

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FORMOSA



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

Calidad del Agua Potable

Ingeniería Sanitaria

Mg Ing. Guillermo Mendez

Basado en Apuntes de Ingeniería Sanitaria y
Ambiental (UNNE)

Agosto de 2018

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	FUENTES DE AGUA	3
3.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA	5
3.1.	Turbiedad	5
3.2.	Sólidos o residuos	6
3.3.	Color	8
3.4.	Olor y sabor	9
3.5.	Temperatura	9
3.6.	pH	10
4.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA	10
4.1.	Sustancias inorgánicas	10
	Nutrientes en las aguas	11
	Arsénico	14
	Acidez y Alcalinidad	17
	Dureza	17
	Conductividad	19
4.2.	Sustancias orgánicas	20
5.	ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL AGUA	21
5.1.	Organismos propios de las aguas superficiales	22
5.2.	Bacterias Patógenas	23
5.3.	Virus entéricos	24
5.4.	Enteroparásitos	25
5.5.	Helmintos enteropatógenos	26
5.6.	Cyanobacterias (algas azul-verdes)	27
5.7.	Indicadores microbiológicos de la calidad del agua	29
5.8.	Oxígeno Disuelto (OD)	30
5.9.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	31
5.10.	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	31
5.11.	Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV)	32
6.	CALIDAD DEL AGUA POTABLE	32
6.1.	Normas Vigentes en el País	33
7.	BIBLIOGRAFÍA	36

1. INTRODUCCIÓN

El agua se encuentra, en la naturaleza, en sus tres estados: i) gaseoso (vapor); líquido y sólido (hielo). Es a su vez, un elemento omnipresente en el planeta y, por tanto, está en contacto con un sin número de compuestos químicos y organismo biológicos, que le confieren gran variedad de características físicas – químicas y biológicas.

Como seres humanos, sabemos que el agua es el elemento vital para nuestra subsistencia. Nuestra afección de ella, no solo atañe a su ingesta, ya que es necesaria para el desarrollo de todas las actividades del hombre. Así, por ejemplo, la agricultura necesita de agua para regar los cultivos, la industria textil necesita del agua para el teñido de las telas y el posterior lavado de las prendas, el turismo necesita del agua para los balnearios, etc. Cada actividad requiere un tipo de calidad de agua distinto.

Por tanto, el término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia 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.

En este documento se desarrolla en forma resumida diferentes criterios que evalúan las características físicas, químicas y biológicas del agua, citadas aquí como calidad de aguas. El lector entenderá que, en virtud del carácter iniciático del curso, lo aquí desarrollado no puede abarcar la totalidad de la temática, tocándose solo los puntos más básicos en la materia o los más frecuentes en la región donde vivimos.

2. FUENTES DE AGUA

Las fuentes del agua en la naturaleza son muy diferentes y su forma de clasificación puede ser detallada de la siguiente manera:

- Aguas Superficiales: es captada en la superficie de la tierra de ríos, arroyos, lagos y/o lagunas.

- Aguas subterránea: se capta de perforaciones o pozos de acuíferos o de napas subterráneas.
- Agua atmosférica: se capta de la recolección de agua de lluvia o nieve.

La variabilidad de la calidad del agua puede ser explicada en función de la fuente explotada, dado que, la misma está directamente relacionada a los procesos que propiciaron su puesta en el lugar de captación y su asociación con elementos comunes del medio en que se encuentra.

En efecto, el ciclo hidrológico moviliza al agua en sus diferentes estados y en todos los confines del planeta. Cuando el agua, en su estado líquido escurre por ríos o arroyos, es capaz de erosionar el suelo donde se desarrolla, incorporando en su marcha partículas en suspensión que le confieren una mayor turbidez y por tanto modificando sus propiedades físicas. A su vez, cuando las aguas están quietas en lagunas, lagos o estuarios, la tendencia es a la sedimentación observándose una reducción de su turbidez.

Por otro lado, el agua es un solvente natural. Esto provoca que, al estar en contacto con diferentes compuestos minerales, disuelva sus sales presentes en los mismos. Es por ello, que es muy difícil encontrar en la naturaleza al agua en su estado puro (H_2O) sino que presenta distintas concentraciones de ácidos, óxidos, sales y/o minerales. A su vez esto le confiere al agua acidez o alcalinización registrado en su pH. De nuevo la composición mineralógica y el pH del agua dependerán de su fuente. Así, un granjero ubicado unos kilómetros distantes de una gran metrópolis, si decidiera captar agua de lluvia para sus animales, es posible que la misma presente valores de pH bajos (por debajo de 6) dado por la presencia de ácido carbónico (H_2CO_3) producto de la asociación de esta con el dióxido de carbono (C_2O). Ahora, si el mismo granjero decidiera captar agua subterránea, puede ocurrir que esa agua presente valores de Ph altos (por encima de 8) por la asociación del agua con carbonato de calcio ($CaCO_3$).

El agua, en su estado líquido es un medio de vida, para innumerables entidades biológicas, cuya actividad puede ser perniciosa para quien la ingiere. Algunos de estos organismos necesitan del oxígeno para vivir (organismos aerobios), otros no pueden subsistir con la presencia del mismo (anaeróbicos). La presencia de organismos en el agua está asociada directamente a la fuente que se capta. Así, es posible encontrar bacterias coliformes en lagos ubicados en zonas urbanas, propiciado esto por los vertidos pluvio-cloacales, sin embargo, si esa misma urbe captara agua

subterránea de estratos muy profundos (por ejemplo a 1000 m) no encontraría presencia de tales organismos dado que necesitan de una pequeña porción de oxígeno para vivir.

Por último, si la calidad del agua está relacionada a los procesos que propiciaron su puesta en el lugar de captación y su asociación con elementos comunes del medio en que se encuentra, es posible que estos cambien y, por tanto, una misma fuente puede presentar una calidad de agua variable en el tiempo.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA

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

3.1.Turbiedad

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 Figura 1 muestra la distribución de las partículas en el agua de acuerdo con su tamaño.

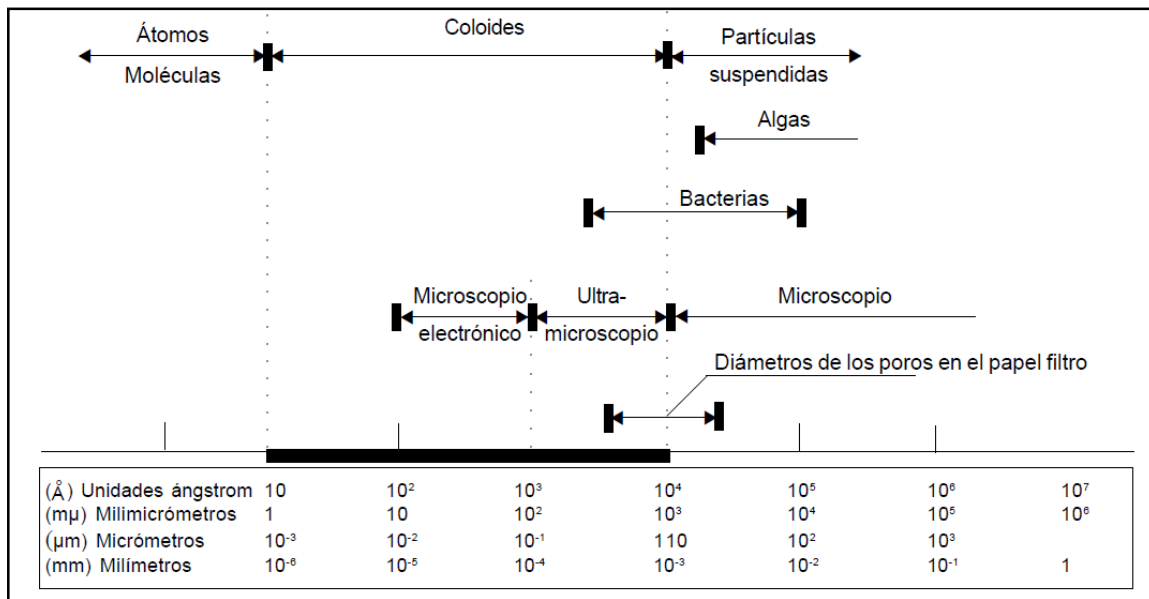


Figura 1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua (OPS, 2004)

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

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, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro dado que protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante.

