

Carmen Salerno  
Gabriela Laurent  
Miguel Alvarado

# Calidad de aguas

Aspectos microbiológicos,  
físicoquímicos y medioambientales

COLECCIÓN  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



Salerno, Carmen M.

Calidad de aguas: aspectos microbiológicos, fisicoquímicos y medioambientales/Carmen M. Salerno; Gabriela Laurent; Miguel Alvarado. -1ª edición para el alumno- Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2017.

270 p.; 21 x 15 cm.

ISBN 978-987-655-148-9

1. Calidad del Agua. I. Laurent, Gabriela II. Alvarado, Miguel III. Título CDD 333.912



**Editorial de la Universidad Nacional del Sur**

Santiago del Estero 639 - B8000HZK - Tel.: 54-0291-4595173

Bahía Blanca - Argentina

[www.ediuns.com.ar](http://www.ediuns.com.ar) | [ediuns@uns.edu.ar](mailto:ediuns@uns.edu.ar)



**Libro  
Universitario  
Argentino**



**Red de Editoriales de  
Universidades Nacionales**

Diagramación interior y tapa: Fabián Luzi

No se permite la reproducción parcial o total, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las Leyes 11723 y 25446.

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11723.

Impreso en la Editorial de la Universidad Nacional del Sur.

Tirada: 10 ejemplares

Bahía Blanca, Argentina, febrero 2020.

© 2020 Ediuns

**“Mirar el río hecho de tiempo y agua y  
recordar que el tiempo es otro río.  
Saber que nos perdemos como el río  
Y que los rostros pasan como el agua”**

Jorge Luis Borges  
*El hacedor*, 1960



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Sección I.	09
<b>Módulo: Calidad microbiológica de agua para consumo humano</b>	
Sección II	107
<b>Módulo: Características físicas y químicas. Calidad de agua para riego consumo animal y humano</b>	
<b>Experiencias prácticas</b>	149
<b>Anexo I</b>	237
<b>Anexo II</b>	241



**SECCIÓN I**

MÓDULO

**Calidad microbiológica  
de agua para consumo humano**



## Generalidades

Desde tiempos inmemoriales, el hombre ha tenido que realizar grandes esfuerzos para proveerse de agua de buena calidad destinada a la higiene, alimentación y emprendimientos, que le han permitido un mayor desarrollo económico.

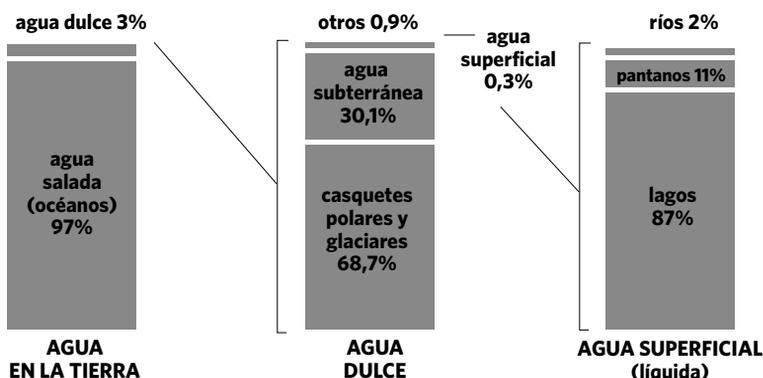
El agua potable domiciliaria es una conquista reciente, parece un servicio irrenunciable pero, desgraciadamente, no lo es en muchos lugares del planeta. En las áreas urbanas del tercer mundo, 170 millones de personas carecen de agua limpia para satisfacer sus mínimas necesidades: beber, cocinar o lavarse. En las áreas rurales de estos países, el panorama es más sombrío ya que alcanza a casi 885 millones de individuos.

No todos los recursos pueden ser utilizados en todo su potencial. Existe un límite, al que progresivamente nos vamos acercando. La sucesiva construcción de diques y presas ocasiona múltiples afectaciones y no garantiza, por sí sola, la satisfacción de las demandas futuras.

Se habla de que globalmente hay un exceso de agua pero, debido a los límites operativos y a la contaminación, las cifras totales en la actualidad solo se podrían llegar a duplicar dentro de 20 o 30 años. Urgen, por tanto, otras acciones correctoras de la desviación de los consumos.

Los ríos, la expresión más recurrente del agua dulce, han tenido y tienen un papel esencial en la vida del globo. Han sido inspiradores de muchas obras de arte, motores de la civilización de los pueblos y dinamizadores de las economías.

El agua dulce disponible constituye el 0,008% del agua terrestre, lo que hace que en ocasiones su uso plantee complejos problemas.



