



CONASA
Consejo Nacional de Agua
Potable y Saneamiento



Contaminación Química del Agua

Guías para la calidad del agua de consumo humano

CUARTA EDICIÓN QUE INCORPORA
LA PRIMERA ADENDA



METALES PESADOS

UÍAS RESPIRATORIAS

Cadmio, arsénico, níquel, cromo

DIENTES

Fluoruro, selenio

CORAZÓN

Monóxido de carbono

HÍGADO

Selenio, berilio, níquel, cromo, cadmio, arsénico

RIÑONES

Mercurio, cadmio, arsénico

GRASA

Hidrocarburos de cloro, cadmio

NERVIOS

Fluoruro, cadmio, plomo, mercurio

CEREBRO

Plomo orgánico, monóxido de carbono, mercurio, manganeso, plomo, mercurio de metilo

TIROIDES

Cobalto, yodo 131, ácidos de azufre

PULMONES

Amoníaco, cadmio, ozono, óxidos nitrogenados, magnesio, nitrato acetil peróxido, berilio, sulfito de hidrógeno, cobalto, níquel asbestos, manganeso

PIEL

Arsénico, berilio, cromo

HUESOS

Fluoruro, plomo, estroncio 90, cadmio

t.me/conlasaludnosejuega



Ing. Pedro E. Ortiz

31 de Octubre 2023



Contaminación Química

La mayoría de las sustancias químicas presentes en el agua de consumo humano *son potencialmente peligrosas para la salud sólo después de una exposición prolongada* (durante años, más que meses). **La excepción principal es el nitrato.**

Generalmente, *los cambios en la calidad del agua se producen de forma progresiva*, excepto en el caso de las sustancias que se descargan o filtran de forma esporádica a corrientes de aguas superficiales o subterráneas.

En algunos casos, el agua puede contener grupos de **sustancias químicas que proceden de los procesos de tratamiento**, por ejemplo, los subproductos de la desinfección (SPD), *para todos los cuales, puede no ser necesario establecer normas*, aunque que cuenten con valores de referencia.

Si se practica la cloración, es probable que los principales SPD sean los *trihalometanos (THM) y los ácidos haloacéticos (AHA)*. Si el bromuro está presente, se producirán **SPD bromados** así como clorados.





Peligros químicos en el agua de consumo humano



Solo una pequeña proporción de contaminantes químicos causan efectos adversos sobre la salud de las personas como consecuencia de una exposición prolongada al agua de consumo humano.

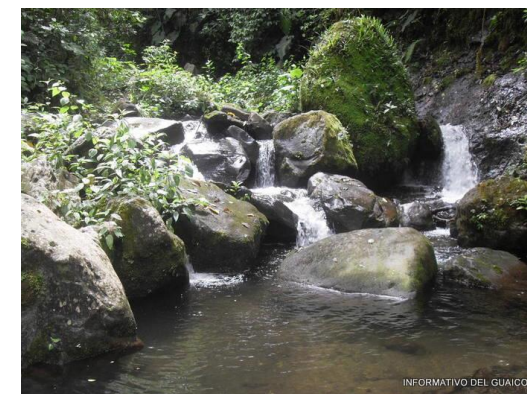
Los valores de referencia sólo se han propuesto para aquellas sustancias consideradas peligrosas para la salud

Ciertas sustancias consideradas peligrosas para la salud afectan la aceptabilidad del agua de consumo humano de modo que, por lo general, pueden conllevar al rechazo del agua a concentraciones bastante menores que las consideradas peligrosas para la salud.

Los reguladores deben establecer metas de protección de la salud que deben cumplirse a través de los Planes de Seguridad del Agua (**PSA**). *En el caso de los contaminantes químicos, generalmente se basan en el valor de referencia* que, a su vez, se basa en criterios de valoración (endpoints) relacionados con la salud.

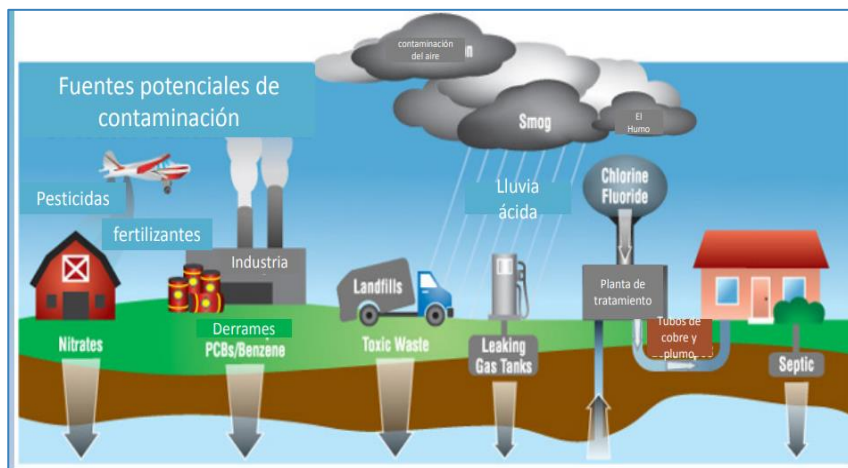
Como se puede controlar la contaminación:

- mediante la selección de la fuente de agua;
- el control de su contaminación (modo más costo-efectivo de reducir la exposición);
- Su tratamiento (optimización de procesos o la especificación de sustancias químicas utilizadas);
- Mezcla, con agua de otras fuentes.





Categorización de las fuentes de componentes químicos



Fuente de componentes químicos	Ejemplo de fuentes
Origen natural	Rocas, suelos y los efectos del marco geológico y el clima; masas de agua eutróficas (también influenciados por el vertido de aguas residuales y la escorrentía agrícola)
Fuentes industriales y núcleos habitados	Minería (industrias extractivas) e industrias de fabricación y procesamiento, aguas residuales (incluidos una serie de contaminantes que son motivo de preocupación), residuos sólidos, escorrentía urbana, fugas de combustibles.
Actividades agropecuarias	Estiércoles, fertilizantes, prácticas de ganadería intensiva y plaguicidas
Tratamiento del agua o materiales en contacto con el agua de consumo humano	Coagulantes, subproductos de la desinfección (SPD), materiales de tuberías
Plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud	Larvicidas utilizados en el control de insectos vectores de enfermedades



Cálculo de los valores de referencia para sustancias químicas y valores basados en la salud

Un valor de referencia normalmente representa la **concentración de un componente que no produce ningún riesgo significativo para la salud si se consume a lo largo de una vida**. El valor de referencia está por encima de la concentración que normalmente representaría el valor calculado basado en la salud. Los valores de referencia también se designan como **provisionales cuando existe un alto grado de incertidumbre** en los datos toxicológicos y de salud.

En el caso de algunas sustancias químicas, **no se propone ningún valor de referencia formal**, debido a que *su ocurrencia solo se da en concentraciones muy por debajo de las que serían motivo de preocupación para la salud*.

Sin embargo, para proporcionar orientación a los Estados Miembros en caso de que la sustancia química se encontrara en el agua potable o en la fuente de agua durante la **fase de identificación de peligros de la elaboración de un Planes de Seguridad del Agua**, **se ha determinado un valor basado en la salud**.

Para calcular valores de referencia se usan, los **estudios sobre poblaciones humanas** (son la fuente principal y preferida) **y los estudios de toxicidad** que emplean animales de laboratorio (la utilizada con más frecuencia). Para calcular un valor de referencia para proteger la salud humana, es preciso seleccionar el estudio o estudios más adecuados, **donde se haya comprobado una relación clara entre dosis y el efecto (respuesta)**.



Valores de referencia provisionales

Cuadro 8.3 Uso y designación de valores de referencia provisionales

Situaciones en las que se aplica un valor de referencia provisional	Designación
El cálculo del valor de referencia basado en efectos sobre la salud está sujeto a incertidumbres científicas significativas	P
El valor de referencia calculado es menor que el límite de cuantificación analítica alcanzable	A <i>(El valor de referencia se establece en el límite de cuantificación alcanzable)</i>
El valor de referencia calculado es menor que la concentración alcanzable mediante métodos de tratamiento prácticos.	T <i>(El valor de referencia se establece en el límite práctico del tratamiento)</i>
El valor de referencia calculado puede superarse como resultado de los procedimientos de desinfección	D <i>(El valor de la guía de referencia se establece considerando los posibles efectos sobre la salud y la necesidad de mantener una desinfección suficiente. La desinfección suficiente del agua potable sigue siendo primordial)</i>



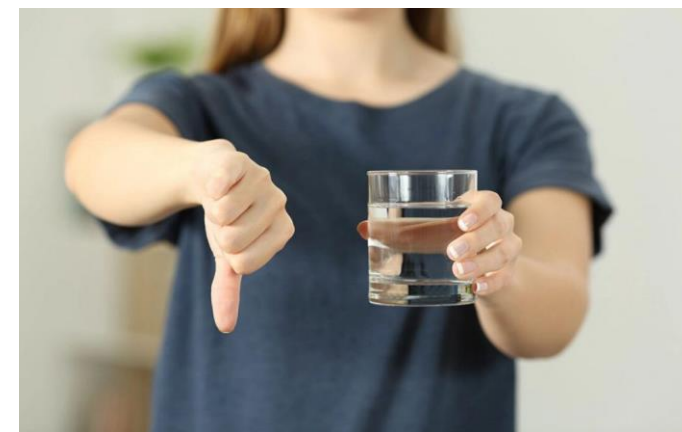
Sustancias químicas que afectan la aceptabilidad

Ciertas sustancias consideradas peligrosas para la salud *afectan al sabor, el olor o la apariencia del agua* de consumo humano, de modos que, llevarían el rechazo del agua, en concentraciones significativamente menores que las consideradas peligrosas para la salud.

El agua que es estéticamente inaceptable *afectará la confianza de los consumidores, generará quejas* y, lo que es más importante, *podría inducir al consumo de fuentes de agua menos seguras*.

Si la cloraminación no se gestiona apropiadamente *puede conducir a la formación de tricloraminas, que pueden causar un sabor y olor inaceptables*. No suele ser oportuno el monitoreo sistemático de dichas sustancias.

Sin embargo, se han establecido valores de referencia para algunas sustancias que pueden causar sabor u olor en el agua, *debido a que la capacidad de los consumidores para detectarlos por olor o sabor tiene un rango muy amplio*.





Mezclas de contaminantes

Los contaminantes químicos del agua de consumo humano ***están presentes junto con numerosos componentes inorgánicos u orgánicos***. Los valores de referencia de sustancias individuales se calculan por separado, sin tener en cuenta específicamente las posibles interacciones de cada sustancia con otros compuestos presentes.

Las interacciones sinérgicas entre sustancias generalmente son selectivas y muy limitadas. El amplio margen de incertidumbre incorporado en el cálculo de la mayoría de los valores de referencia se considera suficiente para tener en cuenta las posibles interacciones.

Muchos contaminantes químicos tienen ***mecanismos de toxicidad diferentes***, y no hay, por tanto, motivo para suponer que haya interacciones.

Sin embargo, en ocasiones el agua puede contener varios contaminantes con ***mecanismos toxicológicos similares*** en concentraciones próximas a sus respectivos valores de referencia. En tales casos se deberá decidir qué medidas son pertinentes, teniendo en cuenta las circunstancias locales. A menos que haya pruebas de lo contrario, ***cabe presuponer que los efectos tóxicos de dichos compuestos son aditivos***.



Medidas de control de procesos para subproductos de la desinfección (SPD)

Todos los desinfectantes químicos **producen SPD inorgánicos y orgánicos que pueden tener efectos nocivos**. Los SPD principales que se forman durante la cloración son:

- trihalometanos (THM),
- ácidos haloacéticos (HAA),
- halocetonas y
- Haloacetonitrilos.

Como resultado de la cloración de **precursores orgánicos de origen natural** tales como las sustancias húmicas.

La **monocloramina** produce concentraciones de THM más bajas que el cloro pero produce otros SPD, incluido el **cloruro de cianógeno**.

El **cloro** y el **ozono** oxidan el bromuro para producir **ácidos hipohalosos**, que reaccionan con los precursores para formar **THM bromados**.

Los principales subproductos derivados del uso de **dióxido de cloro** son el **ion clorito**, que es un producto inevitable de la descomposición, y **el ion clorato**. También con el tiempo se produce **clorato** a partir del **hipoclorito**.



Estrategias para reducir las concentraciones de SPD

- cambiar las condiciones del proceso (incluida la *eliminación de compuestos precursores* antes de la aplicación del desinfectante);
- cambiar el desinfectante por uno menos propenso a producir subproductos con el agua de origen;
- usar métodos de desinfección no químicos; o
- eliminar los SPD antes de la distribución del agua.



Control de la corrosión

La corrosión *es la disolución parcial de los materiales* que forman parte de los sistemas de tratamiento y abastecimiento, depósitos, tuberías, válvulas y bombas. Bajo ciertas circunstancias, todas las aguas pueden ser corrosivas.

La corrosión puede ocasionar fallas estructurales, filtraciones, pérdida de capacidad y deterioro de la calidad química y microbiológica del agua. La corrosión interna de tuberías y accesorios *puede repercutir directamente en la concentración de algunos componentes del agua, incluidos el plomo y el cobre.*

El control de la corrosión conlleva el monitoreo de muchos parámetros, como las concentraciones de *calcio, bicarbonato, carbonato y oxígeno disuelto, así como del pH.* El pH *controla la solubilidad y la velocidad de reacción* de la mayoría de los metales que intervienen en reacciones de corrosión.

Tiene particular importancia en lo que respecta a la *formación de una película protectora* sobre la superficie del metal. La concentración de *carbonato y bicarbonato* (alcalinidad) y la *concentración de calcio (dureza)* también afectan a las velocidades de corrosión de algunos metales.





Caracterización de la corrosividad

La mayoría de los índices creados para caracterizar la capacidad corrosiva del agua se basan en la premisa de que un agua con tendencia a depositar una *costra de carbonato cálcico* sobre las superficies metálicas será menos corrosiva. El *índice de Langelier (IL)* es la diferencia entre el pH efectivo de un agua y su “pH de saturación”.

Las aguas con un *índice de Langelier positivo* tienen capacidad de depositar incrustaciones de carbonato de calcio de la solución. Este indicador no es exactamente indicador de la “corrosividad” de un agua. Por ejemplo, *hay muchas aguas con IL negativo que no son corrosivas y muchas con IL positivo que lo son.*

Por lo general, *las aguas con pH, contenido de calcio y alcalinidad altos son menos corrosivas*, y suelen tener un IL positivo.

Se ha comprobado que la proporción entre las concentraciones de *cloruro y sulfato y la de bicarbonato* (índice de Larson) es útil para evaluar la corrosividad del agua al hierro colado y acero.

- Si $Lal < 0.8$ = Agua no corrosiva
- Si $0.8 < Lal < 1.2$ = corrosión significativa
- Si $Lal > 1.2$ = corrosión elevada





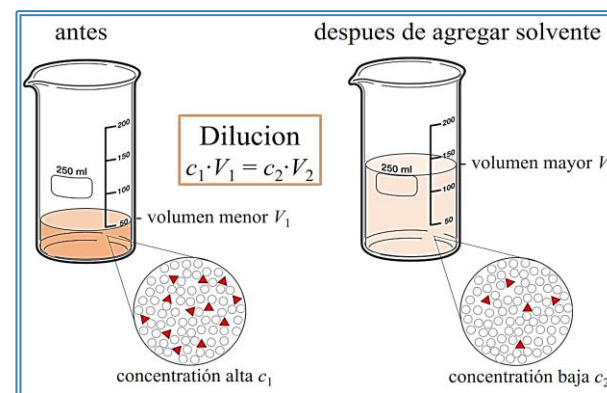
Valores de referencia para sustancias químicas, por tipo de fuente

Sustancias químicas de origen natural: Existen varias fuentes de sustancias químicas presentes en el agua de consumo humano de forma natural. Todas las aguas naturales contienen diversas **sustancias inorgánicas y orgánicas**.