3.2.Sólidos o residuos

El agua en la naturaleza no se encuentra pura, esta contiene una serie de sustancias que han sido recogidas a través de su ciclo natural. Una forma de determinar el contenido de estas sustancias presentes en el agua es a través de la determinación del *residuo seco* o *residuo sólido*.

El término *residuo total* o *sólidos totales* (ST) es todo residuo que queda después de la evaporación y secado de un volumen determinado de agua a la temperatura de 103 °C.

Existen varias clasificaciones de los sólidos dadas a partir de sus principales características. Una clasificación de los sólidos es su división en sedimentables y no sedimentables. Los sólidos

sedimentables se determinan en un ensayo de laboratorio usando un cono Imhoff (Figuras 2 y 3), el cual presenta una capacidad de 1 litro, en el mismo se vierte la muestra de agua previamente agitada y se deja sedimentar durante un período de 1 hora, el resultado se da en ml de sólidos sedimentados por litro de agua (ml/l).



Figura 2. Ensayo de sedimentación con conos Imhoff a las 2,5h de iniciado. Río Bermejo (Mendez, 2008)



Figura 3. Sólidos sedimentados en conos Imhoff a las 2,5h de iniciado. Río Bermejo (Mendez, 2008)

Otra clasificación divide en sólidos disueltos, coloidales y suspendidos. Sin embargo, en la práctica se utilizan dos grandes grupos: los *sólidos disueltos* (SD) y los *sólidos suspendidos* (SS).

Los *sólidos suspendidos* son los que tienen partículas superiores a un $1\ \mu\text{m}$ y son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

Los *sólidos disueltos* son partículas inferiores a $1\ \mu\text{m}$ que comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración. Por tanto, se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

Una tercera clasificación es atendiendo a las características químicas de los sólidos en volátiles y no volátiles (o fijos). Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a $550\ ^\circ\text{C}$, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica ya que la materia orgánica a la temperatura de $550\ ^\circ\text{C}$ se oxida y volatiliza a CO_2 y H_2O . Sin embargo, este criterio no es totalmente cierto ya que a esa temperatura también algunas sales minerales pueden

descomponerse y volatilizase por lo que la pérdida en peso puede incluir también la pérdida de estas sustancias inorgánicas.

3.3.Color

El color es una propiedad organoléptica¹. El agua, en ocasiones, en la naturaleza aparece coloreada. El color que presentan las aguas puede ser de dos tipos:

- *Color verdadero*: Es el color del agua causado por sustancias coloidales o disueltas que permanece después que ésta se ha filtrado a través de un filtro de 0,45 µm.
- *Color aparente*: Se debe a la presencia de materias en suspensión.

El color en el agua es producido por la presencia de sustancias minerales disueltas, colorantes o ácidos húmicos proveniente de la descomposición de las plantas. Como ejemplo de color producido por sustancias inorgánicas se tiene el caso de las sales de cobre que le dan al agua una coloración verdosa, mientras que las sales de hierro aportan un color entre amarillo y rojo.

La escala de color más utilizada, en aguas residuales, para determinar su intensidad es la denominada Platino – Cobalto (Pt/Co o UPC), que consiste en comparar la muestra de agua con otra de agua con concentraciones diferentes de una solución con *cloruro de cobalto* y *cloroplatinato de potasio*. A mayor concentración del soluto mayor intensidad de color y por, tanto un valor mayor de UPC. El soluto mencionado se utiliza para tonos amarillos, en tanto que para azules y grises se recurre a otras variantes.

Estéticamente un agua coloreada no es aceptada, incluso si se da a elegir, muchas personas seleccionan un agua no coloreada de calidad dudosa frente a un agua potable pero con color. Según la OMS, la mayoría de las personas puede detectar el color en sustancias con 15 UPC como mínimo de color verdadero.

¹ Las **propiedades organolépticas** son todas aquellas descripciones de las características físicas según las pueden percibir los sentidos.

3.4. Olor y sabor

El olor y el sabor son sensaciones que están íntimamente relacionadas, pues las papilas linguales y los órganos olfatorios detectan estímulos similares y complementarios.

Los olores en las aguas se deben, fundamentalmente, a la presencia de gases disueltos. El olor en el agua es eliminado, generalmente, por aireación de la misma. Los olores de las aguas pueden tener orígenes muy diversos, entre ellos se pueden señalar:

- *Gases orgánicos disueltos.*
- *Presencia de algas y otros organismos microscópicos que producen aceites esenciales y otros compuestos con olor.*
- *Materia orgánica en descomposición.*
- *Residuales industriales, particularmente fenoles y demás derivados de la destilación de petróleo.*
- *Cloro y sus derivados.*

El sabor es una determinación que no siempre se realiza, sobre todo cuando se desconoce la procedencia o contenido del agua que se analiza. Los sabores son cuatro: dulce; amargo; ácido y salado. **Todo lo demás, que a veces identificamos como sabor, en realidad son olores.**

El parámetro más usado para determinar la concentración de olor y de sabor es el *número detectable de olor o de sabor* (ND) que se obtiene de la Ecuación 1.

$$ND = \frac{A}{A+B} \quad [1]$$

Donde:

A: volumen de agua cruda (con olor o sabor).

B: volumen de agua destilada.

3.5. 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.

La temperatura no es parámetro utilizado para evaluar la potabilidad de un agua, sin embargo, El agua fresca es generalmente más agradable que el agua caliente

3.6.pH

El pH influye en fenómenos como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0.. 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.

4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA

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.

Las características químicas del agua se pueden dividir en dos grandes grupos:

- *Sustancias inorgánicas.*
- *Sustancias orgánicas.*

4.1.Sustancias inorgánicas

En las aguas naturales se encuentran presente iones disueltos, siendo los constituyentes más comunes de la mayoría de las aguas los indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Iones más comunes presentes en el agua

Cationes	Aniones
Calcio (Ca^{2+})	Bicarbonato (HCO_3^-)
Magnesio (Mg^{2+})	Sulfato (SO_4^{2-})
Sodio (Na^+)	Cloruro (Cl.)

Potasio (K^+)	
-------------------	--

Las especies iónicas presentes derivan del contacto del agua con diversos depósitos minerales. Las especies más abundantes son los bicarbonatos, sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y sodio. La distribución de estas especies varía con la localización geográfica y el tiempo de residencia de las aguas.

Cuando se realiza el análisis del agua, normalmente se determinan estos constituyentes y como todas las aguas deben ser eléctricamente neutras puede deducirse que el número de cargas positivas sea igual al número de cargas negativas (Ecuación 2).

$$\text{Ó (mmol eq/l cargas +)} = \text{Ó (mmol eq/l cargas-)} \quad [2]$$

También se pueden encontrar otros iones pero en general estas especies son minoritarias y se encuentran en concentraciones muy bajas, algunas de ellas se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Iones más comunes presentes en el agua

Cationes	Aniones
Aluminio (Al^{3+})	Carbonatos (CO_3^{2-})
Amonio (NH_4^+)	Fluoruros (F^-)
Cobre (Cu^+)	Hidroxilos (OH^-)
Hierro (Fe^{2+})	Sulfuros (S^{2-})
Manganeso (Mn^{2+})	Fosfato (PO_4^{3-})
	Sulfito (SO_3^{2-})

Nutrientes en las aguas

El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son dos constituyentes esenciales para el crecimiento de los microorganismos, las plantas y los animales, de aquí que se les conozca como nutrientes o bioestimuladores.

El nitrógeno es un elemento químico complejo que puede encontrarse en la naturaleza en 7 estados de oxidación. Desde el punto de vista de la calidad del agua los compuestos nitrogenados más importantes son:

- *el nitrógeno orgánico,*
- *amoníaco* (NH_3),
- nitrito (NO^{2-}),
- nitrato (NO^{3-}),
- la urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] y
- el gas nitrógeno (N_2).

En la naturaleza el nitrógeno es reciclado entre sus formas orgánicas e inorgánicas (ciclo del nitrógeno, Figura 4). Las bacterias y las plantas son las que producen proteínas (compuestos orgánicos que contienen nitrógeno) a partir de varias formas de nitrógeno inorgánico: NH_3 , N_2 y NO_3 . Los animales no son capaces de utilizar el nitrógeno de la atmósfera o de los compuestos inorgánicos para producir sus proteínas, sino que deben obtenerlo de su entorno en forma de nitrógeno orgánico.