**Fig. 1** Distribución del agua en el mundo. Imágen: USGS (Wikimedia Commons)

Está distribuida de forma muy irregular en la superficie terrestre. Los grandes depósitos naturales se ubican en los glaciares de Argentina, Groenlandia, Rusia, Antártida y en los Grandes Lagos de Estados Unidos. Las zonas húmedas tropicales contienen porcentajes elevados del total de la reserva mundial. El resto de las zonas terrestres se abastece por distintos medios ya que a la carencia de agua se une la estacionalidad de la escorrentía (Figura .1).

### **Aguas superficiales**

Se considera agua superficial a aquella que se encuentra discurrendo o estancada en la superficie terrestre formando arroyos, ríos, estanques, lagos y embalses (Figura 2). Las aguas superficiales se originan por una combinación de procedencias:

- a) *Escorrentías superficiales*: lluvia que ha caído sobre el terreno y fluye en superficie.
- b) *Precipitación directa*: agua que cae directamente sobre la superficie terrestre.
- c) *Descarga de la capa freática*: cuando la freática por su ubicación más elevada vierte la masa de agua a un acuífero ubicado a más profundidad.

La calidad y cantidad del agua superficial, dependerá de una combinación entre el clima y los factores geológicos. El actual perfil de lluvias, por ejemplo, es menos importante para las aguas estancadas como lagos y embalses donde el agua se recoge durante un período largo y se almacena.

Las cuencas son sistemas dinámicos en constante movimiento, en donde su recarga depende en la mayoría de los casos, de las condiciones estacionales.

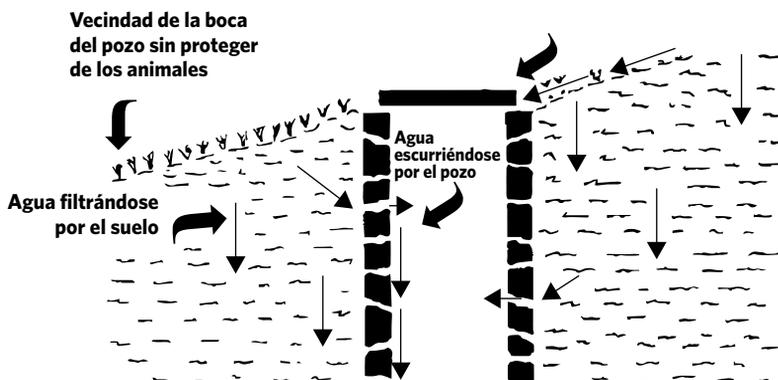


**Fig. 2:** Ciclo hidrológico. (ciencia@nasa), 2002

## Aguas subterráneas

Los acuíferos superficiales, son llamados habitualmente freáticos o libres y tienen una estrecha relación con las aguas superficiales. Si bien suele encontrarse esta capa entre los 3 y 10 metros de profundidad, a veces, por efecto de la erosión en zonas bajas, puede aflorar. Suele estar conectado con los ríos y arroyos e intercambiar nutrientes y agua. También puede suceder que se vea afectado por las actividades humanas, denominado efecto antrópico. La contaminación puede deberse al uso de fertilizantes, pesticidas, aguas negras, a la actividad recreacional, etc.

No obstante, en muchas zonas rurales, los acuíferos superficiales se utilizan como fuente de agua para riego o bebida, de allí se nutren las bombas de mano, que en otros tiempos eran muy comunes en las casas de campo. Los pozos o aljibes mal construidos pueden ser fuente de contaminaciones (Figura 3).



**Fig. 3.** Vías de contaminación microbiana en un pozo. (Board, 2004).

Por debajo del acuífero freático, hay otros que pueden tener diferencias en cuanto al volumen y a la calidad. En la pampa húmeda de la Argentina, existen tres grandes acuíferos debajo de la freática.

Entre los 15 y los 35 metros de profundidad se sitúa el acuífero Pampeano; por debajo, entre los 40 y 70 el acuífero Puelchense, el cual es de mayor caudal y mejor calidad para la provisión de agua potable, a más de 100 metros, se ubica el acuífero Hipopuelche.

Si se requiere extraer agua de un acuífero, es necesario perforar el suelo hasta llegar a él. El personal responsable del trabajo debe ser especializado. Si no se hace correctamente, se corre el riesgo de que la perforación no tenga el aislamiento suficiente, por tal motivo, es posible que se mezcle el agua que se extrae, con aquella que circula en las capas más superficiales.

Debido a que los acuíferos tienen tiempo de renovación muy largo, a veces del orden de las centenas de años, es fundamental no contaminarlos.