- **Las inorgánicas** proceden de las rocas y el suelo por las que se filtra o sobre la que fluye el agua;
- **Las orgánicas** de la descomposición de restos de plantas o algas y de otros microorganismos que proliferan en el agua o en sedimentos.

En relación a los **contaminantes inorgánicos**, en algunos casos, si se dispone de varias fuentes de agua, **se podría alcanzar el resultado deseado mediante la dilución o mezcla** de agua con concentraciones altas de un contaminante con agua que contenga concentraciones mucho menores.

La mayoría de las sustancias químicas de origen natural para las que se han calculado valores de referencia (o se ha considerado su cálculo) son inorgánicas. Sólo una es orgánica: **la microcistina-LR**, una toxina producida por cianobacterias o algas verdeazules. Se sabe que muchas especies **producen toxinas, o “cianotoxinas”, que tienen efectos perjudiciales sobre la salud**





Cuadro 8.7 Sustancias químicas de origen natural para las que no se han establecido valores de referencia

Sustancia	Motivo por el que no se ha establecido un valor de referencia	Observaciones
Bromuro	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud	
Cloruro	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)
Dureza	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)
Sulfuro de hidrógeno	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)
Hierro	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)
Manganeso	No es una preocupación para la salud en niveles que normalmente causan problemas de aceptabilidad del agua potable. Sin embargo, hay circunstancias en las que el manganeso puede permanecer en solución en concentraciones más altas en algunas aguas ácidas o anaerobias, especialmente en las aguas subterráneas	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)

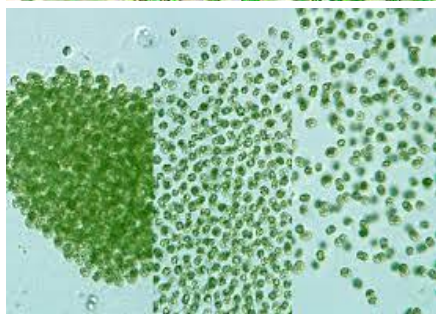


Cuadro 8.7 Sustancias químicas de origen natural para las que no se han establecido valores de referencia

Sustancia	Motivo por el que no se ha establecido un valor de referencia	Observaciones
Molibdeno	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud	
pH	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Un parámetro operacional importante de la calidad del agua
Potasio	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud	
Sodio	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)
Sulfato	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)
Sólidos totales disueltos	Se presentan en el agua de consumo humano en concentraciones que no producen efectos perjudiciales sobre la salud	Puede afectar la aceptabilidad del agua de consumo humano (vea el capítulo 10)



Cuadro 8.8.
*Valores de referencia
correspondientes a
sustancias de origen
natural cuya presencia
en el agua de consumo
humano puede afectar
la salud*



Sustancia	µg/l	Valor de referencia	
		mg/l	Observaciones
Inorgánica			
Arsénico	10 (A, T)	0.01 (A, T)	
Bario	1300	1.3	
Boro	2400	2.4	
Cromo	50 (P)	0.05 (P)	Para cromo total
Fluoruro	1500	1.5	Al fijar normas nacionales deben tenerse en cuenta el volumen de agua consumida y la ingesta de otras fuentes
Selenio	40 (P)	0.04 (P)	
Uranio	30 (P)	0.03 (P)	Sólo se abordan los aspectos químicos del uranio
Orgánica			
Microcistina-LR	1 (P)	0.001 (P)	Para la microcistina-LR (suma de la libre más la intracelular)

A, valor de referencia provisional porque el valor de referencia calculado está por debajo del nivel de cuantificación alcanzable; P, valor de referencia provisional debido a incertidumbres en la base de datos sobre salud; T, valor de referencia provisional porque el valor de referencia calculado está por debajo del nivel que se puede alcanzar a través de métodos de tratamiento prácticos, protección de la fuente, etc.



Arsénico

El arsénico es un elemento distribuido extensamente por toda la corteza terrestre, en su mayoría en forma de **sulfuro de arsénico o de arseniatos y arseniuros metálicos**. La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales y menas de origen natural.

En ciertas regiones, las fuentes de agua de consumo, particularmente **las aguas subterráneas, pueden contener concentraciones altas de arsénico**. En algunas zonas, el arsénico del agua de consumo afecta significativamente a la salud, y el arsénico se considera una sustancia a la que **debe darse una prioridad alta en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo**.

Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo.

OMS: Valor de referencia **provisional 0,01** mg/l, Es un contaminante importante del agua de consumo, ya que se ha demostrado que **producen cáncer** en el ser humano por consumo de agua potable.

Sistemas de tratamiento:

- Intercambio Iónico
- Ósmosis inversa





Fluoruro

La mayoría del fluoruro en aguas de consumo *es de origen natural*. Pueden liberarse al medio ambiente fluoruros procedentes de rocas que contienen fosfato empleadas en la fabricación de *fertilizantes fosfatados*. En zonas con concentraciones relativamente altas, especialmente **en aguas subterráneas, el agua de consumo adquiere mayor importancia como fuente de fluoruro** que en los alimentos.

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Fluoruro Elemento que ocurre naturalmente y promueve la salud dental a concentraciones entre 0.7 y 1.5 mg/L, pero puede causar problemas de salud a altas concentraciones.	ND o menos de 0.7 (mg/L)	Satisfactorio	Concentraciones menores a 0.7 mg/L no son el rango ideal para la protección del esmalte de los dientes.
	0.7 a 1.5 (mg/L)	Satisfactorio	Rango ideal para el desarrollo y protección del esmalte de los dientes.
	1.5 a 2.0 (mg/L)	Satisfactorio	Concentraciones mayores a 1.5 mg/L no son el rango ideal para la protección del esmalte de los dientes.
	2.0 a 4.0 (mg/L)	Objectable	Fluorosis dental puede producir la decoloración del diente (manchas marrones); un reporte del Consejo Nacional de Investigación sugiere posibles efectos en la salud en el rango de éstas concentraciones.
	4.0 o más (mg/L)	No satisfactorio	Existen riesgos a la salud; considere tratamiento del agua y/o alternativas de fuentes de agua; consulte la hoja de datos para más información.

La OMS: propone un valor de referencia de 1,5 mg/L.



Importancia Sanitaria del Fluoruro

Estudios demuestran que la concentración mínima para producir **el efecto protector** es **0,5 mg/l** aproximadamente, que hay indicios de un incremento del **riesgo de efectos en el esqueleto** cuando la ingesta total supera los **6 mg/día** aproximadamente y se ha concluido que existe **riesgo de efectos óseos adversos** si la ingesta total es de **14 mg/día**.

Fluoruro

Fluorosis Dental

Padecimientos Ocasionados

- Aumenta la densidad de huesos
- Osteoporosis
- Infertilidad
- Fluorosis dental
- Fluorosis esquelética
- Rigidez y dolor en articulaciones y espalda
- Los ligamentos se calcifican y se pierde masa ósea

Rigidez de espalda baja

Fluorosis esquelética



Remoción del fluoruro: por absorción, mediante tratamiento con alúmina activada, o en harina de hueso



Microcistina

La microcistina es una toxina **producida por algas tóxicas** que puede tener graves consecuencias para la salud humana y animal.

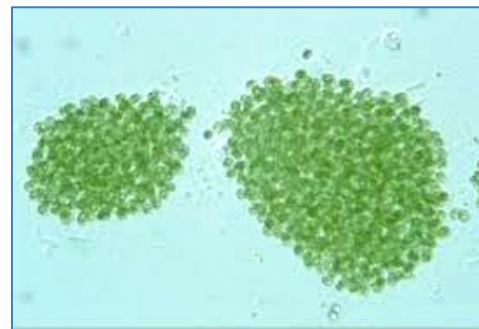
- Los efectos a corto plazo de la exposición a la microcistina incluyen: náuseas, vómitos, diarrea y dolores de cabeza.
- La exposición a largo plazo puede causar: daño hepático y neurológico, y se ha relacionado con un mayor riesgo de cáncer de hígado.

Generalmente, **las microcistinas están unidas a la célula y cantidades sustanciales se liberan al agua circundante solo cuando hay rotura celular** (es decir, lisis), mientras que las otras cianotoxinas pueden estar disueltas en el agua.

Aunque las microcistinas **pueden estar presentes en los peces, moluscos y mariscos** de cuerpos de agua en las que proliferan las cianobacterias, la exposición humana a las microcistinas se da en gran parte a través del **agua de consumo humano** o **el uso recreativo** de aguas con floraciones de cianobacterias.

Entre más de **80** microcistinas identificadas hasta la fecha, solo unas pocas se presentan frecuentemente y en altas concentraciones.

La microcistina-LR es una de las más frecuentes y tóxicas entre los congéneres de microcistinas.



Sistema de Tratamiento: Carbón activado (polvo y granular), Ozono y Cloro



Sustancias químicas de fuentes industriales y núcleos habitados

La contaminación del agua de consumo humano con sustancias químicas de fuentes industriales *puede producirse directamente por vertidos de industrias o, indirectamente, por fuentes difusas* derivadas del uso y disposición de materiales y productos que contienen las sustancias químicas. En algunos casos, la *manipulación o disposición inadecuadas de residuos* puede generar contaminación (por ejemplo, permitiendo la contaminación de aguas subterráneas con agentes desengrasantes).

Algunas de estas sustancias químicas, sobre todo las inorgánicas, pueden también proceder de la contaminación natural, pero ésta puede también ser consecuencia de actividades industriales, como la minería, que modifican los sistemas naturales de drenaje. En los núcleos habitados donde se utilizan abundantes *aceites de petróleo*, su manipulación o disposición inadecuada puede ocasionar contaminación significativa de aguas superficiales y subterráneas.

Algunas sustancias químicas pueden contaminar el agua como consecuencia de la disposición de productos químicos usados generalmente en los hogares; en particular, las aguas residuales domésticas pueden contener ciertos *metales pesados*. Cuando las aguas residuales se depuran, *los metales pesados normalmente quedarán retenidos en los lodos*. La ubicación inadecuada de letrinas y fosas sépticas, pueden contaminar las fuentes de agua de potable con *nitrato*.



Cuadro 8.9

Sustancias químicas de fuentes industriales y núcleos habitados para las que **no se han establecido valores de referencia**

Sustancia	Razón por la que no se ha establecido un valor de referencia
Berilio	Rara vez se encuentra en el agua de consumo humano en concentraciones que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud
Cianuro	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud, excepto en situaciones de emergencia luego de un derrame a una fuente de agua
1,3-Diclorobenceno	Los datos son insuficientes para poder determinar un valor de referencia basado en efectos sobre la salud
1,1-Diclorobenceno	Los datos son insuficientes para poder determinar un valor de referencia basado en efectos sobre la salud
1,1-Dicloroetano	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud
Di(2-etilhexil)adipato	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud
Hexaclorobenceno	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud
Metil- <i>terc</i> -butil-éter (MTBE)	Cualquier valor de referencia que pudiera calcularse sería significativamente mayor que las concentraciones a las que el MTBE se detectaría por el olor
Monoclorobenceno	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud, y el valor de referencia basado en los efectos sobre la salud excedería considerablemente el umbral gustativo y olfativo mínimo reportado
Nitrobenceno	Rara vez se encuentra en el agua de consumo humano en concentraciones que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud
Productos derivados del petróleo	El sabor y el olor en la mayoría de casos se detectarían a concentraciones menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud, particularmente con la exposición a corto plazo.
Triclorobencenos (totales)	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud, y el valor basado en efectos sobre la salud excedería el umbral olfativo mínimo reportado
1,1,1-Tricloroetano	Se presenta en el agua de consumo humano en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos perjudiciales sobre la salud



Cuadro 8.10

Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas de fuentes industriales y núcleos habitados cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud

- C**, concentraciones de la sustancia iguales o menores que el valor de referencia basado en efectos sobre la salud pueden afectar la apariencia, sabor u olor del agua, dando lugar al reclamo de los consumidores;
- P**: valor de referencia provisional debido a incertidumbres en la base de datos sobre salud.
- a, El valor de referencia de las sustancias sin umbral es la concentración en el agua de consumo humano asociada a un valor máximo del riesgo adicional vitalicio de cáncer de 10^{-5} (un caso adicional de cáncer por cada 100 000 personas que ingieren agua de consumo humano con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con valores máximos del riesgo adicional vitalicio de cáncer de 10^{-4} y 10^{-6} pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.

Sustancia	Valor de referencia		Observaciones
	µg/l	mg/l	
Inorgánica			
Cadmio	3	0.003	Para mercurio inorgánico
Mercurio	6	0.006	
orgánicas			
Benceno	10 ^a	0.01 ^a	Calculado usando el enfoque de la IDT así como el modelado lineal de múltiples etapas Aplicable al ácido libre
Tetracloruro de carbono	4	0.004	
1,2-Diclorobenceno	1000 (C)	1 (C)	
1,4-Diclorobenceno	300 (C)	0.3 (C)	
1,2-Dicloroetano	30 ^a	0.03 ^a	
1,2-Dicloroetano	50	0.05	
Dichlorometano	20	0.02	
Di(2-etilhexil)ftalato	8	0.008	
1,4-Dioxano	50 ^a	0.05 ^a	
Ácido edético	600	0.6	
Etilbenceno	300 (C)	0.3 (C)	
Hexaclorobutadieno	0.6	0.0006	
Ácido nitrilotriacético	200	0.2	
Pentaclorofenol	9 ^a (P)	0.009 ^a (P)	
Estireno	20 (C)	0.02 (C)	
Tetracloroetano	40	0.04	
Tolueno	700 (C)	0.7 (C)	
Tricloroetileno	20 (P)	0.02 (P)	
Xilenos	500 (C)	0.5 (C)	



Cadmio



Se encuentra en la corteza terrestre, asociado con minerales de cinc, plomo y cobre. El cadmio puro es un metal blando de color plateado. ***El cloruro de cadmio y el sulfato de cadmio son solubles en agua.*** El cadmio es liberado al suelo, al agua y al aire durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura y aplicación de abonos de fosfato, la combustión de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de basura.

En el agua el cadmio ***existe en forma solubles*** que se movilizan en el agua, y de ***forma insoluble*** como ión hidratado o como complejo iónico asociado a otras sustancias inorgánicas u orgánicas. Que son inmóviles y se depositarán en el sedimento donde serán adsorbidas.

Se han detectado niveles altos de cadmio en suministros de agua cerca de industrias que liberan cadmio. ***Las cosechas y los organismos acuáticos pueden acumular cadmio***, haciendo posible así que entre a la cadena alimentaria. Las personas que practican la pesca de subsistencia en aguas locales deben tener cuidado y deben seguir todas las advertencias correspondientes.

Tomar agua con niveles de cadmio muy altos ***produce irritación grave del estómago, lo que produce vómitos y diarrea y en ciertas ocasiones daño en el riñón o la muerte.***

Ingerir niveles más bajos durante un período prolongado puede producir ***acumulación de cadmio en los riñones*** y puede aumentar la ***fragilidad de los huesos*** de manera que se pueden quebrar fácilmente.