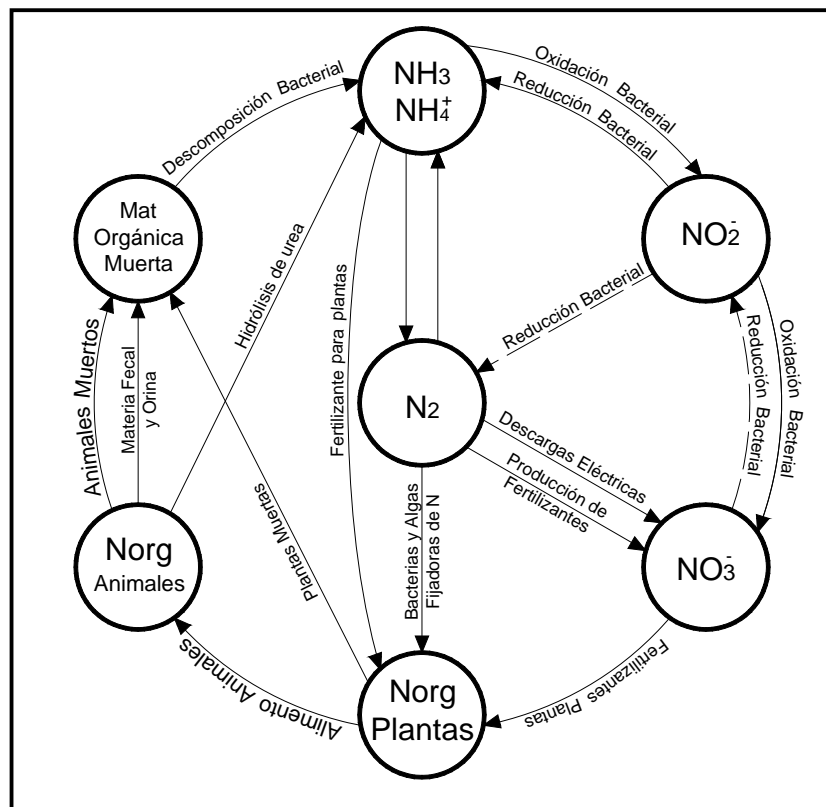


Figura 4. Ciclo del Nitrógeno (Rojas, 1999)

La contaminación por nitrato de las aguas para el consumo es un grave peligro. Los nitratos pueden alcanzar las aguas subterráneas, bien en forma progresiva por la percolación de aguas de riego o de forma súbita por la combinación del abonado de las tierras y lluvias. Tales hechos pueden provocar que estas aguas presenten niveles de nitratos inadecuados para la bebida. En adultos con débil acidez gástrica, las aguas con más de 90 mg/l de ión nitrato tienen efectos cancerígenos y mutagénicos. En el caso de niños lactantes que sean alimentados con mamaderas preparadas con aguas que contengan más de 50 mg/l de nitratos el peligro es aún mayor, pues puede provocar la enfermedad conocida como *Betahemoglobinemia* y producirse la muerte por *cianosis*.

Los compuestos de fósforo se utilizan para el control de la corrosión en los sistemas de suministro de agua y en las industrias en los sistemas de enfriamiento. Los detergentes son otra fuente de fósforo, de aquí el peligro del vertimiento de aguas residuales.

Desde el punto de vista ambiental, el mayor peligro de la presencia de los nutrientes, nitrógeno y fósforo, en el medio acuático es la eutrofización².

Arsénico

El arsénico está ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre. El consumo de agua con arsénico afecta significativamente a la salud. Es tóxico porque interfiere directamente con la respiración celular.

Las concentraciones de arsénico en el agua pueden presentar estados de oxidación pentavalente (As^{+5}) o trivalente (As^{+3}). En presencia de oxígeno, el arsénico está predominantemente como pentavalente, mientras que en condiciones reductoras, particularmente en aguas profundas el arsénico predomina como trivalente. El arsénico trivalente es más tóxico que el arsénico pentavalente (de 3 a 20 veces más tóxico)³.

En estado mineral el As es soluble en agua, tanto más cuanto mayor es la alcalinidad de la misma.

Una gran porción de las aguas subterráneas de la República Argentina presenta concentraciones altas de As (Figura 5), que se traduce en uno de los riesgos sanitarios más tangibles de la Nación. Según el Ministerio de Salud de la Nación, en el año 2000 se estimaba que más de dos millones de personas en Argentina estaban potencialmente expuestas a la ingestión de aguas con más de 50 ppb de arsénico.

² La **eutrofización** es el proceso de enriquecimiento con nutrientes en un cuerpo de agua, con el concomitante aumento de la materia orgánica, principalmente algas (Mihelcic, 2008).

³ Además de los estados pentavalente o trivalente, el arsénico puede existir en estado As^0 o As^{-3} , pero es muy rara su presencia en ambientes acuáticos.

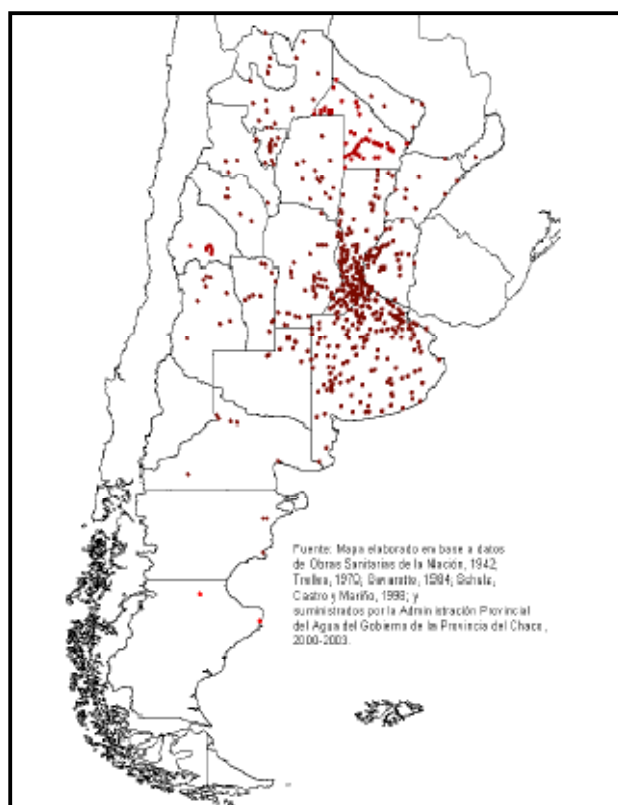
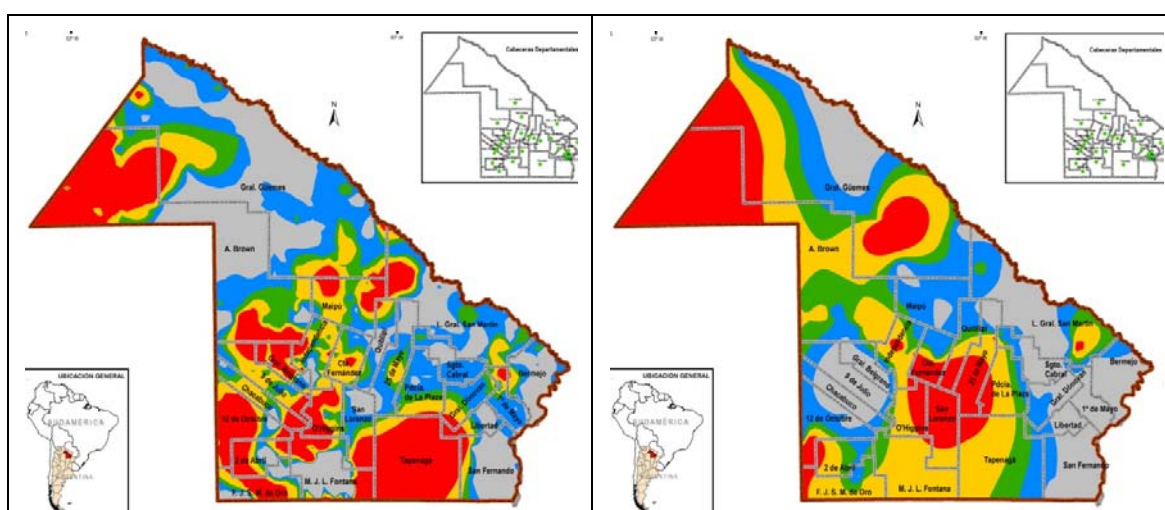
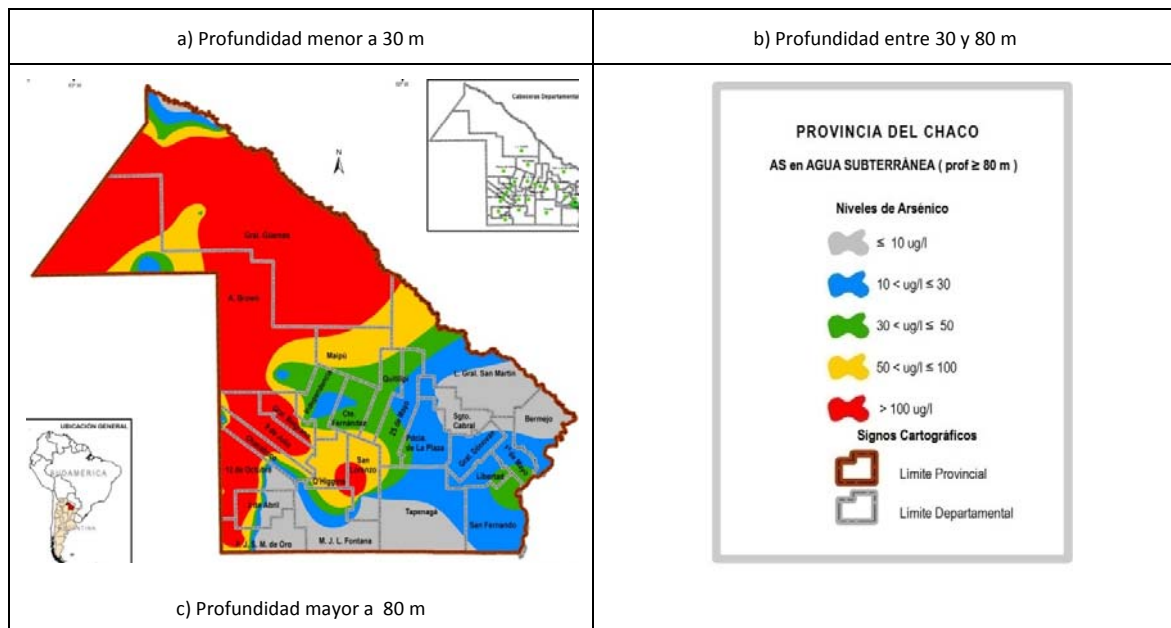