En este sentido, también es importante que la extracción de agua sea moderada para reducir el peligro de deterioro. Aquí, se hacen esenciales prácticas industriales, que reduzcan el desperdicio de agua, reciclándola cuando no forma parte del producto final, como en el caso del agua destinada a la refrigeración.

### **Ambientes de agua dulce**

Los ambientes acuáticos típicos son los lagos, estanques, ríos y manantiales. Estos difieren considerablemente de cualquier otro en sus propiedades fisicoquímicas y no sorprende, que también sea distinta la composición de especies microbianas que viven en ellos.

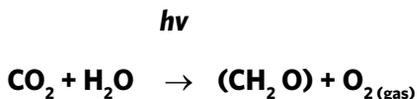
Los organismos fototróficos predominantes en la mayoría de los ambientes acuáticos son microorganismos.

En las zonas óxicas (con oxígeno), cianobacterias y algas son las más abundantes; en las zonas anóxicas (sin oxígeno) dominan las bacterias fototróficas anoxígenas.

Las algas que flotan o se mantienen en suspensión, se denominan fitoplancton; las que se adhieren al fondo son llamadas algas benthicas. Dado que estos organismos fototróficos utilizan energía que obtienen de la luz para la producción inicial de materia orgánica, también se llaman productores primarios.

La actividad microbiológica de un ecosistema acuático depende de la tasa de producción primaria que llevan a cabo los organismos fototróficos. Los fototrofos oxigénicos producen carbohidratos y oxígeno. Este hecho desencadena a su vez formas alternativas de metabolismo, en particular la fermentación y la respiración anaeróbica cuando la materia orgánica presente, aumenta.

De manera muy simplificada, se describe la producción de materia orgánica por fotosíntesis algal en la siguiente reacción:



Donde  $(\text{CH}_2\text{O})$  representa una unidad de carbohidrato,  $hv$  unidad de cuanto de luz (Manahan y col.,1994).

*Aclaración de conceptos para pensar:*

La constante de Planck relaciona la energía  $E$  de los fotones, con la frecuencia  $\nu$  de la onda lumínica.

En física, el fotón se representa normalmente con el símbolo  $\gamma$  (la letra griega gamma). Este símbolo proviene posiblemente de los rayos gamma, En química e ingeniería óptica, los fotones se simbolizan habitualmente por  $h\nu$ , que representa también la energía asociada a un fotón, donde  $h$  es la constante de Planck y la letra griega  $\nu$  es la frecuencia de la partícula. Con mucha menor asiduidad, el fotón también se representa por  $hf$ , siendo  $f$ , en este caso, la frecuencia.

Planck dedujo el valor numérico de  $h$ , conocido como constante de Planck, y también pudo reportar un valor más preciso para el número de Avogadro-Loschmidt, el número de moléculas reales en un mol y la unidad de carga eléctrica. Después de que se validase su teoría, Planck fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1918 por su descubrimiento.

## **Breve panorama internacional en relación al medio ambiente y el uso del agua.**

El agua en países desarrollados debe pasar por estrictos controles de higiene, limitando efectivamente la transmisión de enfermedades. No obstante, existen importantes brotes en los países en vías de desarrollo; incluso en aquellos considerados países desarrollados. Se estima que unos 1.100 millones de personas no disponen de suficiente agua potable y que otros 2.400 millones no tienen acceso al saneamiento. En el año 2050 se presume que al menos una de cada cuatro personas vivirá en un país afectado por la escasez crónica o recurrente de agua dulce, que puede deberse a la utilización poco eficiente, la degradación del agua por la contaminación o la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos.

Hay que adoptar medidas para administrar mejor los exiguos recursos de agua dulce, especialmente la oferta y la demanda, así como su cantidad y calidad. Desde hace tiempo las Naciones Unidas se ocupan de la crisis mundial causada por la creciente demanda de agua para satisfacer las necesidades humanas, comerciales y agrícolas.

En diciembre de 2003, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el Decenio Internacional para la Acción, *"El agua, fuente de vida" 2005 - 2015*, cuyo principal objetivo consiste en promover las actividades encaminadas a cumplir para el 2015 los compromisos contraídos en relación con el agua y cuestiones conexas.

Los objetivos de desarrollo del Milenio plantean reducir a la mitad el número de personas que viven sin acceso al agua potable y detener la explotación no sostenible de los recursos hídricos.

ONU-Agua es el mecanismo interinstitucional de todo el sistema de las Naciones Unidas que reúne a los organismos, departamentos y programas que participan en las cuestiones relativas al agua elaboran propuestas y coordina el decenio internacional.