Sustancias químicas de actividades agrícolas

En la agricultura y la ganadería se utilizan productos químicos. **El nitrato** puede estar presente como consecuencia de la labranza, la aplicación de un **exceso de fertilizantes inorgánicos u orgánicos, o el estiércol líquido** de la producción ganadera.

La mayoría de las sustancias químicas que se pueden generar de las **actividades agropecuarias** son **plaguicidas**. Algunos plaguicidas se utilizan también para usos no agropecuarios, como el control de mala hierba en carreteras y líneas férreas.

Puede producirse contaminación por el **arrastre de los plaguicidas** por efecto de las lluvias tras su aplicación o por el uso de métodos de disposición inadecuados.





Cuadro 8.13 Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas de actividades agropecuarias cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud

Sustancias química	Valor de referencia		Observaciones
	µg/l	mg/l	
Sustancias que no son plaguicidas			
Nitrato (como NO ₃ ⁻)	50 000	50	Basado en efectos de corto plazo, pero es protector contra los efectos de largo plazo
Nitrito (como NO ₂ ⁻)	3 000	3	Basado en efectos de corto plazo, pero es protector contra los efectos de largo plazo

Sistema de tratamiento:

- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa



Nitritos y Nitratos

El nitrato y el nitrito son iones de origen natural que **forman parte del ciclo del nitrógeno**. El *nitrato* se utiliza principalmente en fertilizantes inorgánicos, y el *nitrito sódico* como conservante alimentario.

- **Materia orgánica** = Nitrógeno Amoniacal (NH_3); → indica contaminación reciente y un peligro potencial
- **Estado intermedio** = Nitritos (NO_2^-); → la contaminación no es reciente.
- **Materia mineral** = Nitratos (NO_3^-). → la contaminación es remota y no representa peligro.

OMS: Nitrato, 50 mg/l para proteger a los lactantes alimentados con biberón contra la metahemoglobinemia (exposición a corto plazo).

Valor de referencia (nitrito):

- **3 mg/l** para la metahemoglobinemia en lactantes (exposición a corto plazo) Valor de referencia provisional (nitrito)
- **0,2 mg/l** (exposición prolongada)



Efectos en la salud del nitrito y del nitrato

Los bebés menores de 6 meses son sensibles a los efectos de nitrito sobre la hemoglobina. Tomar agua con altos niveles de nitrito causa de la **metahemoglobinemia** (un cambio en la hemoglobina que reduce su capacidad para transportar oxígeno a los tejidos). Algunos niños y adultos que comen alimentos y toman líquidos que contienen niveles de nitrito inusualmente altos sufren: **caída de la presión sanguínea, aumento del pulso, reducción de la capacidad de la sangre para llevar oxígeno a los tejidos, dolores de cabeza, calambres abdominales, vómitos y aun la muerte.**

Nitratos

Nitritos

Padecimientos Ocasionados

- Metahemoglobinemia
- Cáncer estomacal
- Cáncer esofágico
- Retraso en crecimiento
- Llenura abdominal vaga
- Vómitos con sangre
- Dificultad para deglutir
- Deterioro de salud en general
- Heces negras
- Retardo mental
- Anemia perniciosa
- Convulsiones

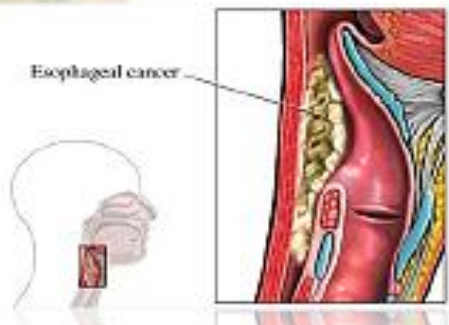
Metahemoglobinemia



El síntoma más obvio de la metahemoglobinemia es la aparición de un tono azulado en la piel, particularmente alrededor de los ojos y boca.



Imagen endoscópica de linfoma plásico, un tipo de cáncer de estómago en el que se ha invadido el estómago antes produciendo una apariencia como la del cuello de una botella.



Esófago cancer

Cáncer esofágico





Cuadro 8.13 Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas de actividades agropecuarias cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud

Plaguicidas usados en la agricultura

Alacloro	20 ^a	0.02 ^a	
Aldicarb	10	0.01	Aplicable al aldicarb sulfóxido y al aldicarb sulfona
Aldrín y dieldrín	0.03	0.000 03	Aplicable a la suma de aldrín y dieldrín
Atrazina y sus metabolitos de cloro-s-triazina	100	0.1	
Carbofurán	7	0.007	
Clordano	0.2	0.000 2	
Clorotolurón	30	0.03	
Clorpirifós	30	0.03	
Cianazina	0.6	0.000 6	
2,4-D ^b	30	0.03	Aplicable al ácido libre
2,4-DB ^c	90	0.09	
1,2-Dibromo-3-cloropropano	1 ^a	0.001 ^a	
1,2-Dibromoetano	0.4 ^a (P)	0.000 4 ^a (P)	
1,2-Dicloropropano	40 (P)	0.04 (P)	
1,3-Dicloropropeno	20 ^a	0.02 ^a	
Diclorprop	100	0.1	
Dimetoato	6	0.006	
Endrin	0.6	0.000 6	
Fenoprop	9	0.009	
Hidroxiatrazina	200	0.2	Metabolito de atrazina
Isoproturón	9	0.009	
Lindano	2	0.002	
MCPA ^d	2	0.002	
Mecoprop	10	0.01	
Metoxycoloro	20	0.02	
Metolacoloro	10	0.01	
Molinato	6	0.006	
Pendimetalina	20	0.02	
Simazina	2	0.002	

Los valores de referencia y los valores basados en la salud *son protectores contra los efectos en la salud resultantes de la exposición durante toda una vida.*

Como principio general, deben hacerse esfuerzos para mantener la concentración de plaguicidas en el agua tan baja como sea posible y no permitir que las concentraciones aumenten hasta el valor de referencia o el valor basado en la salud.

Generalmente, no se considera necesario el monitoreo rutinario de los plaguicidas. Pero si los resultados del monitoreo muestren, de manera regular, niveles por encima del valor de referencia o del valor basado en la salud, es aconsejable que se desarrolle y ejecute un plan para enfrentar la situación.



Sustancias químicas procedentes de productos químicos empleados en el tratamiento del agua o de los materiales en contacto con el agua de consumo humano

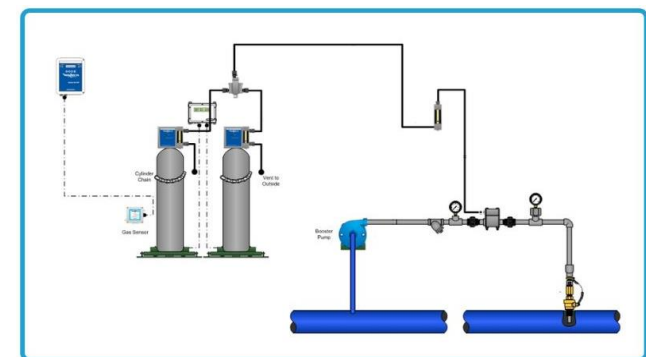
El agua final puede contaminarse con *sustancias químicas procedentes de los productos usados en el tratamiento del agua* y *sustancias procedentes de materiales en contacto con el agua*.

Algunas sustancias se añaden deliberadamente al agua durante su tratamiento (**cal, sulfato de aluminio, PAC, polímeros**), y algunas de ellas (por ejemplo, sales, monómeros o residuos de polímeros coagulantes) pueden quedar involuntariamente retenidas en el agua tratada.



La cloramina y el cloro, por ejemplo, son aditivos añadidos deliberadamente, y su presencia como residuos de la desinfección produce efectos beneficiosos. Otras, como los **SPD**, se generan por interacciones químicas entre productos desinfectantes y sustancias presentes normalmente en el agua.

Otras sustancias químicas, como el **plomo o el cobre de tuberías o grifos** de latón, y sustancias químicas de **materiales de recubrimiento**, pueden incorporarse al agua por contacto con superficies durante su tratamiento o distribución (aditivos indirectos).





Subproductos de la desinfección del agua

Cuadro 8.14 Subproductos de la desinfección presentes en aguas desinfectadas (basado en IPCS, 2000)

Desinfectante	Productos organohalo- genados significativos	Productos inorgáni- cos significativos	Productos no haloge- nados significativos
Cloro/ácido hipoclo- roso (hipoclorito)	Trihalometanos, ácidos haloacéticos, haloacetnitrilos, hidrato de cloral, cloropicrina, clorofenoles, N-cloraminas, halofuranonas, bromohidrinas	Clorato (principalmente del uso de hipoclorito)	Aldehídos, ácidos cianoalcanóicos, ácidos alcanóicos, benceno, ácidos carboxílicos, N-nitrosodimetilamina
Dióxido de cloro		Clorito, clorato	No se conocen
Cloramina	Haloacetnitrilos, cloruro de cianógeno, cloraminas orgánicas, ácidos cloramínicos, hidrato de cloral, halocetonas	Nitrato, nitrito, clorato, hidracina	Aldehídos, cetonas, N-nitrosodimetilamina
Ozono	Bromoformo, ácido monobromoacético, ácido dibromoacético, dibromoacetona, bromuro de cianógeno	Clorato, yodato, bromato, peróxido de hidrógeno, ácido hipobromoso, epóxidos, ozonatos	Aldehídos, cetoácidos, cetonas, ácidos carboxílicos
Dicloroisocianurato de sodio	Como para cloro/ácido hipocloroso (hipoclorito)		Ácido cianúrico

Cuadro 8.16

Valores de referencia correspondientes a productos químicos usados en el tratamiento de agua o procedentes de materiales en contacto con el agua cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud

En ninguna circunstancia, se debe poner en peligro la eficiencia de la desinfección en el intento de alcanzar los valores de referencia para los SPD, incluidos los subproductos de la cloración, ni al tratar de reducir las concentraciones de estos compuestos orgánicos halogenados.

Sustancias	Valor de referencia ^a		Observaciones
	µg/l	mg/l	
Desinfectantes			
Cloro	5 000 (C)	5 (C)	Para que la desinfección sea eficaz, debe haber una concentración residual de cloro libre de ≥0.5 mg/l tras un tiempo de contacto de al menos 30 minutos a un pH <8.0. Se debe mantener una concentración residual de cloro a lo largo del sistema de distribución. En el punto de entrega, la concentración residual mínima del cloro libre debe ser 0.2 mg/l.
Monocloramina	3 000	3	
Dicloroisocianurato de sodio	50 000	50	Como dicloroisocianurato de sodio
	40 000	40	Como ácido cianúrico
Subproductos de la desinfección			
Bromato	10 ^a (A, T)	0.01 ^a (A, T)	
Bromodiclorometano	60 ^a	0.06 ^a	
Bromoformo	100	0.1	
Clorato	700 (D)	0.7 (D)	
Clorito	700 (D)	0.7 (D)	
Cloroformo	300	0.3	
Dibromoacetoneitrilo	70	0.07	
Dibromoclorometano	100	0.1	
Dicloroacetato	50 ^a (D)	0.05 ^a (D)	
Dicloroacetoneitrilo	20 (P)	0.02 (P)	
Monocloroacetato	20	0.02	
N-Nitrosodimetilamina	0.1	0.0001	
Tricloroacetato	200	0.2	
2,4,6-Triclorofenol	200 ^a (C)	0.2 ^a (C)	
Trihalometanos			La suma de los cocientes de la concentración de cada uno y sus respectivos valores de referencia no debe ser mayor a 1.

Cuadro 8.16
Valores de referencia correspondientes a productos químicos usados en el tratamiento de agua o procedentes de materiales en contacto con el agua cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud

Contaminantes procedentes de productos químicos utilizados en el tratamiento

Acrilamida	0.5 ^a	0.0005 ^a
Epiclorohidrina	0.4 (P)	0.0004 (P)

Contaminantes procedentes de tuberías y accesorios

Antimonio	20	0.02	
Benzo[α]pireno	0.7 ^a	0.0007 ^a	
Cobre	2000	2	El agua puede manchar la ropa y los aparatos sanitarios a concentraciones menores que el valor de referencia
Plomo	10 (A, T)	0.01 (A, T)	
Níquel	70	0.07	
Cloruro de vinilo	0.3 ^a	0.0003 ^a	

A = valor de referencia provisional dado que el valor de referencia calculado es menor que el límite de cuantificación práctico; C = concentraciones de la sustancia iguales o menores que el valor de referencia basado en efectos sobre la salud pueden afectar al aspecto, sabor u olor del agua y ocasionar reclamaciones de los consumidores; D = valor de referencia provisional porque es probable que la desinfección supere del valor de referencia; P = valor de referencia provisional debido a incertidumbres en la base de datos sobre salud; T = valor de referencia provisional porque el valor de referencia calculado es menor que el que es posible alcanzar mediante métodos de tratamiento prácticos, control de la fuente, etc.

^a El valor de referencia de las sustancias que se consideran cancerígenas es la concentración en el agua de consumo humano asociada a un valor máximo del riesgo adicional vitalicio de cáncer de 10⁻⁵ (un caso adicional de cáncer por cada 100 000 personas que ingieren agua de consumo humano con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con valores máximos del riesgo adicional vitalicio de cáncer de 10⁻⁴ y 10⁻⁶ pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.



Acrilamida (C_3H_5NO)

Los coagulantes de poliacrilamida que *se usan en el tratamiento del Agua* de consumo humano contienen concentraciones *residuales del monómero de acrilamida*.



Como es difícil controlar la ingesta de acrilamida de los alimentos, es muy importante que el contenido de acrilamida en la poliacrilamida que se emplea como *ayudante de la coagulación* en el tratamiento del agua, que es la fuente más importante de contaminación del agua de consumo humano por acrilamida, *sea tan bajo como sea posible y que la poliacrilamida no se sobredosifique en un intento de tomar un atajo para mejorar la coagulación*.

Valor de referencia = 0.0005 mg/l (0.5 µg/l)

Luego de su ingestión, *la acrilamida se absorbe rápidamente en el aparato digestivo y se distribuye extensamente en los fluidos corporales*. La acrilamida puede:

- ✓ Atravesar la placenta.
- ✓ Es neurotóxica,
- ✓ Afecta las células germinales y
- ✓ Altera la función reproductora.



Plomo (Pb)



El plomo es un **metal pesado** que existe naturalmente en la corteza terrestre. Sin embargo, raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal. Generalmente **se encuentra combinado** con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo (ej. el tetraetilo de plomo y los silicatos de plomo).

El plomo y las aleaciones de plomo son componentes comunes de tuberías, baterías, pesas, proyectiles y municiones, revestimientos de cables, láminas usadas para protegernos de la radiación, se usan como pigmentos en pinturas, en barnices para cerámicas y en materiales de relleno.

El principal uso del plomo es en **baterías para automóviles** y otros vehículos.

La cantidad de plomo que se ingiere a través del agua potable **puede ser más alta en comunidades en que el suministro contiene agua ácida**, porque facilita que el plomo en las cañerías, en soldaduras de plomo y en grifos de bronce entre al agua que bebemos. Por lo tanto se requiere **controlar la acidez del agua**.

Los efectos del plomo son los mismos, independientemente de como entra al cuerpo, afecta principalmente al sistema nervioso, tanto en niños como en adultos especialmente aquellos con una La exposición ocupacional prolongada al plomo. La exposición al plomo también **puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos y producir anemia**.