Figura 5. Localización de muestras con concentraciones de Arsénico en aguas subterráneas > 40 ppb (Ministerio de Salud de la Nación, 2011)⁴

Una de las zonas más afectadas es la provincia del Chaco, donde es común encontrar agua subterránea con altas concentraciones de Arsénico, tal como puede verse en la Figura 6.



⁴ Ministerio de Salud de la Nación. 2011. Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico HACRE: Módulo de Capacitación. García, Susana Isabel - 1a ed. - Buenos Aires. Programa Nacional de Prevención y Control de las Intoxicaciones.



El sistema gastrointestinal del ser humano puede absorber, en promedio, el 80% del arsénico bebido; esta cantidad es variable según algunas características del compuesto y del individuo.

Las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con arsénico pueden ser agudas⁷ o crónicas. Las manifestaciones crónicas son, desde el punto de vista epidemiológico, las más importantes porque son las que más frecuentemente, se observan en poblaciones que consumen agua con concentraciones de arsénico nocivas durante años. Estas manifestaciones pueden ser: i) lesiones en la piel (ulceraciones simétricas, hiperqueratosis⁸ e hiperpigmentación⁹); ii) lesiones de mucosas (necrosis y ulceración de la córnea, irritación de las mucosas del aparato respiratorio y perforación del tabique nasal en su porción cartilaginosa); iii) lesiones en el sistema nervioso (neuritis periférica¹⁰) y iv) efectos carcinogénicos (cáncer de piel, de riñón, de vejiga y de pulmón).

⁵ Consejo Federal de Inversiones. 2016. Estudio "Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la Provincia del Chaco".

⁶ El estudio contó con un registro insuficiente en zonas del sudeste de la provincia del Chaco, por lo que las concentraciones indicadas en esa zona pueden no ser precisas.

⁷ Hasta mediados de siglo XIX el arsénico era muy usado como veneno para asesinatos o suicidios.

⁸ La hiperqueratosis es un engrosamiento de la capa externa de la piel que contiene una proteína resistente y protectora, llamada queratina. Un ejemplo de hiperqueratosis son los callos.

⁹ La hiperpigmentación es el oscurecimiento de un área de la piel, causada por el aumento de melanina (un ejemplo son las pecas).

¹⁰ La neuritis periférica es el daño al sistema nervioso periférico (el cerebro y la médula espinal componen el sistema nervioso central) y puede causar adormecimiento y dolor en las extremidades.

El Código Alimentario Argentino ha establecido concentraciones máximas de Arsénico en agua potable de 0,01 mg/l. Este valor aún es materia de discusión dado que, si bien existen algunos elementos de juicio que indican la existencia de un posible riesgo ante esas concentraciones, la información disponible sobre los efectos en la salud es aun limitada¹¹.

Acidez y Alcalinidad

La *acidez* de un agua se define como la capacidad que tiene esta de neutralizar las bases fuertes. La fuente y naturaleza de la acidez de un agua se debe a la presencia de CO₂ y ácidos minerales fuertes.

Por el contrario, la *alcalinidad* es la característica que tiene un agua de neutralizar los ácidos fuertes. Se debe, principalmente, a las sales de los ácidos débiles, aunque las base fuertes y débiles también pueden contribuir. Los bicarbonatos representan la mayor forma de alcalinidad ya que ellos se forman en considerable cantidades por la acción del CO₂ sobre los materiales básicos del suelo como es el caso de la caliza (CaCO₃). Otras sales de ácidos débiles como son: borato, silicato, fosfato etc, pueden también estar presente pero en pequeñas cantidades.

Dureza

Se llaman aguas duras¹² a aquellas que tienen la característica de precipitar a los jabones y de producir incrustaciones en las tuberías que conducen agua caliente.

La dureza del agua se debe a la presencia de cationes con valencia de +2 o superiores, que son capaces de reaccionar con los jabones para formar precipitado y con ciertos aniones presentes en las aguas forman las incrustaciones. En la práctica por simplicidad, la dureza es considerada como la disolución en agua de cationes calcio y magnesio, independientemente de los aniones

¹¹ La OMS (2011) indica que según relevamientos realizados en Estados Unidos en poblaciones expuestas a consumo de aguas con concentraciones de 0,01 mg/l de arsénico, el riesgo de contraer cáncer de vejiga o pulmón es, respectivamente, de 12 y 18 por 10.000 en mujeres y 23 y 14 por 10.000 en hombres. Paralelamente la OMS agrega que es muy difícil remover concentraciones de arsénico por debajo de 0,01 mg/l, sobre todo en poblaciones pequeñas.

¹² La *dureza* es un término antiguo y cuyo origen se deriva del uso doméstico del agua para lavar. En aquellos tiempos se observó, que algunas aguas resultaban "*duras para realizar el lavado de la ropa*" porque necesitaban más jabón para producir espuma. El caso contrario se presentaba, cuando se usaba agua de lluvia para lavar; esta producía más espuma y se denominaba agua suave.

presentes. Su forma de expresión más conocida y usada es en ppm de carbonato de calcio (CaCO_3).

Las aguas pueden clasificarse de acuerdo con su contenido de dureza en aguas blandas, ligeramente duras, moderadamente duras y aguas duras. La Tabla 3 muestra esta clasificación.

