consumo humano por lo cual se debe realizar un tratamiento antes de proceder al abastecimiento de la población y su consumo.

### **4.1 HIDROGEOQUÍMICA**

#### **a) Recolección de Muestras de Agua Subterránea**

Para determinar las características químicas del agua y su variación en el espacio y en el tiempo, se llevó a cabo un muestreo del agua subterránea a la fuente y en la salida domiciliaria, para análisis químico, que ha permitido evaluar cualitativamente el agua subterránea.

#### **b) Resultados de los Análisis Físico - Químicos**



c) Dureza Total y pH

## 4.2 POTABILIDAD DE LAS AGUAS

a) Análisis Bacteriológico

b) Características Biológicas del Agua Subterránea

c) Niveles de Concentración de los iones Cloruro, Sulfato y Magnesio

d) Nivel de Sólidos Totales Disueltos (STD)

e) Niveles de Dureza y pH

f) Calificación de las Aguas Subterráneas

Resultados de los ensayos realizado las 4 muestras obtenidas en la zona de estudio

| ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA |                                      |                |                |                |                |                              |           |
|---|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|-----------|
| Parámetros                                      | Unidad De Medida                     | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | M <sub>3</sub> | M <sub>4</sub> | Límite Máximo Permisible (*) | Aceptable |
| Olor  | ---                                  | no             | no             | no             | no             | Aceptable                    | si        |
| Sabor   | ---                                  | Aceptable      | Aceptable      | Aceptable      | Aceptable      | Aceptable                    | si        |
| Color   | UCV escala Pt/Co                     | 5              | 8              | 7              | 8              | 15                           | si        |
| Turbiedad                                       | UNT                                  | 0.38           | 0.32           | 0.26           | 0.26           | 5                            | si        |
| PH  | Valor de pH                          | 7.98           | 7.09           | 7.95           | 7.83           | 6.5 a 8.5                    | si        |
| Sólidos totales disueltos                       | mgL <sup>-1</sup>                    | 960            | 812            | 981            | 972            | 1000                         | si        |
| Cloruros  | mg Cl - L <sup>-1</sup>              | 213.07         | 227.53         | 196.91         | 206.91         | 250                          | si        |
| Sulfatos  | mg SO <sub>4</sub> = L <sup>-1</sup> | 48.53          | 45.71          | 41.11          | 41.11          | 250                          | si        |
| Dureza total                                    | mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> | 476            | 465            | 483            | 487            | 500                          | si        |
| Materia orgánica                                | ppm O <sub>2</sub>                   | 1.09           | 1.15           | 1.12           | 1.07           | NR                           | no        |



- Al ensayar las muestras obtuvimos los resultados de cada uno y al comparar las muestras podemos notar que se encuentra dentro de los límites Máximos Permisibles
- En lo que respecta al olor y sabor se encuentra dentro de los límites Máximos Permisibles
- El color, turbiedad y sulfatos, sus resultados obtenidos del ensayo se encuentran por debajo de la mitad de los límites Máximos Permisibles
- El PH, solidos totales disueltos, cloruros y dureza total, sus resultados obtenidos del ensayo se encuentran cerca a los límites Máximos Permisibles

| <b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</b> |               |                                       |                     |                  |
|--------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------|------------------|
| <b>Muestra</b>                 | <b>Unidad</b> | <b>Coliformes totales (NMP/100mL)</b> | <b>Valor Máximo</b> | <b>Aceptable</b> |
| <b>M1</b>                      | NMP/100mL     | $16 \times 10^2$                      | 0                   | <b>No</b>        |
| <b>M2</b>                      | NMP/100mL     | $19 \times 10^2$                      | 0                   | <b>No</b>        |
| <b>M3</b>                      | NMP/100mL     | $16 \times 10^2$                      | 0                   | <b>No</b>        |
| <b>M4</b>                      | NMP/100mL     | $17 \times 10^2$                      | 0                   | <b>No</b>        |

Fuente: laboratorio COLECBI

Valores admisibles según: Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (NTS N° 071 – MINS/DIGESA-V.01)



- Según lo requerido por el reglamento de la calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA la presencia de coliformes totales (nmp/100ml) debe ser cero si no se considera agua no apta para consumo humano

Por la antigüedad del pozo artesiano el bombea una cantidad de agua, ha producido que la del pendiente del nivel freático se invierta, también que la velocidad de circulación del agua subterránea aumenta conforme lo hace la inclinación de la pendiente del nivel freático. Esto produce problemas porque una velocidad de circulación más rápida permite menos tiempo para la purificación del agua en el acuífero antes de ser bombeada a la superficie.

Al existir el derrame de las aguas servidas del pozo de oxidación esta agua se filtra al sub suelo y contamina el acuífero donde se obtiene el agua para consumo humano y al no contar un plan de purificación esta mismo líquido es enviado para el consumo de la población el cual a corto y largo plazo puede acarrear problemas de salud para la población beneficiaria.