Los niveles de exposición altos pueden **dañar seriamente el cerebro y los riñones** en adultos o en niños y pueden causar la muerte.

En mujeres embarazadas, los niveles de exposición altos **pueden producir abortos**. En hombres, la exposición a altos niveles de plomo **puede alterar la producción de espermatozoides**.



Indicadores utilizados en el monitoreo de los subproductos de la cloración

Aunque se han establecido valores de referencia para varios subproductos de la cloración, los datos de sistemas de abastecimiento de agua de consumo humano indican que **los trihalometanos y los ácidos haloacéticos son indicadores adecuados** de la mayoría de los subproductos de la cloración.

La mejor forma de controlar los subproductos de la cloración es **eliminar las sustancias orgánicas precursoras, cuyo origen es generalmente natural**. Puede medirse la concentración de trihalometanos y, en caso pertinente (por ejemplo, cuando se realiza la cloración del agua a pH bajo), la de ácidos haloacéticos, para optimizar la eficacia del tratamiento y para establecer los límites de otros parámetros operativos que pueden utilizarse para monitorear la eficacia del tratamiento.

Si bien la **concentración total de organohalógenos** no se correlaciona bien con la de trihalometanos o la de ácidos haloacéticos, es una medida de la **concentración total de subproductos de la cloración** y puede ser otro indicador potencial para fines operativos.

En ninguna circunstancia, se debe poner en peligro la eficiencia de la desinfección en el intento de alcanzar los valores de referencia para los SPD, incluidos los subproductos de la cloración, ni al tratar de reducir las concentraciones de estos compuestos orgánicos halogenados.



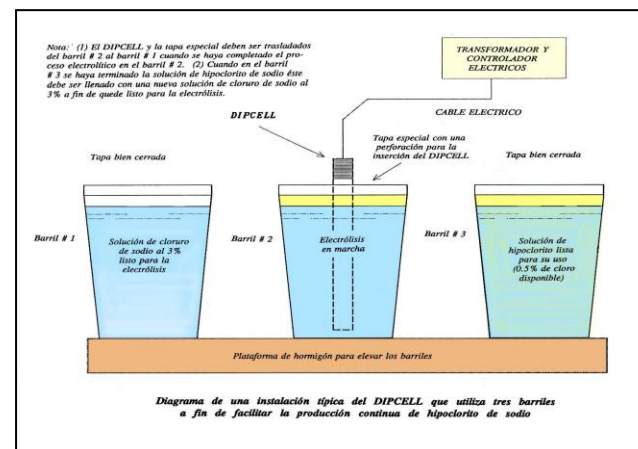
Contaminantes procedentes del almacenamiento y la elaboración de soluciones de hipoclorito

Las soluciones de **hipoclorito sódico** se descomponen rápidamente a temperaturas más altas, *generando iones **clorato y clorito***. Con el tiempo disminuye la concentración de cloro disponible, es necesario aumentar la dosis del producto para lograr la concentración de cloro residual deseada, aumentando así las cantidades de clorato y clorito añadidas al agua tratada.



El hipoclorito de sodio se elabora mediante **electrólisis de cloruro sódico (sal Común) disuelto en agua**, que también contendría, de forma natural, concentraciones pequeñas de **bromuro sódico**, de modo que la solución de hipoclorito sódico *contendrá bromato y contaminará el agua tratada*.

La descomposición del **hipoclorito de calcio** sólido es mucho más lenta, de modo que *es menos probable que se produzca una contaminación significativa*. No obstante, si las soluciones se preparan y se almacenan antes de usarlas, *se produciría la descomposición del hipoclorito y la formación de clorato y clorito*.

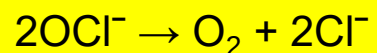




Clorato

Los cloratos *pueden estar presentes en fertilizantes* y procesos industriales, pero aparecen principalmente por el uso de hipoclorito y dióxido de cloro en la desinfección del agua. *El envejecimiento de soluciones de hipoclorito genera iones clorito y clorato*, disminuyendo la concentración de cloro activo disponible. El perclorato se forma cuando el hipoclorito y los iones clorato reaccionan entre sí.

Se deben *evitar las temperaturas altas y los tiempos de almacenamiento prolongados*, y usar soluciones de hipoclorito frescas cuando sea posible, porque contiene una concentración más alta de hipoclorito, reduciendo así la cantidad de solución requerida para obtener el cloro residual y, por tanto, incorpora menos cantidad de clorato a las aguas. Se recomienda usar hipoclorito de buena calidad, con concentración total de metales inferior a **1** mg/L.



OCl^- = hipoclorito

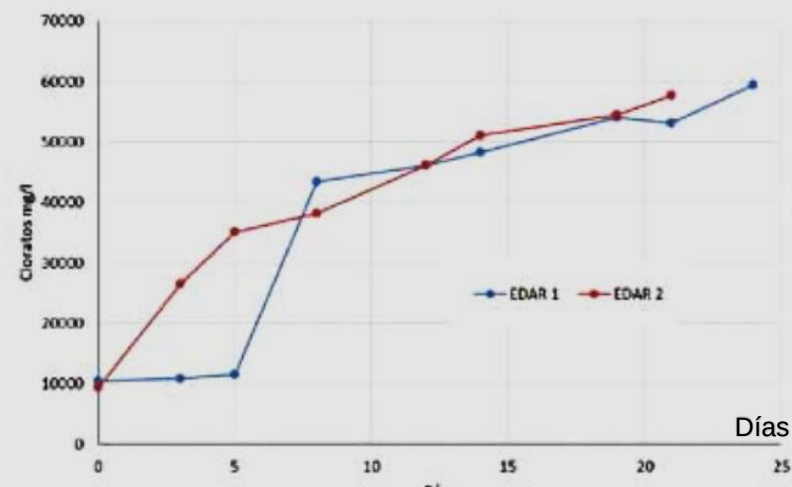
Cl^- = cloruro

ClO_3^- = clorato

Efectos en la salud

Los cloratos *inhiben la absorción de yoduro en la glándula tiroides* y pueden afectar su funcionamiento, también *pueden dañar los glóbulos rojos*. Los cloratos y percloratos han sido utilizados como herbicidas y desinfectantes, por lo que en algunos países de la UE son considerados plaguicidas y se aplica el límite de **0,01** mg/kg para alimentos.

FIGURA 2. Evolución del contenido de clorato en ambas EDAR en función del tiempo de almacenamiento.





Contaminantes derivados del uso de ozono y dióxido de cloro

El uso de **ozono** puede hacer que *aumente la concentración de bromato por la oxidación del bromuro* presente en el agua. Por regla general, cuanto mayor sea la concentración de bromuro en el agua, se producirá mayor cantidad de bromato.

Las soluciones de **dióxido de cloro** pueden contener *clorato* como producto de reacciones que compiten con la reacción deseada de generación de dióxido de cloro.

El ion clorito es un producto inevitable de la descomposición del dióxido de cloro; típicamente, del **60** al **70%** de la dosis aplicada se convierte a clorito en el agua tratada.





Sustancias químicas de preocupación emergente

Los **productos farmacéuticos** pueden ingresar a las aguas residuales **procedentes de la excreción humana** de dichas sustancias, de la disposición no controlada de fármacos (p. ej., desecho de fármacos en los baños) y de la **escorrentía agrícola del estiércol animal**. Dichas sustancias han empezado a generar preocupación entre el público debido a su potencial de llegar al agua de consumo humano.

Las mayores concentraciones de estos contaminantes se encuentran en los **efluentes del tratamiento de aguas residuales** o en las **descargas de aguas residuales de instalaciones de manufactura de medicamentos mal controladas**.

Por lo general, se han encontrado concentraciones de productos farmacéuticos en el agua de consumo humano en **órdenes de magnitud menores que las dosis terapéuticas más bajas**. Por lo tanto, es improbable que la exposición a compuestos individuales en el agua de consumo humano tenga impactos adversos en la salud humana.

El monitoreo rutinario de los **productos farmacéuticos** en el agua de consumo humano y el tratamiento de agua de consumo humano adicional o especializado para reducir las concentraciones de productos farmacéuticos en el agua de consumo humano **no se consideran necesarios**.





Plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud pública

El control de **insectos vectores de enfermedades** (p. ej., fiebre del dengue) es esencial países, existen ocasiones en que los mosquitos, *se reproducen en recipientes usados para el almacenamiento y la recolección de agua.*

Si bien se deben tomar acciones para prevenir el acceso de vectores o su reproducción en estos recipientes, esto no siempre es posible o puede no ser totalmente efectivo, y *en algunos entornos es recomendable el uso de larvicidas.*

Existen actualmente siete **compuestos de larvicidas** (diflubenzurón, metopreno, novalurón, pirimifos-metil, piriproxifen, spinosad y temefós) y una **bacteria larvicida** (*Bacillus thuringiensis israelensis*).

*No resulta apropiado establecer valores de referencia para los **plaguicidas usados para control vectorial**, pero debido a que las enfermedades transmitidas por vectores son causas importantes de morbilidad y mortalidad. Es importante **lograr un equilibrio apropiado entre la ingesta del plaguicida del agua y el control de insectos** portadores de la enfermedad.*





Cuadro 8.18
Valores de referencia
correspondientes a
plaguicidas añadidos
al agua por motivos de
salud pública cuya
presencia en el agua
de consumo humano
puede afectar a la
salud



**Plaguicidas añadidos al agua
por motivos de salud pública**

Valor de referencia

	$\mu\text{g/l}$	mg/l
DDT y metabolitos	1	0.001

Cuadro 8.19 Compuestos y formulaciones recomendados por la OMS para el control de larvas de mosquitos que habitan en recipientes^a

Insecticida	Formulación	Dosis (mg/l) ^b	IDA (mg/kg pc)	Exposición (mg/kg pc) ^c	Uso en el agua de consumo humano
<i>Bacillus thuringiensis israelensis</i> (Bti) ^d	GA	1–5	–	Adulto: 0.17 Niño: 0.5 Lactante 0.75	Se puede usar en las dosis recomendadas
Diflubenzurón	PD, GR, PH	0.02–0.25	0–0.02	Adulto: 0.008 Niño: 0.025 ^e Lactante: 0.0375 ^e	Se puede usar en las dosis recomendadas
Metopreno	CE	1	0–0.09	Adulto: 0.033 Niño: 0.1 ^e Lactante: 0.15 ^e	Se puede usar en las dosis recomendadas
Novalurón	CE	0.01–0.05	0–0.01	Adulto: 0.0017 Niño: 0.005 Lactante: 0.0075	Se puede usar en las dosis recomendadas



Cuadro 8.18

Valores de referencia correspondientes a plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud pública cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar a la salud

Cuadro 8.19 (continuación)

Insecticida	Formulación	Dosis (mg/l) ^b	IDA (mg/kg pc)	Exposición (mg/kg pc) ^c	Uso en el agua potable
Pirimifos-metil	CE	1	0–0.03	Adulto: 0.033 Niño: 0.1 ^e Lactante: 0.15 ^e	No se recomienda su aplicación directa al agua de consumo humano
Piriproxifen	GR	0.01	0–0.1	Adulto: 0.000 33 Niño: 0.001 Lactante: 0.0015	Se puede usar en las dosis recomendadas
Spinosad	PD, GR, CS	0.1–0.5 ^f	0–0.02	Adulto: 0.0017 Niño: 0.0052 Lactante: 0.0078	Se puede usar en las dosis recomendadas
Temefos	EC, GR	1	0.023 ^g	Adulto: 0.033 Niño: 0.1 ^e Lactante: 0.15 ^e	Se puede usar en las dosis recomendadas

pc, peso corporal; PD, pastilla de aplicación directa; CE, concentrado emulsificable; GR, gránulo; CS, concentración en suspensión; GA, gránulo soluble en agua; PH, polvo humectable a Las recomendaciones de la OMS sobre el uso de plaguicidas en la salud pública solo son válidas si se vinculan a las especificaciones de la OMS para su control de calidad. Las especificaciones de la OMS para plaguicidas de la salud pública están disponibles en [http:// who.int/whopes/quality/en](http://who.int/whopes/quality/en). Siempre se deben seguir las instrucciones de la etiqueta cuando se usen insecticidas. b Ingrediente activo para el control de mosquitos que se reproducen en recipientes. c Exposición a la dosis máxima en el agua de consumo humano para (a) un adulto de 60 kg que bebe 2 litros de agua por día, (b) un niño de 10 kg que bebe 1 litro de agua por día y (c) un lactante de 5 kg alimentado con biberón que bebe 0.75 litros de agua por día. d No se considera que el Bti por sí solo cause un peligro para los seres humanos a través del agua de consumo humano. e Se deben considerar fuentes de agua alternativas para niños pequeños y lactantes alimentados con biberón por un periodo después de su aplicación, siempre que esto resulte práctico. Sin embargo, la superación de la IDA no necesariamente producirá efectos adversos. f La concentración máxima realmente alcanzada con la formulación de liberación lenta de spinosad fue de aproximadamente 52 µg/l. g Esta es una IDT en lugar de una IDA, puesto que JMPR consideraba que la base de datos no era lo suficientemente robusta para servir como base para establecer una IDA para temefos. Para fines de estas Guías, se ha calculado una IDT a partir del NOAEL oral más bajo en el estudio crítico identificado por JMPR. Fuente: Adaptado de OMS/TDR (2009)



Aspectos Relativos a la Aceptabilidad: *sabor, olor y apariencia*

El agua para consumo humano además de ser **inocua, debe tener apariencia, sabor y olor aceptables**. El agua que es estéticamente inaceptable afectará la confianza de los consumidores, generará quejas y, lo que es más importante, **podría inducir al consumo de fuentes de agua menos seguras**.

La confianza de los consumidores se verá afectada en gran medida por **los aspectos de la calidad del agua que son capaces de percibir con sus propios sentidos**, aunque estas características pueden no tener, en sí mismas, una consecuencia directa para la salud.

Algunas sustancias que constituyen un peligro para la salud tienen efectos sobre el sabor, olor o aspecto del agua de uso y consumo humano que normalmente **conllevarían al rechazo del agua en concentraciones considerablemente menores que aquellas que representan un problema para la salud**.

Sin embargo, se han establecido valores de referencia **para algunas sustancias que pueden causar problemas de sabor u olor en el agua** de uso y consumo humano en concentraciones mucho menores que el valor de referencia porque la capacidad de los consumidores para detectarlas por sabor u olor puede variar ampliamente.





Contaminantes de origen biológico

Hay diversos organismos que pueden no tener relevancia para la salud pública, pero que no son deseables porque *producen sabor y olor*.

Además de afectar la aceptabilidad del agua, *indican que su tratamiento o el estado de mantenimiento y reparación del sistema de distribución, o ambos, son deficientes*.

Actinomicetos y hongos

La presencia de actinomicetos y hongos puede ser abundante en fuentes de aguas superficiales, incluidos los embalses, y también pueden proliferar en materiales inadecuados para uso en los sistemas de distribución de agua, tales como el caucho.

Pueden producir:

- ✓ *geosmina*,
- ✓ *2-metil isoborneol* y
- ✓ otras sustancias, *que confieren sabores y olores desagradables* al agua de uso y consumo humano.



Bacterias ferruginosas

En aguas que contienen sales ferrosas y manganosas, su oxidación por bacterias ferruginosas (o por la exposición al aire) puede generar en las paredes de tanques, tuberías y canales, *precipitados de color herrumbroso que pueden contaminar el agua*.