Tabla 3. Iones más comunes presentes en el agua

Dureza Total (ppm como CaCO_3)	Clasificación
< 50	Blanda
50 - 100	Ligeramente dura
101 - 200	Moderadamente dura
> 200	Dura

Existen diferentes tipos de dureza y los cuales se definen a continuación:

- **Dureza total (Dt):** se refiere a la concentración de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua.
- **Dureza cálcica (Dca):** representa la concentración de sales de calcio disueltos en el agua.
- **Dureza magnésica (DMg):** representa la concentración de sales de magnesio disueltos en el agua.

- **Dureza carbonatada o temporal:** se refiere específicamente a la dureza producida por los aniones bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio. Si la alcalinidad total excede la dureza total, toda la dureza es del tipo carbonatada (figura 7).
- **Dureza no carbonatada o permanente:** es la producida por las sales de cloruro, sulfato y nitrito de calcio y magnesio. Cuando la dureza total excede la alcalinidad total, la dureza es del tipo carbonatada y no carbonatada (figura 8).

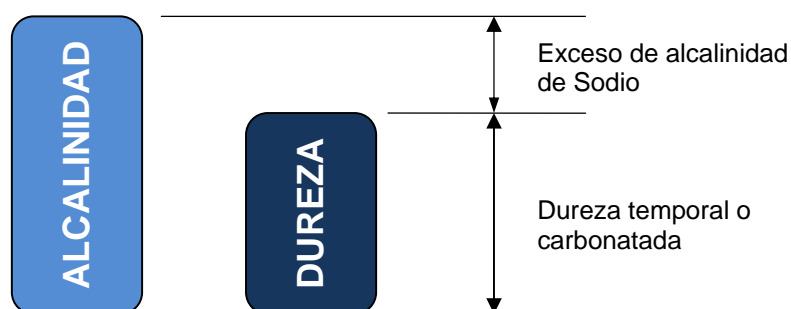


Figura 7. Alcalinidad excede a la dureza

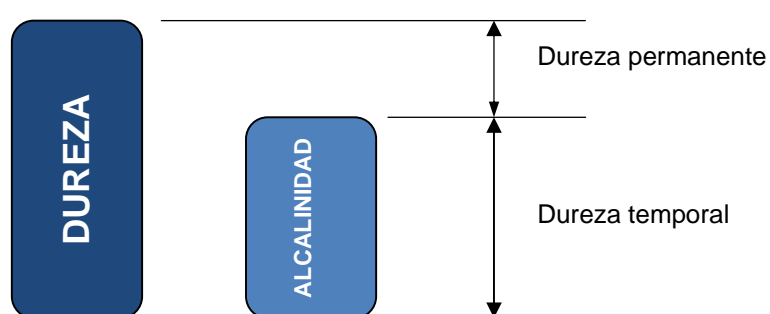


Figura 8. Alcalinidad excede a la dureza

Conductividad

La conductividad de una disolución es una medida de la capacidad de esa solución para conducir la corriente eléctrica.

En una disolución acuosa la conducción de la corriente eléctrica se efectúa por intermedio de los iones disociados en la misma, al marchar hacia los electrodos, ánodo o cátodo, según la carga del ión. Por tanto se desprende dos conclusiones:

- ***El agua destilada, no contiene electrolitos, no es conductora de electricidad***
- ***La conductividad (CE) es proporcional a la concentración de sólidos disueltos totales (SDT).***

Estos valores de relación SDT-CE no pueden ser estandarizados y variarán de una muestra de agua a otra, por lo que los valores citados son sólo orientativos. El ENOHSa (2001) propone una aproximación válida de la cantidad de sales disueltas para soluciones de bajo contenido de iones se detalla en la Ecuación 3 (ENOHSa, 2001) :

$$SDT(mg/l) = 0,5 \cdot CE(\mu S/cm) \quad [3]$$

Sin embargo, a medida que la solución se vuelve más concentrada ($SDT > 1000 mg/l$), la proximidad en la solución de los iones entre sí reduce su actividad y, consecuentemente, su capacidad para transmitir corriente. Por tanto la relación se incrementa y la relación de SDT-CE (Ecuación 4).

$$SDT(mg/l) = 0,9 \cdot CE(\mu S/cm) \quad [4]$$

4.2.Sustancias orgánicas

La mayor parte de los compuestos orgánicos están formados por solo cuatro elementos C,H,O,N; en el caso de los organismos vivos en la materia orgánica de estos también se encuentran los elementos S y P, además de otros microelementos entre los que se encuentran Fe, K, Na, Ca, Mg, Mn, Cl, Si etc.

La mayor parte de la materia orgánica que aparece en las aguas es de origen natural y es producida por las plantas y los animales. Sin embargo, en la actualidad se producen más de 1.8 millones de compuestos orgánicos sintéticos de los cuales una parte podría ir a parar a las aguas residuales y contaminar las aguas naturales.

La presencia de materia orgánica en las aguas causa problemas en las mismas, tales como:

- Dan color a las aguas.
- Problemas de sabor y olor.
- Disminución del oxígeno disuelto.

- Interferencia con los tratamientos de las aguas.
- Formación de compuestos halogenados cuando se añade cloro para la desinfección del agua.

Las sustancias orgánicas presentes en las aguas se descomponen o degradan biológicamente en el seno de éstas. El proceso de descomposición de la materia orgánica, en el agua, no es el mismo para todas las sustancias orgánicas, hay ciertas sustancias en las que el proceso de degradación se produce casi completamente llevándose a cabo relativamente rápido; mientras que para otras sustancias orgánicas el proceso de descomposición es muy lento no descomponiéndose éstas del todo.

La degradación biológica de la materia orgánica en las aguas puede llevarse a cabo por dos vías:

- En presencia de oxígeno disuelto (Proceso aerobio).
- Sin la presencia de oxígeno disuelto (Proceso anaerobio).

5. ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL AGUA

Las aguas superficiales están expuestas a una amplia gama de factores que pueden alterar su calidad biológica. Esta alteración se puede originar en eventos naturales o en actividades antropogénicas, como el uso doméstico del agua y la consiguiente producción de aguas residuales, de la industria, minería y agricultura, entre otras. Unas de las fuentes más comunes de contaminación de aguas naturales son las siguientes:

- Vertido de aguas cloacales sin tratar.
- Arrastre provenientes de criadero intensivo de animales
- Lixiviados de rellenos sanitarios.
- Desagües pluvial urbanos e inundaciones.

Los agentes patógenos y los organismos productores de toxinas que pueden estar presentes en aguas superficiales y cuya transmisión hídrica está demostrada pertenecen a los grupos indicados en la Tabla 4.

Tabla 4. Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales

Bacterias	<i>Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Yersinia enterocolítica, Campylobacter jejuni.</i>
Virus	<i>Enterovirus, Rotavirus, Adenovirus</i>
Protozoos	<i>Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba histolytica, Balantidium coli.</i>
Helmintos	<i>Ascaris, Trichuris, Taenia</i>
Cyanobacterias	<i>Anabaena, Microcystis</i>

5.1.Organismos propios de las aguas superficiales

En las aguas superficiales se encuentra una amplia gama de organismos no perceptibles a simple vista. En condiciones normales, estos organismos permiten el desarrollo de los ciclos biológicos y químicos en el cuerpo de agua y no son necesariamente nocivos para la salud o para el tratamiento del agua.

Los organismos que en forma normal se encuentran en las aguas superficiales son los siguientes:

- i) Algas. Son plantas de organización sencilla, fotosintéticas. Presentan clorofila. Existen en formas unicelulares, coloniales y pluricelulares. La clasificación sanitaria de las algas está basada en sus características más saltantes y de fácil observación. Dicha clasificación considera los siguientes grupos: algas azul-verdes, algas verdes, diatomeas y algas flageladas.

El incremento anormal de las algas se produce por el exceso de nutrientes y cambios en la temperatura. Este fenómeno se conoce como *eutrofización o eutroficación* y tiene como consecuencia múltiples dificultades en el tratamiento y la desinfección del agua por la producción de trihalometanos y otras sustancias químicas que alteran el sabor y el olor del agua tratada.

Cuando las algas traspasan ciertos valores por unidad de volumen, pueden causar los siguientes problemas: 1) Sabor y olor a pescado, tierra y pasto, entre otros; 2) color verde (algas clorófitas) rojo (*Oscillatoria rubens*). 3) corrosión en las piezas o tubos de concreto armado y en los tubos de acero expuestos a la luz. 4) obstrucción de filtros. 5) dificultad en la decantación química; 6) alteración del pH.