El objetivo de la propuesta es apoyar la protección de los recursos hídricos de la sobreexplotación y la contaminación, y a la vez satisfacer las necesidades de agua potable y de saneamiento, energía, agricultura y otros.

Además, pretende proteger a las comunidades de los desastres relacionados con el agua, y apoya la realización del derecho humano al agua segura y al saneamiento, así como de otros derechos, incluyendo el derecho a la vida, a un nivel adecuado de vida, a la salud y de la niñez.

Esta propone metas e indicadores relacionados que ayudarán a los países a lograr el objetivo para el año 2030, e ilustra los costos y los beneficios de hacerlo y analiza los medios de implementación.

La Salud, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es “*el estado completo de bienestar, físico, psíquico y social*”. Es decir que la salud de un ser humano depende no sólo de las relaciones armónicas de sus órganos, sino también de su adaptación a los cambios del ambiente. En la medida en que los mecanismos de respuesta sean armónicos y adecuados a la naturaleza de los estímulos, podemos considerar sano al individuo. Al definirla de este modo, la salud es mucho más que la ausencia de enfermedad.

Con 3.800 millones de años de evolución adaptándose al ambiente, la vida ha transmitido al ser humano la adaptación a determinadas condiciones ambientales. En sólo unos pocos miles de años, como producto de su cultura, el hombre se expandió a ambientes nuevos para él, en los que se enfrentó con nuevas patologías.

Ha aparecido una asimetría: la especie *Homo sapiens* fue evolucionando muy lentamente en un ambiente más o menos estable, pero actualmente ese ambiente está cambiando rápidamente por acción de la cultura y el *Homo sapiens* no puede evolucionar biológicamente a ese ritmo.

Surgen agresiones ambientales cada vez más extendidas, como la contaminación puntual, presente en un alimento, en una fábrica, en una ciudad, o puede estar generalizada en todo el planeta, responsable del cambio climático mundial.

Si bien casi todas las patologías se desarrollan a partir de una predisposición genética y de un desencadenante ambiental, está claro que para evitar algunas enfermedades se requieren conocimientos ecológicos. Entre estas enfermedades, aquí nos ocuparemos de aquellas que afectan a más seres humanos y de las que tienen un alto riesgo de expansión.

Es importante conocer algunos conceptos epidemiológicos que son difundidos y no comprendidos en los medios de comunicación.

Desde la antigüedad se conocen enfermedades que afectan al hombre en determinadas regiones. Tales territorios, tienen comunidades de seres vivos, un hábitat geológico, climático y topográfico con características particulares, a tal punto que para el experto observador, por los aspectos generales del área o región, es fácil predecir si una determinada enfermedad puede estar ausente o presente.

Ese concepto se conoce como epidemiología. Cuando las enfermedades pertenecen a regiones determinadas como sabanas, montañas, desiertos, regiones tropicales, etc. se las denomina endémicas y pueden bajo determinadas circunstancias, aumentar rápidamente su incidencia constituyendo una epidemia.

Algunas enfermedades infecciosas pueden producirse en uno o más continentes, entonces estamos en presencia de una pandemia, por ejemplo, la peste bubónica en el siglo XIV registrada en Europa y en la actualidad el SIDA y el Ébola.

Las enfermedades que ocurren en los animales, se agrupan bajo la denominación general de zoonosis. Algunas en determinadas circunstancias son transmitidas de los animales al hombre, ya sea en forma directa o por intermedio de un vector. Se dice que es

un vector al organismo que se introduce en el hospedador. Los vectores son generalmente artrópodos, en su mayoría insectos hematófagos (se alimentan de sangre), que pican tanto al hombre como a los animales, ya estén sanos o enfermos. Estas enfermedades causadas por agentes, en cuyos ciclos de vida quedan involucrados al mismo tiempo los hombres y animales, se denominan antropozoonosis.

Actualmente se conocen más de 150 antropozoonosis, de las cuales más de la mitad causan problemas importantes para la salud de la población humana, particularmente en países cercanos al Ecuador.

### **Tipos de contaminación del agua**

*Agentes patógenos:* bacterias, virus, protozoos y parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos.

*Temperatura:* La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua más caliente.

Los niveles de oxígeno disuelto pueden variar entre 7 y 12 partes por millón (ppm o  $\text{mg L}^{-1}$ ).

Los niveles bajos de OD son frecuentes en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos (oxidación) y por lo tanto, disminuyen el contenido de oxígeno disuelto.

Las aguas residuales con temperaturas elevadas vertidas al medio ambiente, disminuyen el contenido del oxígeno en los ecosistemas acuáticos, haciendo a los componentes bióticos muy vulnerables.