Contaminantes de origen biológico

Cianobacterias y algas

Las floraciones de cianobacterias y algas en embalses y aguas fluviales *pueden impedir la coagulación y filtración*, lo que hace que el agua presente *coloración y turbiedad* después de la filtración.

También pueden producir **geosmina**, **2-metil isoborneol** y otras sustancias químicas que presentan umbrales gustativos en el agua de uso y consumo humano de unos pocos nanogramos por litro.

Algunas sustancias producidas por cianobacterias (cianotoxinas) también ***tienen un impacto directo en la salud***, pero la producción de sustancias químicas por las cianobacterias que producen cambios en el sabor parece no estar vinculada con la producción de cianotoxinas.





Contaminantes de origen biológico

Animales invertebrados

En muchas fuentes para el abastecimiento de agua de uso y consumo humano hay presencia natural de animales invertebrados, que *a menudo infestan los pozos abiertos y poco profundos*. Asimismo, si las barreras de retención de partículas de las plantas de tratamiento de agua no son del todo eficaces, *algunos invertebrados pueden superarlas y colonizar filtros o el sistema de distribución*.

Para propósitos de control, los animales pueden clasificarse en dos tipos.

- **Los organismos que nadan libremente** en masas o superficies de agua, como los *crustáceos, camarón de agua dulce*, *Crangonyx pseudogracilis*, *Cyclops spp.* Y *Chydorus sphaericus*.
- **Otros invertebrados que se desplazan por las superficies o permanecen anclados a ellas** (p. ej., la *cochinilla acuática* o de humedad, *los caracoles, el mejillón cebra*, otros moluscos bivalvos y el briozoo *Plumatella sp.*) o que viven en cienos (p. ej., *Nais spp.*, nematodos y las larvas de los quironómidos).

En climas templados, los filtros lentos de arena algunas veces pueden liberar al agua *larvas de mosquitos o jejenes*. La presencia de animales invertebrados en el agua de uso y consumo humano, en particular *si son visibles o afectan el color del agua*, hace que los consumidores duden de su calidad, y deben controlarse.





Contaminantes de origen químico

Aluminio (Al)

Las fuentes más comunes de aluminio en el agua de uso y consumo humano son el **aluminio de origen natural y las sales de aluminio utilizadas como coagulantes** en el tratamiento del agua.

La presencia de aluminio en concentraciones mayores a **0.1 – 0.2 mg/l** **suele ocasionar quejas de los consumidores** como consecuencia de:

- precipitación del flóculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y
- el aumento de la coloración del agua por el hierro.



Por lo tanto, es importante **optimizar los procesos de tratamiento** con el fin de minimizar la presencia de residuos de aluminio.

OMS: Las pruebas disponibles no permiten calcular un valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el aluminio en el agua de uso y consumo humano.

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Aluminio Ocurre naturalmente y es generalmente encontrado en concentraciones entre 0.01 y 0.3 mg/L en aguas subterráneas. Para la EPA el estándar secundario por aluminio es 0.050 a 0.2 mg/L porque altas concentraciones pueden colorear el agua.	ND o menos de 0.05 (mg/L)	Satisfactorio	No se requiere acción
	0.05 o más (mg/L)	Objetable	Estándar basado en estética no en la salud; si la coloración del agua es un problema, considere tratamiento.



Contaminantes de origen químico

Amoniaco (NH_3)

La concentración correspondiente al *umbral olfativo del amoniaco (NH_3) a pH alcalino* es de aproximadamente **1.5 mg/l**, y se ha sugerido un *umbral gustativo* de **35 mg/l** para el *catión amonio (NH_4^+)*.

El amoníaco (NH_3) reacciona con el cloro (Cl_2) *para reducir el cloro libre y formar cloraminas*.

Estas concentraciones de amoniaco **no tienen un impacto directo en la salud** y no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.





Contaminantes de origen químico

Cinc (Zn)

El cinc confiere al agua un *sabor astringente indeseable y su umbral gustativo* (como sulfato de cinc) es de aproximadamente **4 mg/l**.

El agua con concentraciones de cinc mayores a **3–5 mg/l** *puede tener un color opalino y producir una película oleosa al hervirla*.

Aunque el agua de uso y consumo humano *rara vez contiene cinc en concentraciones por encima de 0.1 mg/l*, los niveles en el agua de grifo pueden ser sustancialmente mayores debido al cinc utilizado en *materiales de fontanería galvanizados* más antiguos; *esto también puede ser un indicador del nivel elevado de cadmio* presente en materiales tan antiguos.

No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cinc en el agua de uso y consumo humano





Contaminantes de origen químico

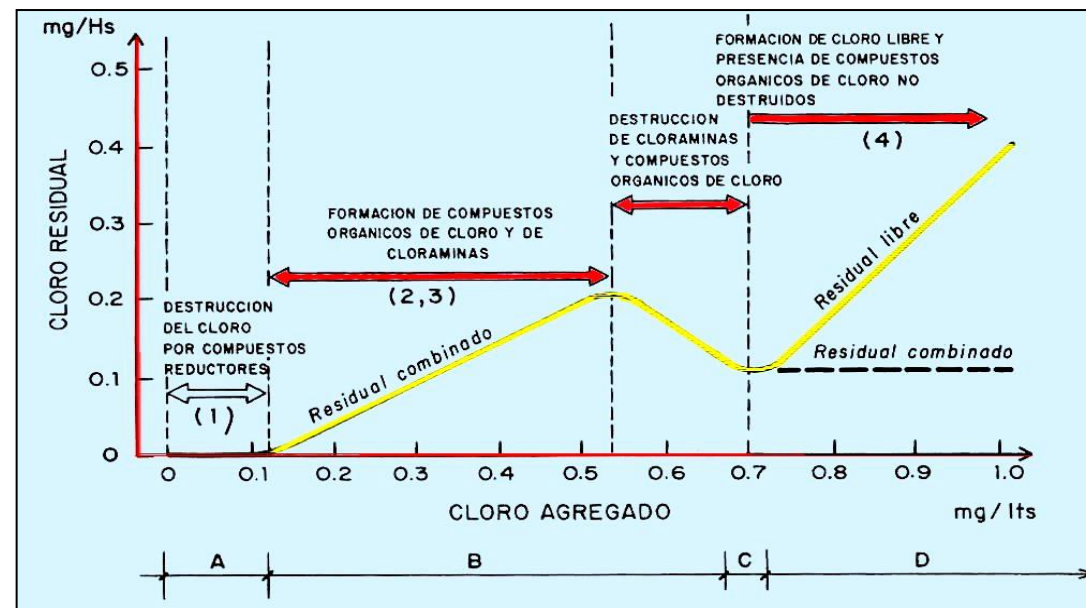
Cloraminas (NH_2Cl)

Las cloraminas, tales como la **monocloramina** (NH_2Cl), la **dicloramina** (NHCl_2) y la **tricloramina** (NCl_3), **son producto de la reacción del cloro con el amoníaco**. De las cloraminas el único desinfectante de cloro que resulta útil es la monocloramina.

Es probable que las cloraminas en niveles más elevados, en particular la **tricloramina**, ocasionen quejas respecto al **sabor y el olor**. Para la **monocloramina**, no se detectó olor ni sabor a concentraciones entre **0.5 y 1.5 mg/l**. Sin embargo, se han reportado **efectos organolépticos leves** dentro de este rango y umbrales olfativos y gustativos de **0.48 y 0.65 mg/l**

Para la **dicloramina**, se encontró que los efectos organolépticos entre **0.1 y 0.5 mg/l** eran “leves” y “aceptables”. Se reportaron **umbrales olfativos y gustativos** de **0.15 y 0.13 mg/l**, respectivamente.

Se ha reportado un umbral olfativo de **0.02 mg/l** para **tricloramina**, y se ha descrito como de “**geranio**”.





Cloro (Cl)

La mayoría de las personas *pueden detectar, mediante el olfato o el gusto*, la presencia en el agua de uso y consumo humano de concentraciones de cloro bastante menores que **5 mg/l**, y algunas incluso pueden detectar hasta **0.3 mg/l**.

El umbral gustativo del cloro es menor que su valor de referencia basado en efectos sobre la salud.

Para que la desinfección sea eficaz, debe haber una concentración **residual de cloro libre** de = **0.5 mg/l** tras un **tiempo de contacto** de al menos **30** minutos a un pH < **8.0**. *Se debe mantener una concentración residual de cloro a lo largo del sistema de distribución.*

En el punto de entrega, *la concentración residual mínima del cloro libre* debe ser **0.2 mg/l**.

Valor de referencia el Cloro = 5mg/l

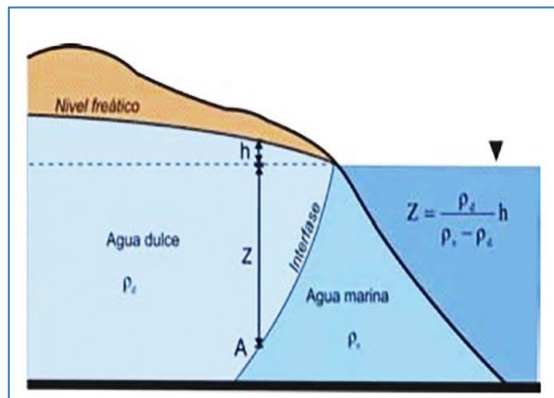




Cloruro (Cl^-)

Las altas concentraciones de cloruro *confieren un sabor salado* al agua y a las bebidas. Existen diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado y están en el rango de **200-300mg/l** para *cloruro de sodio* (NaCl), *cloruro de potasio* (KCl) y *cloruro de calcio* (CaCl_2).

A concentraciones superiores a **250 mg/l** es cada vez *más probable que los consumidores detecten el sabor del cloruro*, pero algunos consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas.



No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de uso y consumo humano.

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Cloruro Sal común en aguas subterráneas. El estándar secundario de EPA por cloro es 250 mg/L; altas concentraciones pueden causar el sabor salado en el agua.	ND o menos de 250 (mg/L)	Satisfactorio	No es necesario ninguna acción
	250 o más (mg/L)	Objetable	Estándar basado en estética no en la salud; si el sabor salado del agua es un problema, considere tratamiento.

Entre los riesgos más presentados por el exceso de sal se encuentra: ***aumento en presión arterial, vulnerabilidad a los cálculos y lesiones renales, osteoporosis, apoplejía, cáncer estomacal, entre otras.***



Cobre (Cu)

Por lo general, la presencia de cobre en un sistema de abastecimiento de agua de uso y consumo humano **se debe a la acción corrosiva del agua que disuelve las tuberías de cobre** en las edificaciones. Se ha demostrado que los altos niveles de oxígeno disuelto en algunos casos aceleran la corrosión del cobre.

Las concentraciones altas pueden interferir con los usos domésticos previstos del agua. Cuando la concentración de cobre es mayor a **1 mg/l**, **mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios**.

A niveles por encima de **5 mg/l**, el cobre también **tiñe el agua y confiere un sabor amargo no deseado**.

Aunque el cobre puede conferir sabor al agua, es seguramente aceptable a concentraciones iguales al **valor de referencia basado en efectos sobre la salud de 2 mg/l**





Color

Idealmente, el agua de uso y consumo humano **no debe tener ningún color visible**.

Por lo general, el color en el agua de uso y consumo humano se debe a:

- la presencia de **materia orgánica** coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos).
- presencia de **hierro y otros metales** (impurezas naturales o corrosión)
- **efluentes industriales**.

Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, **se debe investigar su origen**, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial, porque puede ser el primer **indicio de una situación peligrosa**.

La mayoría de las personas puede **percibir niveles de color por encima de 15** unidades de color verdadero (UCV) en un vaso de agua y lo suelen considerar aceptable por debajo de **15 UVC**.

No se propone ningún valor de referencia
basado en efectos sobre la salud para el color.





Detergentes sintéticos

En muchos países, los **detergentes aniónicos persistentes** se han sustituido por otros que se biodegradan con más facilidad y, por tanto, *las concentraciones detectadas en fuentes de agua han disminuido sustancialmente.*

No se debe permitir que la concentración de detergentes en el agua de uso y consumo humano alcance niveles que *ocasionen la formación de espuma o problemas de sabor.*

La presencia de cualquier detergente *puede indicar contaminación de la fuente* de agua con aguas residuales o el ingreso de la solución detergente al sistema de distribución, como resultado del **flujo de retorno.**





Dureza

Por lo general, la dureza del agua, derivada de la **presencia de calcio y magnesio**, se manifiesta por la precipitación de restos de jabón y la necesidad de utilizar más jabón para conseguir la limpieza deseada.

La aceptabilidad por parte de la población del grado de dureza del agua puede variar considerablemente de una comunidad a otra. **El valor del umbral gustativo del ion calcio se encuentra entre 100 y 300 mg/l**, dependiendo del anión asociado, mientras que **el del magnesio es probablemente menor** que el del calcio. Algunos consumidores toleran una dureza del agua mayor que **500 mg/l**.

El agua con una dureza mayor a aproximadamente **200 mg/l**, en interacción de otros factores, como el pH y la alcalinidad, **puede provocar la formación de incrustaciones** en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución, y las tuberías y depósitos de los edificios.

Las aguas duras, **al calentarlas, forman precipitados de carbonato de calcio**.

Las aguas blandas, con una dureza menor a **100 mg/l**, pueden tener una capacidad de amortiguación del pH baja y ser, por tanto, **más corrosivas** para las tuberías.

No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza del agua de uso y consumo humano.





Origen de la Dureza

Se origina principalmente por los **cationes de calcio y de magnesio** que comúnmente se encuentran en las aguas naturales, pero igualmente puede encontrarse pequeñas cantidades de iones de otros metales polivalentes como **hierro, aluminio, magnesio, estroncio y zinc**.

Clasificación de la Dureza

Aguas Blandas	0 – 75 mg/l	Como CaCO_3
Moderadamente Duras	75 - 150 mg/l	Como CaCO_3
Duras	150 – 300 mg/l	Como CaCO_3
Muy Duras	> 300 mg/l	Como CaCO_3

Tratamiento Para reducir la dureza

- Ablandamiento
- Desmineralización



Clasificación de la Dureza de acuerdo al tipo de Catión y tipo de Radical

De acuerdo al tipo de catión:

- 1- **Dureza cálcica:** debida al catión Ca^{++}
- 2- **Dureza magnésica:** debida al catión Mg^{++} .

De acuerdo al radical con que se combina:

- 1- **Dureza carbonatada o temporal:** combinando los cationes con el bicarbonato.
- 2- **Dureza no carbonatada o permanente:** No combinando los cationes con el bicarbonato.

Si $\text{DT} < \text{Alcalinidad}$, toda D. carbonatada

Si $\text{DT} > \text{Alcalinidad}$, hay $\text{DCa} + \text{DNCa}$

Dureza Total, mide el contenido total en iones de Ca^{++} y Mg^{++} , y equivale a la suma de la D. carbonatada + D. No carbonatada.