- ii) Bacterias. Son seres unicelulares. Se distribuyen en una amplia variedad de sustratos orgánicos (suelo, agua, polvo atmosférico). La mayor parte favorecen la autodepuración de los cuerpos de agua. Existe otro grupo de bacterias que son patógenas y que pueden causar enfermedades graves en el hombre y en los animales.
- iii) Protozoarios. La mayor parte de los protozoarios son beneficiosos, *aunque algunas especies son parásitos*.
- iv) Rotíferos, Copépodos y otros Crustáceos. Conforman los grupos predominantes del zooplancton de aguas superficiales y, al igual que los protozoarios, participan en la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos. El incremento anormal del zooplancton tiene consecuencias negativas como la disminución del oxígeno disuelto.
- v) Insectos. El agua constituye el hábitat de diversos insectos que desarrollan todo o parte de su ciclo evolutivo en los diferentes estratos de la columna de agua.

5.2. Bacterias Patógenas

Las bacterias son microorganismos unicelulares. Miden desde menos de un micrómetro hasta diez micrómetros de longitud y de 0,2 a un micrómetro de ancho. Hay algunas que tienen forma de bacilos como la *Escherichia coli*. Otras son esféricas, llamadas cocos, y otras espirales. Las bacterias se encuentran cubiertas por una pared celular fuerte y rígida y están provistas de una cápsula viscosa que representa una capa protectora adicional, lo que permite su supervivencia en el ambiente, según las condiciones ambientales, durante varias horas o días.

Las bacterias patógenas de transmisión hídrica provienen de seres humanos y de animales de sangre caliente. Estos agentes microbianos llegan a los cursos de agua a través de las descargas de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente.

Las bacterias patógenas que tienen un alto significado para la salud son el *Vibrio cholerae*, la *Escherichia coli* enteropatogénica, la *Salmonella typhi*, la *Shigella*, el *Campylobacter jejune* y la *Yersinia enterocolitica*, todas ellas transmitidas por vía oral.

Uno de los factores que permiten la transmisión hídrica son: i) el número de bacterias que elimina un individuo enfermo; ii) el tiempo de supervivencia en agua y iii) la dosis efectiva¹³. En la Tabla 5.

Tabla 5. Factores de transmisión de las bacterias patógenas mas importante

Bacteria	Nº eliminado por individuo enfermo	Tiempo de supervivencia	Dosis infectiva
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁸ por g de hez	90 días	10 ² a 10 ⁹
<i>Salmonella</i>	10 ⁶ por g de hez	90 días	10 ⁷
<i>Campylobacter</i>	10 ⁷ por g de hez	7 días	
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ⁶ por g de hez	30 días	10 ³

5.3.Virus entéricos

Los virus son moléculas de ácido nucleico que pueden penetrar en las células y replicarse en ellas. Son acelulares y están constituidos por ácido nucleico y por proteínas.

Los virus entéricos se multiplican en el intestino del hombre y son excretados en gran número en las heces de los individuos infectados.

La incidencia de los virus que infectan al hombre, tanto en los ambientes acuáticos como en los procesos de tratamiento, puede ser diferente de la incidencia de los indicadores fecales. Este comportamiento se debe a las siguientes razones:

¹³ La **Dosis infectiva** es el número de microorganismos necesarios para producir infección.

El número de virus en los ambientes acuáticos es generalmente inferior, en varios órdenes de magnitud, que los coliformes termotolerantes.

- Los virus son excretados durante periodos cortos y en número elevado, hasta 10^{12} por gramo de heces.
- La estructura, la composición, la morfología y el tamaño de los virus difiere fundamentalmente del de las bacterias, lo que determina que el comportamiento y la supervivencia sean diferentes.

5.4. Enteroparásitos

Los enteroparásitos, son aquellos parásitos que se pueden encontrar en el intestino de su huésped y pueden ser protozoos o helmintos los que pueden ser patógenos o comensales

Las aguas superficiales están expuestas a la contaminación protozoos del tipo parasitario entre las especies que mas dolencias generan a las poblaciones humanas se encuentran: la *Giardia* (en estado de quiste¹⁴), la *Cryptosporidium* (en estado de ooquistes) y la *Entamoeba histolítica*. En la Tabla 6 se detalla una breve descripción de los mismos.

Tabla 6. Enteroparásitos mas difundidos en el mundo

Enteroparásito	Enfermedad	Descripción	Sintomas
<i>Giardia</i>	Giardiasis	Protozoos flagelados que parasitan el intestino de los seres humanos. Poseen un estado reproductivo de trofozoito y un estado quístico de resistencia ante condiciones del medio ambiente. Una vez que los quistes son ingeridos por un huésped sensible, se disuelve la envoltura quística y se liberan los trofozoitos que se reproducen y se adhieren a las paredes del intestino	Diarrea, flatulencia, fatiga, anorexia, náuseas pérdidas de peso y vómitos. La infección en los niños puede interferir con el crecimiento y el desarrollo normal.
<i>Cryptosporidium</i>		Parásito coccideo intracelular del tracto gastrointestinal y del tracto respiratorio de numerosos animales. Al igual que en la <i>Giardia</i> , la infección ocurre por la ingestión de la fase infectiva que en este caso está constituida por los ooquistes.	Trastornos gastrointestinales acompañados de enfermedades semejantes a la gripe, vómitos, anorexia y flatulencia. Puede causar la muerte en pacientes con inmunodeficiencia.
<i>Entamoeba histolítica</i>	Gastroenteritis	La infección se produce por la ingestión de los quistes cuyo tamaño oscila entre 10 a 20 micras.	Puede variar entre una diarrea débil a una disentería fulminante

¹⁴ Los quistes y los ooquistes son estadios evolutivos de los protozoarios que se caracterizan por tener una membrana protectora sumamente resistente a los factores ambientales. El trofozoito es un estadio de los protozoarios; es vegetativo, se reproduce en el huésped y no es resistente a los factores ambientales.

Los quistes de *Giardia* y los ooquistes de *Cryptosporidium* son extremadamente resistentes al cloro y demás desinfectantes en las concentraciones que comúnmente se usan en la desinfección del agua.

Además, al menor incremento de la turbiedad en el agua tratada, aumenta el riesgo de transportar partículas con las mismas dimensiones de la *Giardia* y el *Cryptosporidium*. Aguas con turbiedad de 0,7 UNT pueden indicar la presencia de quistes.

5.5. Helmintos enteropatógenos

Los helmintos son animales invertebrados, vermiformes, a los que comúnmente se les denomina gusanos. En las aguas superficiales se pueden presentar huevos de dos grupos de helmintos: Nematodos (gusanos redondeados) y Platelmintos (gusanos planos). En el agua pueden estar presentes otros tipos de helmintos patógenos, pero su transmisión no ocurre a través del agua de bebida.

Entre los Nematodos se encuentra el *Ascaris lumbricoides*, que es el agente etiológico de la Ascariasis. El hombre se infecta con este helminto al ingerir agua y verduras contaminadas con huevos de *Ascaris*. En el organismo humano cumplen un complicado mecanismo de desarrollo hasta que los adultos se instalan en el intestino delgado. Las infestaciones masivas pueden causar síndrome de mala absorción con alteraciones en la absorción de grasas, proteínas e hidratos de carbono. En otros individuos se presentan cuadros de hipersensibilidad.

Entre los Platelmintos se encuentra la *Taenia solium*, que es el agente etiológico de la *Teniasis* y la *Cisticercosis*.

El espécimen adulto mide de 3 a 5 metros de longitud. El hombre se infecta al ingerir carne de cerdo mal cocida, pero también puede contaminarse con la ingestión de huevos de *Taenia solium* y adquirir la enfermedad llamada cisticercosis. Es esta forma la que puede ser transmitida por el agua de bebida.

Una vez en el intestino, el embrión penetra en la mucosa intestinal, cae a los vasos sanguíneos y es conducido por la sangre a varios órganos. Los cisticercos se pueden ubicar, en el hombre, en el tejido celular subcutáneo, en la musculatura esquelética, en el sistema nervioso central y sus anexos, en el corazón, el hígado, el pulmón, etcétera.