## **CAPÍTULO V**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- ✓ La profundidad del pozo es de 15m, con respecto al diámetro es de 1.40m es un pozo artesiano.
- ✓ El pozo está equipados con motor eléctrico y bomba, centrífuga de succión para la obtención del agua del acuífero.
- ✓ Por el consumo del agua del acuífero la pendiente del nivel freático sea invertido, lo cual produce que velocidad de circulación del agua subterránea aumenta conforme lo hace la inclinación. Esto ocasiona que las aguas servidas derramadas del pozo de oxidación se filtren al acuífero y lo contaminen.
- ✓ La dureza (  $\text{CaCO}_3$ ) de las aguas se encuentra cerca del límite permisible.
- ✓ En el área investigada, las aguas subterráneas basándose en el pH, fluctúan entre 7.09 y 7.98, valores que representan a aguas ligeramente alcalinas, se encuentra cerca del límite permisible.



- ✓ Los análisis de las muestras de agua, ha determinado que los niveles de sólidos totales disueltos se encuentran altos pero dentro de los límites máximos tolerables de potabilidad
- ✓ La existencia de materia orgánica no es recomendable la cual se obtiene el resultado a través de la oxidación de Permanganato de potasio la cual arroja que si hay presencia
- ✓ Los análisis bacteriológicos en el área de estudio, del total de muestras recolectadas (04), han detectado que en las 4 muestra presentan valores de coniformes totales y fecales, el análisis efectuado en el laboratorio COLECBI nos proporciona ese resultado por lo cual se permite calificarla como agua no apta para el consumo humano
- ✓ Los análisis de las muestras de agua, ha determinado que los niveles de sólidos totales disueltos (STD) de un promedio de las 4 muestras es 931.25 ppm, valor que se encuentran dentro de los límites máximos tolerables de potabilidad.



## 5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Debe realizarse el control de los niveles freáticos en los pozos de la red piezométrica, cada cuatro (04) meses (03 veces al año), con el objeto de observar el comportamiento de las fluctuaciones de la pendiente del nivel freático, así como también su evolución en tiempo y espacio.
- ✓ Es necesario realizar pruebas de bombeo adicionales en los próximos años, siempre que existan pozos con ciertas condiciones técnicas y piezómetros.
- ✓ Debe efectuarse como mínimo dos (02) veces al año los controles de la calidad de las aguas subterráneas en el valle a través de los cuales deben coincidir con los periodos de máximas avenidas y de estiaje.
- ✓ Las aguas subterráneas deben ser tratadas antes de ser consumidas, sobre todo los pozos que abastecen a pequeñas poblaciones a través de una red domiciliaria.
- ✓ Se debe realizar un mantenimiento o reubicación del pozo de oxidación para evitar que siga contaminado el acuífero donde se obtiene agua para la población



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ✓ **REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**, DS N° 031-2010-SA, Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, Lima – Perú 2011
  
- ✓ **AMERICAN CHEMICAL SOCIETY** (2006). Chemistry in the community. Nueva York: W.H. Freeman. ISBN 9780716789192.
  
- ✓ **CORTÉS**, Julio (1986). El Corán. Perseus Distribution. ISBN 0940368714.
  
- ✓ **MILLER**, Tyler (2005). «IX- Water resources and water pollution», Sustaining the earth. Thomson, Brooks & Cole. Wikipedia
  
- ✓ **PARK**, Chris (2007). A dictionary of environment and conservation. Oxford: Oxford University Press. ISBN 0198609957.
  
- ✓ **RÁMIREZ QUIRÓS**, Francisco (2005). Tratamiento de Desinfección del Agua Potable. Canal Isabel II. ISBN 84-933694-3-8.
  
- ✓ **RASTOGI, S.C.** (1996). Cell and molecular biology. New Age International. ISBN 8122412882.



- ✓ **STARR**, Cecie. Mary Arbogast (ed.). Biology: Concepts and applications, Fifth edition edición, Belmont: Wadsworth - Thomson Learning. ISBN 0-534-38549-4.
  
- ✓ **EDWARD J. TARBUCK**, Frederick K. Lutgens, "Ciencias de la Tierra 8° Edición – Una Introducción a la Geología Física."
  
- ✓ **QUÍM. ADA BARRENECHEA MARTEL**, Aspectos fisicoquímicos de la Calidad del Agua
  
- ✓ **ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LOS VALLES DE SANTA Y LACRAMARCA**, SUB- DIRECCION DE AGUAS, AGUAS SUBTERRANEAS DIRECCION DE AGUAS Y DISTRITOS DE RIEGO DIRECCION GENERAL DE AGUAS E IRRIGACION, MINISTERIO DE AGRICULTURA, INFORME N° 2/14/0-1, (Departamento de Ancash, Provincia de Santa) Octubre 1971
  
- ✓ **INVENTARIO Y MONITOREO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL VALLE SANTA**, MINISTERIO DE AGRICULTURA, INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS Y SUELOS, ADMINISTRACIÓN TÉCNICA DEL DISTRITO DE RIEGO, SANTA-LACRAMARCA – Lima, Diciembre -2001



# **ANEXOS**