Problemas causados por la dureza (fuente: Culligan)

- ✓ Una familia de **4** miembros podría llegar a **acumular hasta 70 kilos de cal** por año en las tuberías de casa.
- ✓ Electrodomésticos como lavadoras, lavavajillas o calentadores sufren más cuando tenemos agua con un alto contenido en cal: la dureza del agua puede **ocasionar averías graves en las bombas**.
- ✓ Las resistencias de los electrodomésticos que reciben agua dura **consumen hasta un 60% más de energía** para realizar su función.
- ✓ Un agua con exceso de cal **resta eficacia** a los principios activos de los productos de limpieza e higiene. **El consumo de detergente se puede llegar a disparar el 75%** para conseguir la misma limpieza en la ropa.
- ✓ Se calcula que una acumulación de cal en una caldera de agua de **1,6** milímetros de grosor **reduce la eficacia del aparato en un 12%**.
- ✓ La incrustación de cal en las tuberías reduce su diámetro y puede provocar la **obstrucción** de las mismas.
- ✓ El exceso de cal en el agua también **obstruye los poros de nuestra piel** además de provocar sequedad. También reseca nuestro cabello.
- ✓ Las personas con problemas en la piel los acentúan cuando en casa tienen agua con un excesivo contenido en cal. Las consecuencias son **eccemas** y la aparición de enfermedades como la **dermatitis atópica**.
- ✓ Un agua con demasiado contenido en carbonato cálcico puede **provocarnos cálculos**.
- ✓ Regar las plantas con agua dura hace que no tengan los nutrientes necesarios, **marchita las flores y amarillea las hojas**.



Hierro (Fe)



En las aguas *subterráneas anaerobias puede haber concentraciones de hierro ferroso (Fe^{2+})* de hasta varios miligramos por litro sin que se manifieste alteración alguna del color ni turbiedad al bombearla directamente desde un pozo. Sin embargo, *al entrar en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico(Fe^{3+})*, tiñendo el agua de un color marrón rojizo.

El hierro *promueve la proliferación de “bacterias ferruginosas”*, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías.

En niveles por encima de **0.3 mg/l**, *el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería.*

En general, *no se aprecia ningún sabor por debajo de 0.3 mg/l*, aunque pueden aparecer turbiedad y coloración.

No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud, para el hierro





Efectos ocasionados por altas concentraciones de hierro

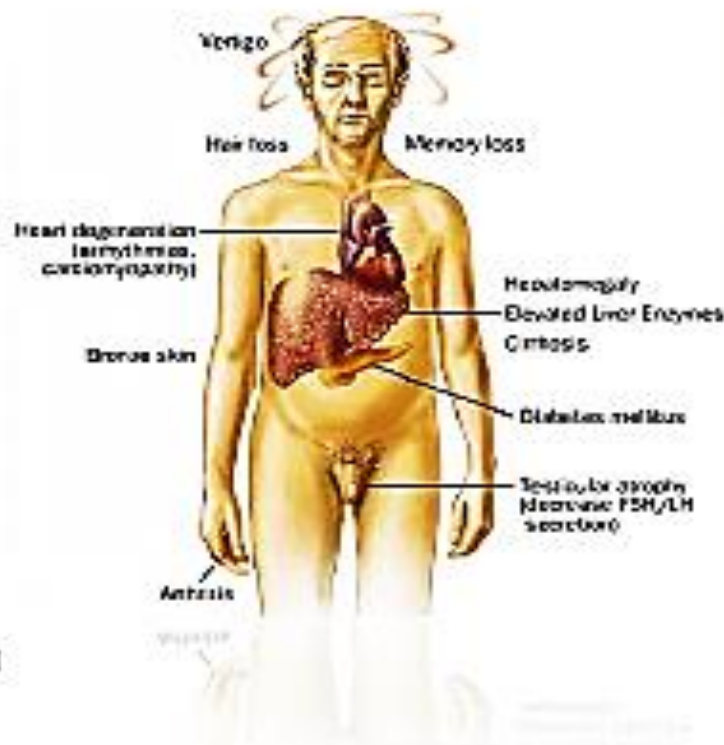
Hierro

Padecimientos Ocasionados

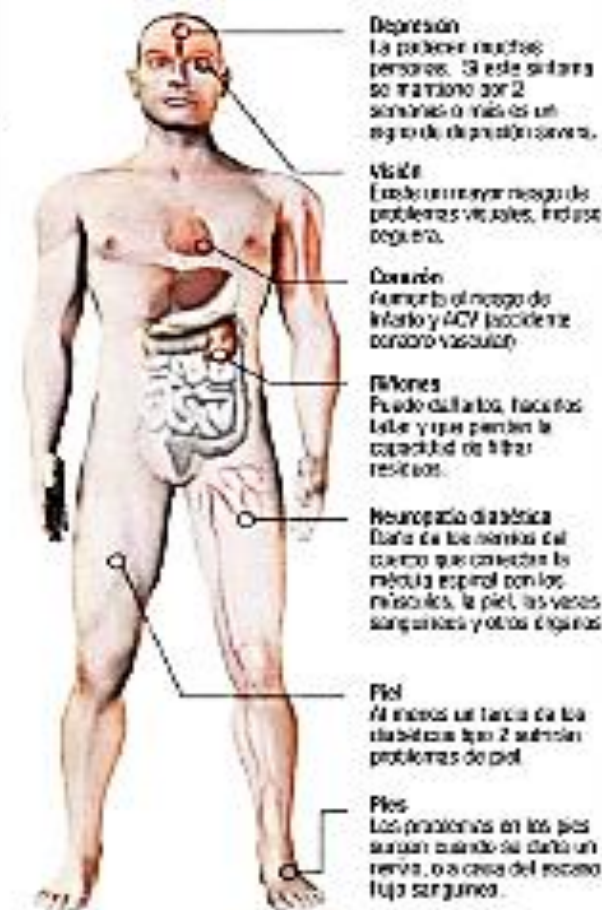
- Hemocromatosis
- Hematoquecia
- Taquicardia
- Ictericia
- Convulsiones
- Letargia
- Taquipnea
- Irritabilidad
- Diabetes, Artritis
- Dolor abdominal
- Fiebre
- Cirrosis, Insuficiencia hepática

Hemocromatosis

Es un trastorno que interfiere con la capacidad del cuerpo para descomponer el hierro y ocasiona la absorción de demasiada cantidad de este elemento del tubo digestivo.



Diabetes





Manganeso (Mn)

La presencia de manganeso a *concentraciones mayores a 0.1 mg/l* en sistemas de abastecimiento de agua puede *producir*:

- ✓ un **sabor indeseable** en bebidas, y
- ✓ **mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios.**

Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeso en el agua de uso y consumo humano *puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución.*

Las concentraciones menores a **0.1 mg/l** *suelen ser aceptables* para los consumidores.

En algunas condiciones, el manganeso puede estar en concentraciones mayores a **0,1 mg/L** y puede permanecer en solución durante un período más largo comparado con su solubilidad habitual en el agua potable, pero en una concentración de **0.2 mg/l**, el manganeso **formará con frecuencia una capa en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro.**

El valor de referencia basado en efectos sobre la salud de 0.4 mg/l (mayor que el umbral de aceptabilidad de 0.1 mg/l).





Métodos para eliminación de Hierro y manganeso

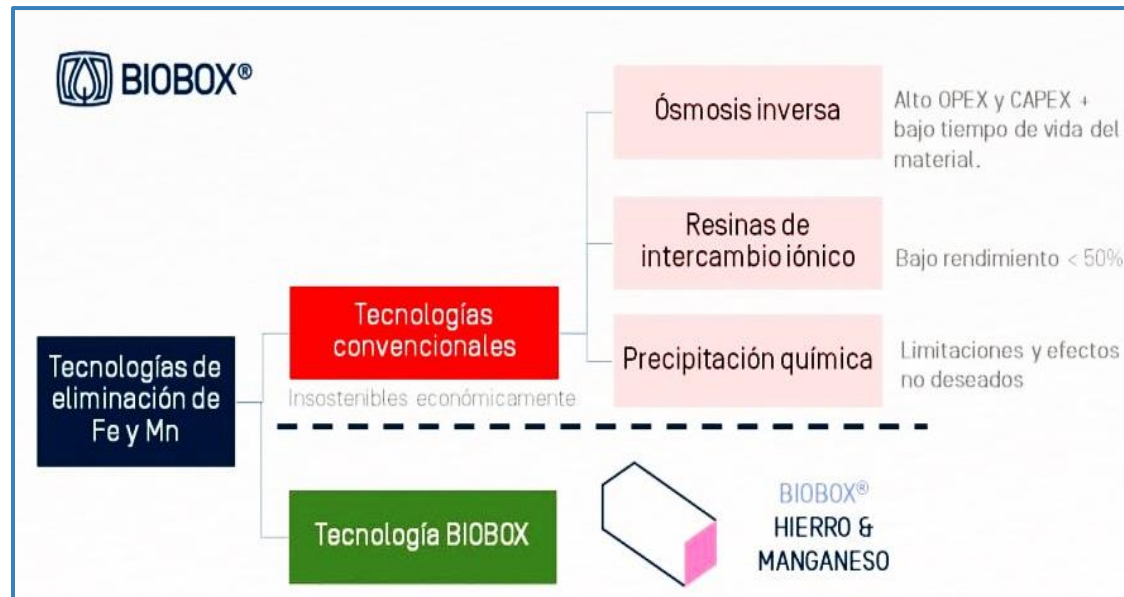
BIOBOX: Cuenta con un medio filtrante de una superficie específica elevadísima ($> 1500 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Este material utilizado es extremadamente poroso, con muy baja pérdida de carga y unas características superficiales mejoradas que optimizan sustancialmente el proceso.

Para el uso de esta tecnología, *hay dos enfoques posibles* en función de las concentraciones de hierro y manganeso del agua a tratar:

El primero la oxidación auto-catalítica, que funciona mejor con concentraciones moderadas de hierro y manganeso. Este tratamiento es adecuado para concentraciones inferiores a **2 mg/l** de hierro mineral y **0,5 mg/l** de manganeso.

La segunda opción de tratamiento consiste en un proceso previo de particulación del hierro y manganeso presentes en el agua seguido de un proceso de retención particular con un medio filtrante específico.

Este tratamiento es adecuado para concentraciones superiores a **2 mg/l** de hierro mineral y **0,5 mg/l** de manganeso.





Oxígeno disuelto (OD)

*En el contenido de **oxígeno disuelto** en el agua de consumo humano influyen varios factores como:*

- los valores de oxígeno disuelto en la fuente de agua;
- la temperatura;
- el tratamiento al que se somete; y
- los procesos químicos o biológicos que tienen lugar en el sistema de distribución.

*El **agotamiento del oxígeno disuelto** en los sistemas de abastecimiento de agua puede estimular:*

- ✓ la reducción microbiana del **nitrato a nitrito y del sulfato a sulfuro**,
- ✓ puede hacer que aumente la concentración de **hierro ferroso** en solución, con el consiguiente cambio de color del agua al entrar en contacto con el aire al salir del grifo.
- ✓ Además, niveles muy altos de oxígeno disuelto *pueden agravar la corrosión de las tuberías de metal.*

No se recomienda ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.





pH

Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, **es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua**. Se debe prestar mucha atención al control del pH en todas las etapas del tratamiento del agua **para garantizar que su clarificación y desinfección sean satisfactorias**.

Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea menor que **8**; sin embargo, el agua con un pH más bajo (**< 7**) será probablemente corrosiva.

Si no se logra minimizar la corrosión, puede provocar la contaminación del agua de uso y consumo humano y **dar lugar a efectos adversos sobre su sabor y aspecto**.

El pH óptimo requerido variará en distintos sistemas de abastecimiento de acuerdo con la composición del agua y la naturaleza de los materiales empleados en el sistema de distribución, pero **suele oscilar entre 6.5 y 8.0**.

Pueden producirse valores de pH extremos como consecuencia de **vertidos accidentales, averías de las instalaciones de tratamiento, y del revestimiento de tuberías** con mortero de cemento poco curado o la aplicación del revestimiento cuando la alcalinidad del agua es baja.

No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH.





pH

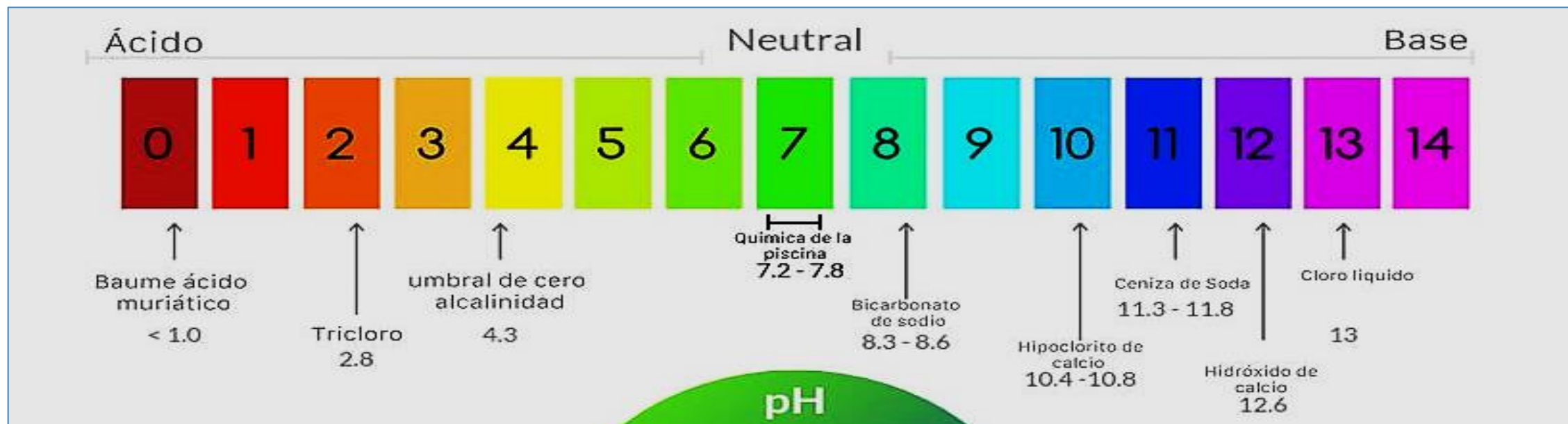
Los datos de **pH** dan el valor de la concentración del ión $[H^+]$ y por consiguiente el **grado de acidez o de alcalinidad que pueda tener el agua**. En aguas naturales el pH está entre **6.5** y **9**, generalmente.