Los daños que causa una cisticercosis dependen del órgano afectado y de otros factores propios de la parasitosis. Cualquiera que sea su localización, los signos y los síntomas de la cisticercosis son los de un tumor que afecta al órgano comprometido.

5.6.Cyanobacterias (algas azul-verdes)

Las cyanobacterias o cianofíceas (algas azules) son bacterias aerobias fotoautotróficas. Sus procesos vitales requieren solamente agua, dióxido de carbono, sustancias inorgánicas y luz. La fotosíntesis es su principal modo de obtención de energía para el metabolismo.

Algunas especies de cyanobacterias tienen la capacidad de producir metabolitos secundarios (compuestos orgánicos que no están directamente involucrados en los procesos de crecimiento, desarrollo y reproducción de los organismos) que dan gusto y olor desagradables al agua, además de poderosas toxinas (llamadas cianotoxinas).

Las cianotoxinas son clasificadas, de acuerdo con sus mecanismos de acción, en tres grupos: i) neurotoxinas, ii) hepatoxinas y iii) dermatoxinas. Las neurotoxinas actúan en el sistema nervioso y presentan tres tipos de toxinas: a) anatoxina-a; b) anatoxina-a(s); y c) saxitoxinas. Las hepatoxinas alcanzan los hepatocitos¹⁵ y tienen una acción más lenta, pudiendo causar la muerte. Las dermatoxinas actúan en la piel y pueden causar irritaciones cutáneas.

Entre las especies que generan hepatoxinas (microcystinas) se encuentran la *Microcystis* (Figura 9), *Oscillatoria* y *Anabaena* y entre las que generan neurotoxinas, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nostoc* y *Cylindrospermum*.

¹⁵ Hepatocito: es un tipo de célula del hígado que constituyen alrededor del 80 % del tejido hepático. Sus funciones, como la síntesis y almacenamiento de proteínas, el metabolismo de hidratos de carbono, la formación de bilis, el catabolismo de fármacos y tóxicos y el metabolismo de lípidos y purinas

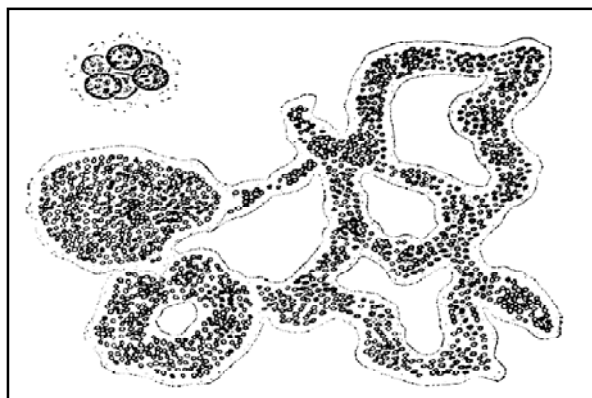


Figura 9. Microcystis aeruginosa

El excesivo crecimiento de las Cyanobacterias, denominado floración o *bloom* (Figura 10), es producido frecuentemente por el deterioro de la calidad de las aguas. A menudo este deterioro se origina en las actividades antropogénicas y por el enriquecimiento de nutrientes (fósforo y nitrógeno) de origen natural.



Figura 10. Floración de Cyanobacterias en lago de Brasil

El uso de alguicidas debe efectuarse con criterio técnico, debido a que, ocasionan la muerte masiva de algas y, consecuentemente, la producción de olores y sabores desagradables en el agua de los reservorios.

5.7. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

Es inviable el control rutinario de todos estos microorganismos, por tanto, se recurre a microorganismos indicadores, que deben cumplir con los siguientes requisitos básicos:

- Ser fáciles de cultivar en el laboratorio.
- Ser relativamente inocuos para el hombre y los animales.
- Su concentración debe tener relación con la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el agua.

Los indicadores que comúnmente se utilizan son los coliformes totales, los coliformes termotolerantes (fecales) y la *Escherichia coli*.

Los *coliformes* son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos¹⁶ en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen únicamente intestinal. Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia*.

Los *coliformes totales* se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en 24-48 horas y producir ácido y gas. Proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal.

Se denomina *coliformes termotolerantes* (antes *coliformes fecales*) a ciertos miembros del grupo de bacterias *coliformes* que están estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Estos coliformes generalmente no se multiplican en los ambientes acuáticos. Se miden por pruebas sencillas, de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de vigilancia de la calidad del agua.

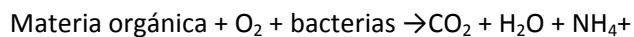
La *Escherichia coli* es el principal indicador bacteriano en el agua. Diversos estudios han demostrado que la *E. coli* está presente en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente entre 10^8 y 10^9 por gramo de heces. No se multiplican en forma apreciable en el ambiente.

¹⁶ Saprófito: planta o microorganismo que se alimenta de materias orgánicas en descomposición.

5.8.Oxígeno Disuelto (OD)

Es la concentración de Oxígeno (O₂) disuelta en el agua se expresa en partes por millón (ppm) o en miligramos por litro (mg/l). Es, a su vez, un indicador del grado de contaminación por compuestos orgánicos biodegradables.

En efecto, cuando se libera materia orgánica biodegradable en una masa de agua, existen mecanismos que permiten la transformación de esta a sustancias más simples. Estos mecanismos son un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos. Así, los microorganismos, en especial las bacterias, se alimentan de la materia orgánica descomponiéndola. Cuando esta descomposición se realiza en un ambiente aerobio se da una descomposición que, en forma simplificada se refleja en la siguiente fórmula.



Por tanto, las bacterias aerobias para descomponer la materia orgánica, consumen oxígeno disuelto en el agua y desprende dióxido de carbono (CO₂) y amonio (NH₄).

Es conveniente aclarar que la cantidad de Oxígeno disuelto (OD) disponible en un río no solo obedece de la materia orgánica, si no que a la vez, depende de factores como:

- Horario: la fotosíntesis añade OD durante el día pero esas plantas consumen oxígeno durante la noche.
- Turbidez: impide el acceso de la luz solar y la fotosíntesis de la algas, reduciendo los niveles OD.
- Agitación de las aguas: las turbulencias generadas en el fluido, dadas por resaltos o cambios de dirección, permiten un mayor contacto entre el oxígeno del aire y el medio líquido.
- Profundidad: a mayores profundidades se reduce la cantidad de OD.
- Temperatura: el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

5.9.Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales de laboratorio esta demanda se cuantifica a 20°C y el ensayo estándar se realiza a 5 días de incubación.

La oxidación bioquímica es un proceso lento, su duración es infinita (en teoría). En general, en 20 días se alcanza una oxidación del 95% a 99% de la materia carbonacea y en 5 días el 60 al 70% de la misma. Es por esto que el ensayo de DBO usualmente requiere una incubación de 5 días.

5.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente oxidante fuerte, generalmente dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura.

A diferencia de la DBO, la DQO es una medida que no depende ni de la capacidad de los microorganismos para depurar el residuo, ni del conocimiento de la sustancia particular en cuestión. En un test de DQO, un agente químico fuertemente oxidante se utiliza para oxidar los organismos preferiblemente antes de hacer recaer esta tarea en los microorganismos. Por eso el test de DQO es mucho más rápido que el de DBO.

El DQO no establece distinción entre la demanda de oxígeno producida en un ambiente natural debida a la biodegradación y a la oxidación química de materia orgánica inherente. Tampoco ofrece, ninguna información de la velocidad a la cual se lleva a cabo la biodegradación real.

El valor de DQO es mayor que el DBO, aunque para materia fácilmente biodegradable serían similares. En aguas residuales la DQO suele ser el doble que la DBO.

5.11. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)

Representan la fracción de sólidos suspendidos que se volatiliza a 550 grados centígrados durante 15min. Un valor elevado de SSV y bajo DBO indica la presencia de materia orgánica difícilmente biodegradable como la lignina.

6. CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Las enfermedades transmitidas por el agua o por medios afines figuran entre las tres causas principales de enfermedad y muerte en el mundo y contribuyen a la elevada mortalidad infantil, la reducida esperanza de vida y la mala calidad de vida. Estas enfermedades podrían prevenirse si se adoptaran medidas eficaces para evitar la transmisión. Entre estas medidas una de las más importantes es el suministro de agua potable en cantidad y calidad apropiada para el abastecimiento humano.