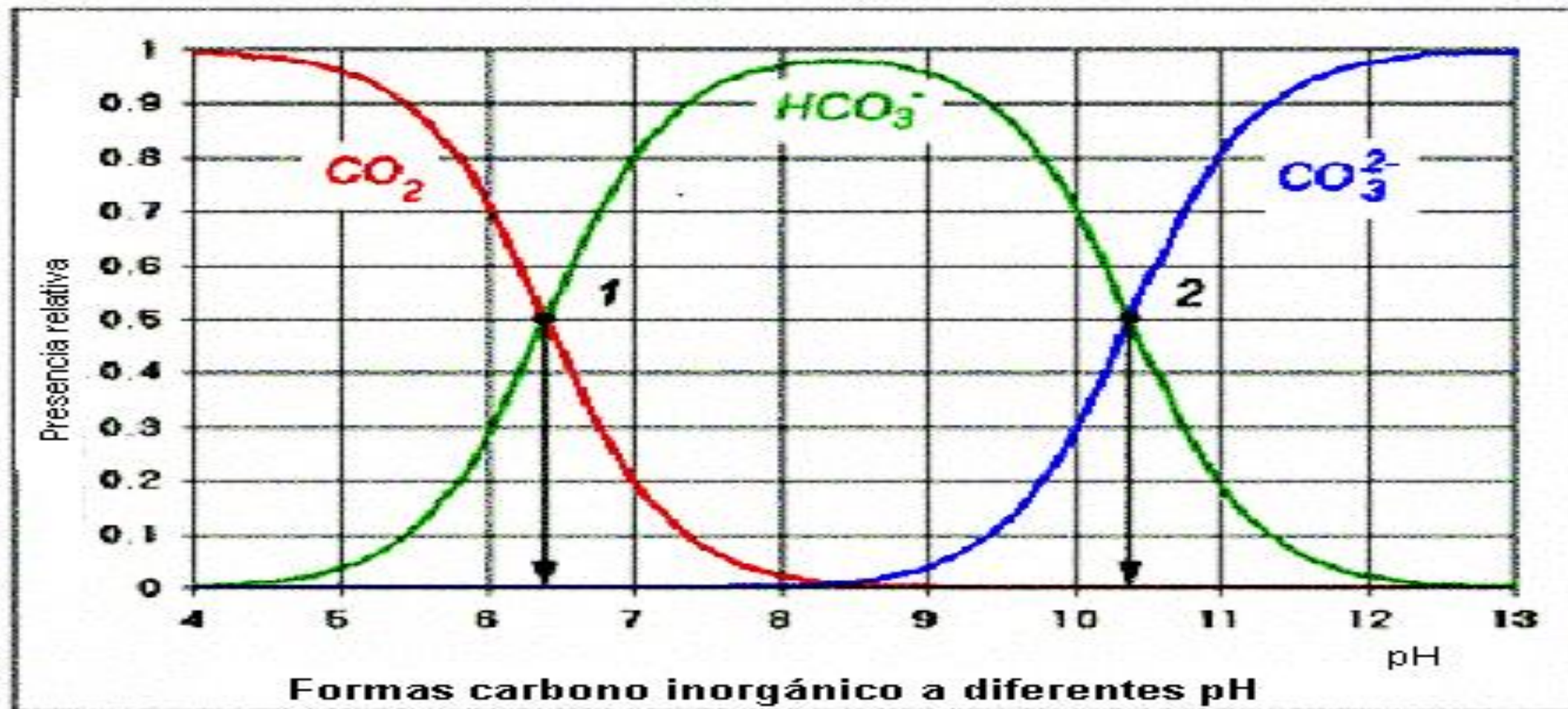
OH^- = ion Hidróxido



H_3O^+ = ion Hidronio



Formas del carbono orgánico a diferente pH





Productos derivados del petróleo

Los productos derivados del petróleo pueden ocasionar la *presencia de diversos hidrocarburos de bajo peso molecular*, cuyos **umbrales olfativos** en el agua de uso y consumo humano **son bajos**.

El benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos (BTEX) se tratan individualmente en esta sección, ya que se han calculado *valores de referencia basados en efectos sobre la salud* para estas sustancias químicas.

Ciertos hidrocarburos, en especial los **alquilbencenos**, como el **trimetilbenceno**, *pueden generar un olor muy desagradable, parecido al del diésel*, en concentraciones de unos pocos microgramos por litro.

La experiencia indica que el **umbral gustativo** de una mezcla de hidrocarburos aromáticos de bajo peso molecular *es menor que el umbral de las sustancias individuales*.

El diésel es una fuente particularmente rica de dichas sustancias.





Sodio (Na)



Las sales de sodio más importantes en la naturaleza son el **cloruro de sodio** (sal de roca), el **carbonato de sodio** (sosa y trona), el **borato de sodio** (bórax), el **nitrate de sodio** (nitrate de Chile) y el **sulfato de sodio**. El sodio reacciona con rapidez con el agua, para producir **hidróxido de sodio e hidrógeno**.

La concentración correspondiente al umbral gustativo del sodio en el agua *depende del anión asociado y de la temperatura de la solución*.

A temperatura ambiente, **el umbral gustativo** promedio del sodio es de **200 mg/l** aproximadamente.

OMS: No ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud, puesto que la contribución del agua de uso y consumo humano al consumo diario es pequeña.

Tratamiento:

- Osmosis inversa,
- Electrodialisis
- Destilación e
- Intercambio iónico

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Sodio Sal común en aguas subterráneas la cuál puede dar un gusto salado en concentraciones mayores a 250 mg/L; sodio puede contribuir a hipertensión y altos niveles en agua potable deben ser notificados a personas en dietas de bajo sodio.	Cualquier valor	Satisfactorio	Sodio en agua potable puede oscilar entre 0.4 a 1,900 mg/l; consumo de sodio en el agua potable debe ser considerado en las personas en dieta de bajo sodio ya que puede aumentar el riesgo a enfermedades cardiovasculares.



Sulfato (SO_4^{2-})

La presencia de sulfato en el agua de uso y consumo humano **puede generar un sabor perceptible y en niveles muy altos podría provocar un efecto laxante** en consumidores no habituados.

El deterioro del sabor varía en **función de la naturaleza del catión asociado**; se han determinado umbrales gustativos que van de **250 mg/l para el sulfato de sodio** a **1000 mg/l para el sulfato de calcio**.

Por lo general, se considera que **el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor a 250 mg/l**.

No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato.

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Sulfato Sal común en aguas subterráneas lo cuál puede impartir sabor salado al agua; altas cantidades pueden causar molestias gastro-intestinales en personas no acostumbradas al agua.	ND o menos de 250 (mg/L)	Satisfactorio	No es necesario ninguna acción
	250 o más (mg/L)	Objectable	Estándar basado en la estética no en la salud; si el sabor salado es un problema, considere tratamiento.

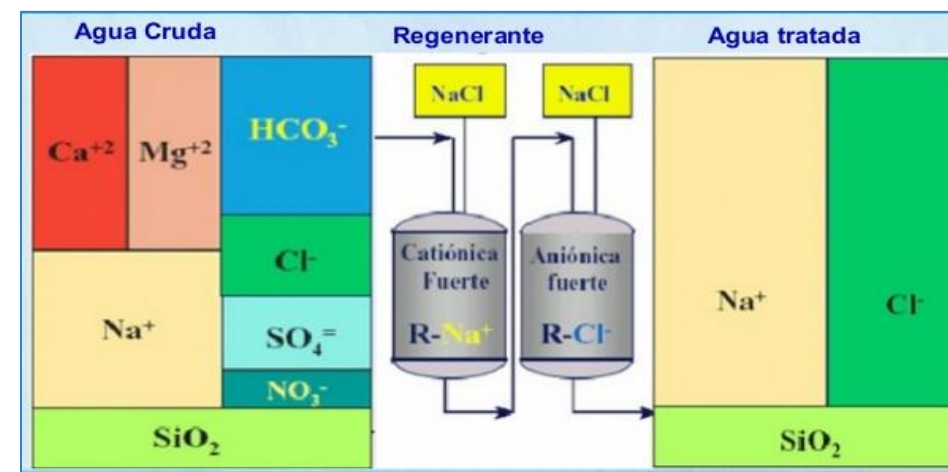
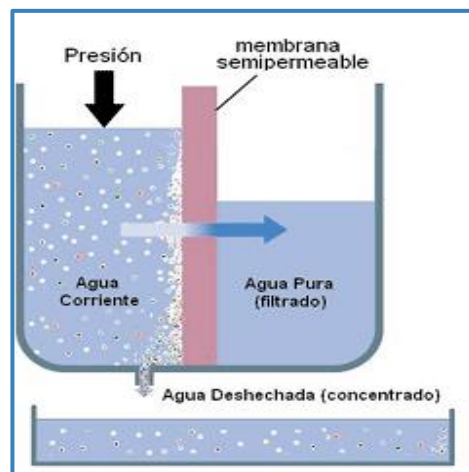


Importancia Sanitaria del sulfato

- Combinados con el calcio (Ca^{++}) y el magnesio (Mg^{++}) **forman incrustaciones duras en tuberías y artefactos** donde se conduce, cuando se calienta o evapora agua:
$$\text{Ca}^{++} + \text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 \downarrow \text{ (insoluble y muy duro)}$$
- **Es laxante** si la concentración es mayor de **500 mg/l**. Se recomienda un límite superior de **250 mg/l** para agua tratada.
- **Es tóxico** para plantas y animales si la concentración es mayor de **200 mg/l**
- **Puede producir un sabor** apreciable en concentraciones mayores que **250 mg/l**
- **Contribuye a la corrosión** de los sistemas de distribución.

Tratamiento:

- Osmosis inversa,
- Destilación e
- Intercambio iónico





Sulfuro de hidrógeno (H_2S)

Se estima que *los umbrales gustativo y olfativo del sulfuro de hidrógeno en el agua se encuentran entre 0.05 y 0.1 mg/l.*

El olor a “huevo podrido” del sulfuro de hidrógeno resulta especialmente *perceptible en ciertas aguas subterráneas y en el agua de uso y consumo humano estancada* en el sistema de distribución; ello se debe al agotamiento del oxígeno y a la consiguiente reducción del sulfato por la actividad bacteriana.

El sulfuro se oxida rápidamente a sulfato en aguas bien oxigenadas o cloradas, de modo que los niveles de sulfuro de hidrógeno en sistemas de abastecimiento de agua oxigenados suelen ser muy bajos.

Cuando el agua de uso y consumo humano contiene **sulfuro de hidrógeno**, *los consumidores lo pueden detectar con facilidad* y es necesario aplicar inmediatamente medidas correctivas.

No se ha establecido un valor de referencia basado en efectos sobre la salud, porque no es probable que una persona pueda ingerir una dosis dañina de sulfuro de hidrógeno en el agua de uso y consumo humano.



Solidos disueltos totales (SDT)

El **sabor** del agua con una concentración de SDT *menor que 600 mg/l suele considerarse aceptable*, pero a concentraciones mayores a aproximadamente **1000 mg/l**, *la aceptabilidad del sabor del agua de consumo humano disminuye significativa y progresivamente*.

Los consumidores también pueden considerar inaceptable la presencia de **concentraciones altas de SDT debido a que genera excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores, calderas y electrodomésticos**.

No se ha propuesto
ningún valor de
referencia basado en
efectos sobre la salud
para los SDT





Turbiedad

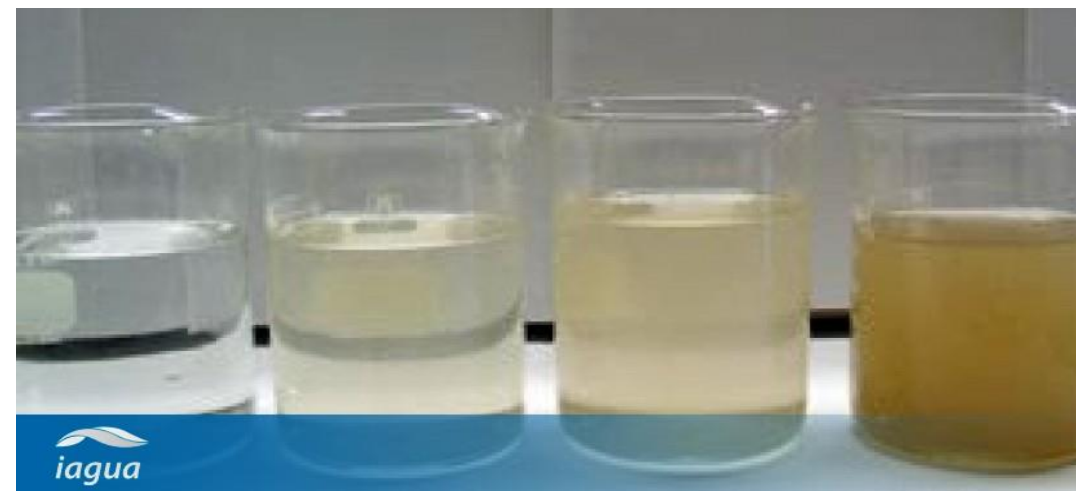
La turbidez, *describe la pérdida de claridad* (limitando la transmisión de luz) del agua causada por **partículas en suspensión**, (por ej., arcilla y sedimentos), **precipitados químicos** (por ej., manganeso y hierro), **partículas orgánicas** (por ej., **desechos vegetales**) y organismos.

La turbidez puede ser causada por la mala calidad del agua de la fuente, *el tratamiento deficiente* y, en los sistemas de distribución, por la alteración de sedimentos y biopelículas o el ingreso de agua sucia a través de roturas de tuberías principales y otras fallas.

En niveles elevados, la turbidez puede producir manchas en los materiales, accesorios y ropa expuestos durante el lavado, además interfiere en la eficacia de los procesos de tratamiento.

Debajo de **4** UNT, la turbidez se puede detectar solo con instrumentos, pero *con 4 UNT o más, puede verse una suspensión de color blanco lechoso, barroso, rojo-marrón o negra, reduciendo la aceptabilidad del agua potable.*

Muchos consumidores asocian la turbidez con *la seguridad y consideran que el agua turbia no es segura para beber.*



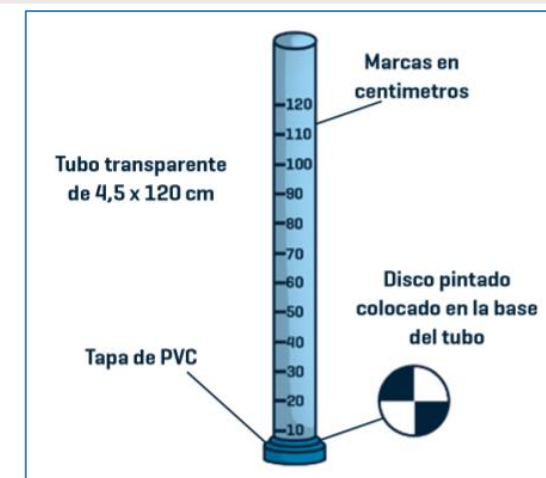


Turbiedad

Es producida por **material en suspensión, especialmente coloidal y dispersa**, afecta la estética del agua y dificulta la filtración, se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU).



Unidades de profundidad en centímetros (cm)	Equivalente de turbiedad en NTU Unidades nefelométricas de turbidez
Mayor de 120 cm	Menos de 5 NTU
Mayor de 60cm	Menos de 10 NTU
Entre 25 a 30 cm	25 NTU
Aproximadamente 5cm	De 200 a 300 NTU





Tratamiento de los problemas de sabor, olor y apariencia

En muchos casos, se pueden prevenir problemas estéticos del agua de consumo humano al optimizar los procesos de *tratamiento convencional tales como coagulación, sedimentación y cloración*. Sin embargo, si se considera necesario un tratamiento específico, generalmente *la aeración, el carbón activado en polvo o granular, y la ozonización son técnicas eficaces de eliminación de sustancias químicas orgánicas y algunas inorgánicas, tales como sulfuro de hidrógeno*, que causan sabores y olores.

Los sabores y olores *causados por los desinfectantes* se controlan mejor mediante la operación cuidadosa del proceso de desinfección y el pretratamiento para eliminar precursores.

El manganeso puede ser eliminado *mediante la cloración seguida de la filtración*.

El sulfuro de hidrógeno se puede eliminar con: *aeración, carbón activado granular, filtración y oxidación*.

El amoníaco puede ser eliminado mediante la *nitrificación biológica*.

La dureza se puede reducir por medio de *ablandamiento usando precipitación o el intercambio catiónico*.



Temperatura

Es la medida del calor almacenado en el agua, por lo general, el agua fría tiene un sabor más agradable que el agua tibia, *la temperatura repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos* que pueden afectar el sabor.

La temperatura alta del agua *potencia la proliferación de microorganismos* y puede incrementar los problemas de *sabor, olor, color y corrosión*.