La OMS (2006) define agua potable aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Para de ello la OMS establece los siguientes aspectos para el agua potable¹⁷:

- **Aspectos biológicos:** El agua no debe contar con presencia de ningún organismo patógeno. En las escalas de un servicio de agua potable municipal, es casi imposible realizar análisis que detecten la presencia de cada uno de ellos. Por tanto, considerando que los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales, los controles se centran en la detección de *Escherichia coli* o de bacterias coliformes termotolerantes. Se enfatiza que en el agua de consumo humano no haber presencia de *E. coli*, ya que constituye una prueba concluyente de contaminación fecal reciente.
- **Aspectos químicos:** El agua no debe presentar componentes químicos en concentraciones que pudieran producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados.
- **Aspectos referidos a la aceptación del agua (características físicas del agua):** Los consumidores evalúan la calidad del agua de consumo basándose principalmente en sus sentidos. El agua no debe presentar sabores u olores que pudieran resultar desagradables para la mayoría de los consumidores.

¹⁷ La OMS también indica aspectos radiológicos, es decir, aquellos referidos los niveles de radiactividad superiores a los umbrales de tolerancia del ser humano.

A fin de establecer estándares que garanticen un suministro de agua para consumo humano pero a la vez sean fáciles de aplicar y hacer cumplir, la OMS ha publicado, en el año 1993 las Guías para la Calidad del Agua Potable. Estas guías sirven como base para la elaboración de normas nacionales, ya que, según se establece en las mismas guías, los valores recomendados no son límites obligatorios. Para establecer límites de ese tipo, es necesario considerar esos valores en el contexto de las condiciones locales o nacionales de carácter ambiental, social económico y cultural.

6.1. Normas Vigentes en el País

En la Argentina, el Consejo Federal de Entidades de Servicios de Saneamiento (COFES), publica el Documento Técnico N°3 Norma de Calidad para el Agua de Bebida de Suministro Público, con una versión actualizada de la misma, basada en las Guías de la OMS de 1993 y en las condiciones locales.

Además, existe el Código Alimentario Argentino (CAA), que se declaró vigente en todo el territorio de la República Argentina mediante la Ley 18284, promulgada el 18 de julio de 1969 y reglamentada por el Decreto 2126 del 30 de junio de 1971.

La vigilancia del cumplimiento del CAA está a cargo del Instituto Nacional de Alimentos (INAL) que forma parte de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) que a su vez forma parte del Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación.

La ANMAT tiene por objetivo controlar la calidad de todos los productos que hacen a la salud humana, entre ellos los alimentos acondicionados, incluyendo los insumos específicos, aditivos, colorantes, edulcorantes e ingredientes utilizados en la alimentación humana, como también de los productos de uso doméstico y de los materiales en contacto con los alimentos.

Por su parte, muchas provincias tienen sus propias normas, en muchos casos muy semejantes a las del COFES. En la provincia de Santa Fe, por ejemplo, las normas están incluidas en la Ley 11.220 que regula la prestación de los servicios de agua potable y cloacas en el ámbito provincial.

En las Tabla 7, 8 y 9 se indican los estándares de la calidad de agua potable en lo referido componentes inorgánicos y físicos, componentes orgánicos, y microbiología, respectivamente.

Tabla 7. Calidad de Agua Potable – Componentes Inorgánicos y Físicos

Parámetro	OMS (1993)	COFES (a) (1996)	Código alimentario argentino (1994)
Componentes Inorgánicos y físicos (mg / litro)			
Amoníaco	1,5 (*)	-	0.2
Aluminio Residual	0,2	-	0.2
Antimonio	0.005	-	-
Arsénico	0.01 (P)	0.05	0.05
Bario	0.7	-	-
Boro	0.3	-	-
Cadmio	0.003	0.003	0.005
Cromo	0.05	0.05	0.05
Cobre	2 (P)	2	1.00
Cianuro	0.07	0.07	0.1
Cinc	3.0 (*)	3.0	5.0
Cloruro	250 (*)	250	350
Dureza Total	-	-	400
Fluor	1.5	1.5	(b)
Hierro	0,3 (*)	0.3	0.3
Manganeso	0.1 (*)	0.5	0.1
Mercurio	0.001	0.001	0.001
Molibdeno	0.07	-	-
Níquel	0.02	-	-
Nitratos	50	50	45
Nitritos	3	3	0.10
Selenio	0.01	0.01	-
Sólidos disueltos	1000 (*)	1500	1500
Sulfatos	250 (*)	250	400
Plata	-	-	0.05
Plomo	0.01	0.01	0.05
Ph	-	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Sodio	200	200	-
Turbiedad	5 UNT	2 UNT	3 UNT
Olor			NOU 3
Color	15 UCV	15 UC	5 esc. Pt-Co
(a) Sólo se han incluido los parámetros cuyo control es obligatorio			
(b) Se han establecidos valores en función de la temperatura que varían entre 1.7 mg/l para 10-12°C y 0.8 mg/l para para 26-32°C			
(*) Concentraciones que probablemente provoquen quejas de los consumidores NOU Número de Olor Umbral			
(P) Provisorio			

Tabla 8. Calidad de Agua Potable – Componentes orgánicos

Parámetro	OMS (1993)	COFES (a) (1996)	Código alimentario argentino (1994)
Componentes Orgánicos (µg / litro)			
1,2 – Dicloroetano	30	30	10

Tetracloruro de carbono	2	2	3.00
1,1 – Dicloroeteno	30	30	30
Tricloroeteno	70	70	-
Tetracloroeteno	40	40	10
Benceno	10	10	10
Benzo(a)pireno	0.7	0.7	0.01
Diclorometano	20	-	-
1,1,1-Tricloroetano	2000	-	-
Cloruro de vinilo	5	-	2.00
1,2-Dicloroeteno	50	-	-
Tolueno	700	-	-
Xilenos	500	-	-
Etilbenceno	300	-	-
Estireno	20	-	-
Monoclorobenceno	300	-	3.0
1,2-Diclorobenceno	1000	-	0.5
1,4-Diclorobenceno	300	-	0.4
Triclorobencenos	20	-	-
Adipato de di(2-etilhexilo)	80	-	-
Ftalato de di(2-etilhexilo)	8	-	-
Acrilamida	0.5	-	-
Epiclorhidina	0.4	-	-
Hexaclorobutadieno	0.6	-	-
Acido edético (EDTA)	200	-	-
Acido nitrilotriacético	200	-	-
Oxido de tributilestaño	2	-	-
Detergentes	-	0,2 mg/l	0.5 mg/l
Tricloroetileno	-	-	30
Metil Paratión	-	-	7
Paratión	-	-	35
Malatión	-	-	35

Tabla 9. Calidad de Agua Potable – Microbiológica

Organismos	OMS (1993)	COFES (a) (1996)	Código alimentario argentino (1994)
Calidad Microbiológica			
Toda el agua de bebida			Bacterias Coliformes:
E. coli o bacterias coliformes termorresistentes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml		NMP a 37 °C - 48hs. en 100 ml: igual ó menor de 3
Agua tratada que llega al sistema de distribución			
E. coli o bacterias coliformes termorresistentes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml	<2.2 NMP/100 ml Ausencia en 100ml *	Escherichia coli: ausencia en 100 ml
Total de bacterias coliformes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml	<2.2 NMP/100 ml Ausencia en 100ml *	Pseudomonas aeruginosa: ausencia en 100 ml
Agua tratada que se halla en el sistema de distribución			

E. coli o bacterias coliformes termorresistentes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml		
Total de bacterias coliformes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml. En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas durante cualquier período de 12 meses		

7. BIBLIOGRAFÍA

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) / Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. OPS/CEPIS/PUB/04.109. Lima, Perú 596 pp.

Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento. 2001. Guías para la presentación de proyectos de agua potable. Fundamentaciones. Capítulo III – Criterios de Calidad de Agua.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2011. Guías para la calidad del agua potable. Tercera Edición. Volumen 1. 408 pp.

Rodríguez Pérez C. 2006. Calidad del Agua. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (CUJAE). La Habana, Cuba. 143 pp.

Rojas J. 1999. Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización. J. Rojas. Editorial Alfaomega. Bogotá, Colombia. 23 a 69 pp.