Olor

Los olores en el agua son causados por los diversos compuestos que puedan estar presentes en ella, y algunos se producen por **gases desprendidos por la descomposición de la materia orgánica**.. Es más común en las aguas superficiales como las de los ríos.

Este examen se debe hacer de inmediato y tiene que confiarse al sentido del olfato. **La muestra se toma en un frasco que debe estar lleno en las dos terceras partes**. La clasificación del olor puede ser: inodora, o sea sin olor, desagradable, aromática, etc.

Producto químico	Sabor y olor	/Origen
/ Geosmina	Olor a hierba y terroso	/ actinomicetos, algas verde-azules y algas verdes.
/ 2-Metilisoborneol (MIB)	/ olor a humedad	/ actinomicetos y algas verde-azules.
2t, 4c, 7c-decatrienal	/ olor a pescado	/ algas azul-verdes.
/Cloro	lejía, a cloro, o el sabor y el olor medicinal	/cloro empleado como desinfectante.
/ Cloraminas	/ piscina, cloro, olor o geranio	/cloro y amoníaco empleado como desinfectante.
/ Aldehídos	/ frutado	/ Ozonización del agua para la desinfección.
/Fenoles y clorofenoles	/farmacéuticos o medicinales gusto	/Fenoles (procedentes generalmente de los residuos industriales). Clorofenoles (formados cuando los fenoles reaccionan con el cloro de desinfección).
/Hierro	/ sabor metálico oxidado	/ minerales del suelo.
/ Manganeseo	/ sabor metálico oxidado	/ minerales del suelo.
/ Sulfuro de hidrógeno	/ olor a huevo podrido	ound. / microorganismos anaerobios en las aguas superficiales o sulfatos dell suelo.
/ Gas metano	/sabor a ajo	/ descomposición de materia orgánica.

Sabor

proviene de la **descomposición de la materia orgánica** y del proceso metabólico de la acción microbiana, es inapropiado para usos doméstico e industrial. También pueden desarrollarse durante el almacenamiento y la distribución del agua, sabores debidos a la actividad microbiana.

Los sabores del agua de consumo ***puede revelar la existencia de algún tipo de contaminación, o el funcionamiento deficiente*** de algún proceso durante el tratamiento o la distribución del agua. Por lo tanto, puede indicar la presencia de sustancias potencialmente dañinas.



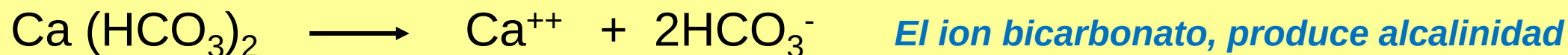
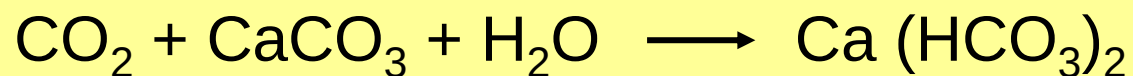


Alcalinidad



Capacidad del agua para neutralizar ácidos y/o la presencia de iones OH^- , $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^-

El *bicarbonato representa la mayor forma de alcalinidad*, puesto que éste se forma de la acción del bióxido de carbono (CO_2) sobre los componentes básicos del suelo, como por ejemplo, con el carbonato de calcio (CaCO_3).



La alcalinidad también se debe a **bases fuertes**, en este caso, se denomina “**alcalinidad hidróxido**” o “alcalinidad $[\text{OH}^-]$ ”

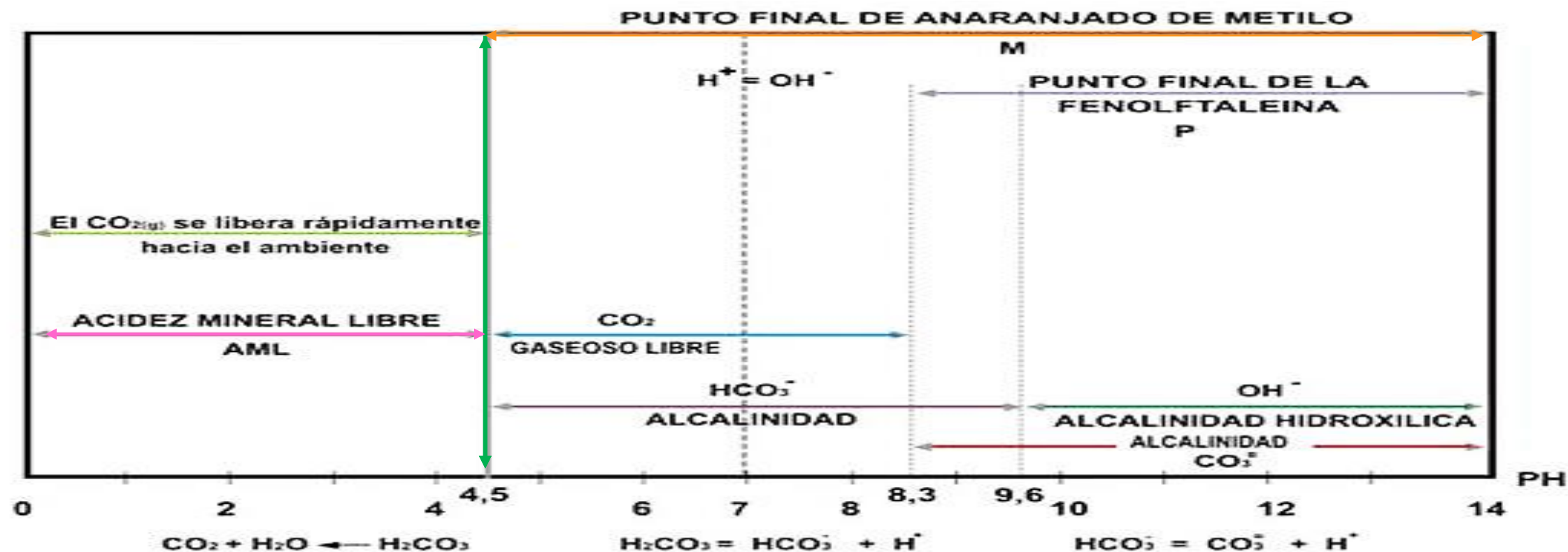
Ejemplo: **Soda cáustica**





Formas de Alcalinidad

La clasificación considera que toda la alcalinidad *se debe a los iones carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos* suponiendo la ausencia de ácidos débiles de composición orgánica e inorgánica lo mismo se supone de la *incompatibilidad, en una misma muestra de las alcalinidades de bicarbonatos e hidróxidos*.



Se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento con ácido o desmineralización por intercambio iónico



Importancia sanitaria de la Alcalinidad

- El agua presenta **sabor muy desagradable con alcalinidad muy alta**.
- La **precipitación de sales de calcio** en tuberías, reduce su capacidad hidráulica con el tiempo.
- Puede producir un **pH inadecuado en tratamientos químicos y biológicos**. (pH > **9.5** es malo para las bacterias).

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Alcalinidad (Como CaCO ₃ Total) La habilidad del agua de compensar cambios en pH. Alta alcalinidad significa el agua es menos probable de experimentar grandes cambios en acidez.	ND o Menor a 100 (mg/L)	Potencial de Corrosión	Si la alcalinidad disminuye a menos de 100, y el pH es menor a 6.5 el potencial de corrosión aumenta en las tuberías liberando metales al agua.
	100 a 200 (mg/L)	Satisfactorio	Suficiente potencial regulador que resiste los cambios en pH y generalmente no se produce revestimiento en tuberías.
	200 o más (mg/L)	Potencial de revestimiento	Posible revestimiento en tuberías y calentadores de agua.



Calcio (Ca^{++})

Los iones Calcio disueltos en el agua **forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura**, es decir, cuando contiene demasiado calcio o magnesio. Esto se puede evitar con los ablandadores de agua.

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Calcio Metal que ocurre naturalmente, esencial en la dieta humana, y común en aguas subterráneas con concentraciones en el rango de cero a varios cientos mg/L. Es el mayor contribuidor de la dureza del agua lo que puede causar problemas de revestimiento en tuberías y calentadores de agua	Cualquier valor	Satisfactorio (dependiendo de la dureza)	Calcio no plantea un riesgo a la salud; calcio y magnesio juntos forman la dureza en el agua; lea la hoja de datos en dureza.

El valor del umbral gustativo del ion calcio se encuentra entre **100 y 300 mg/l**, dependiendo del anión asociado,

Efectos ambientales del Calcio

El fosfato de calcio es muy tóxico para los organismos acuáticos.

Remoción: se realiza por precipitación (CO_3Ca) e intercambio iónico



Carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$)

Los carbonatos ***son las sales del ácido carbónico o ésteres***. Las sales tienen en común el anión CO_3^{2-} y se derivan del ácido carbónico (H_2CO_3). Según el pH (la acidez de la disolución) están en equilibrio químico con el bicarbonato y el dióxido de carbono.

La mayoría de los carbonatos son poco solubles en agua, excepto los carbonatos de los metales alcalinos. El carbonato más abundante es el carbonato cálcico (CaCO_3).



Los carbonatos suelen presentarse en forma de minerales como la calcita en los que se el calcio puede estar sustituido por iones Mn^{2+} , Fe^{2+} o Mg^{2+} .

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Carbonato como CO_3 Mineral encontrado en aguas subterráneas. Consulte alcalinidad.	Cualquier valor	Satisfactorio (dependiendo de alcalinidad)	Carbonato no plantea un riesgo a la salud; carbonato o y bicarbonato están estrechamente relacionados a la alcalinidad;



Bicarbonatos (HCO_3^-)

La principal función del bicarbonato de sodio es como **neutralizador de ácidos**. Entre los efectos secundarios que se pueden presentar tras el consumo de este compuesto son: **alcalosis metabólica, edema debido a la sobrecarga de sodio y insuficiencia cardíaca congestiva**.

Al disolverse el bióxido de carbono (CO_2) en el agua, se origina ácido carbónico (H_2CO_3), el cual al disociarse, produce el ion bicarbonato e ion carbonato, de acuerdo a las siguientes reacciones:



Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Bicarbonato como HCO_3 Bicarbonato es el principal constituyente de alcalinidad en agua potable. Consulte alcalinidad.	Cualquier valor	Satisfactorio (dependiendo de alcalinidad)	Bicarbonato no plantea un riesgo a la salud; bicarbonato y carbonato están estrechamente relacionados a la alcalinidad.



Conductividad

Está relacionada con la **concentración de los sales en disolución**, cuya disociación genera iones capaces de transportar la energía eléctrica. **Se mide en microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$)**

Para realizar cálculos aproximados se acepta que la **Salinidad Total (ST)** del agua (expresada en mg/L) corresponde al valor de la **Conductividad (CE)** (expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$) multiplicado por un factor de **0,6 – 0,7**.

$$ST = (0.60 - 0.7) * CE$$

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Conductividad Es una medida de con qué facilidad la corriente eléctrica pasa a través de una muestra de agua. Ésta medida a menudo es usada para estimar sólidos disueltos totales. También es usada para estimar la tendencia del agua de corroer metales.	Cualquier valor	Satisfactorio	Conductividad no plantea un riesgo en la salud; está relacionada a sólidos disueltos totales y es usada en calcular corrosividad.



Valores habituales de conductividad

AGUAS NATURALES	CONDUCTIVIDAD
Agua de mar	~ 50.000 - 60.000 $\mu\text{S/cm}$
Aguas muy salobres	~ 10.000 - 15.000 $\mu\text{S/cm}$
Aguas salobres	~ 1.000 - 2.000 $\mu\text{S/cm}$
Aguas poco salobres	~ 250 - 750 $\mu\text{S/cm}$
Aguas muy poco salobres	~ 50 - 100 $\mu\text{S/cm}$
AGUAS TRATADAS	CONDUCTIVIDAD
Aguas osmotizadas	~ 5 - 20 $\mu\text{S/cm}$
Aguas desmineralizadas	~ 1 - 5 $\mu\text{S/cm}$
Aguas <u>ultrapuras</u>	~ 0,04 - 0,1 $\mu\text{S/cm}$

Si la concentración de sales es muy baja, también lo será el valor de conductividad. El valor bajo de conductividad del agua representa un reto, debido a que el medidor de pH es un sistema electroquímico que parte del hecho de que el agua tiene conductividad eléctrica suficiente. **La medición del pH en agua con bajo contenido de sales resulta muy difícil.**



Potasio (K^+)

El ion potasio (K^+), corresponde a sales de una **solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar**. **Suele estar asociado al ion cloruro**. El potasio es un elemento esencial en los seres humanos el requerimiento diario recomendado es mayor de **3,000 mg**. El potasio está presente ampliamente en el ambiente, incluidas todas las aguas naturales.

También puede estar presente en el agua de consumo humano como consecuencia de la utilización de **permanganato de potasio ($KMnO_4$) como oxidante en el tratamiento del agua**.

Actualmente, no hay prueba de que los niveles de potasio en el agua de consumo humano tratada, incluso el agua tratada con permanganato de potasio, suponga un riesgo para la salud de los consumidores.

OMS: No considera necesario establecer un valor de referencia basado en la salud para el potasio en el agua de consumo humano.

Nombre del Parámetro	Resultados Posibles	Interpretación Rápida	Advertencias y Sugerencias
Potasio Sal común en aguas subterráneas - esencial en la dieta humana; concentraciones son típicamente menores a 10 mg/L.	Cualquier valor	Satisfactorio	Concentraciones en agua de grifo generalmente están en el rango de 0.5 a 8 mg/l; no es necesario ninguna acción.

Tratamiento: se remueve por intercambio iónico



Características Químicas

Son aquellas que **se determinan mediante pruebas químicas** o la adición de compuestos químicos. **Los principales componentes:** iones o sales que se encuentran disueltas en las aguas son:

a) Iones principales

Cationes

- Ca^{++}
- Mg^{++}
- Na^{+}
- K^{+}

Aniones:

- SO_4^{-} ,
- CL^{-} ,
- HCO_3^{-} ,
- NO_3^{-}

b) Sustancias no ionizadas:

- SiO_2 (es disuelto de las rocas)
- O_2 , CO_2 y N_2 (son gases que se disuelven desde la atmosfera)
- NH_3 , CH_4 , H_2S (gases que se originan en la descomposición biológica de la materia orgánica)

c) Componentes en concentraciones más bajas:

NH_4^{+} , Fe^{++} , Fe^{+++} , Sr^{+} , Mn^{++} , Mn^{+++} , NO_2^{-} , NO_3^{-} , F^{-} , $\text{H}_2\text{BO}_3^{-}$, H_2BO_3 y iones de H^{+} (H_3O^{+} , OH^{-} y CO_3^{-})

d) Sales minerales, carbonatos, sulfatos y cloración de calcio y magnesio.



Reporte de resultados de análisis físico químicos



SERVICIO AUTONOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD - DIVISION METROPOLITANA
Col. Villa Los Laureles, 1.5 km carretera al Seminario Mayor, Comayagüela, MDC
Tel/fax: 227-4498

INFORME DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

RTL-33-01

No de Informe: 238

No de Solicitud: 93

DATOS DEL CUENTE	
Nombre	CONASH
Proyecto	35 Municipios SANAA
Dirección	2da Ave. Comayagüela 910 col. la
Teléfono/fax:	222-1585 2231-2106
Correo Electrónico	

DATOS DEL MUESTREO	
Fuente	Cerro El Peón
Localidad	Guanas
Tomada por	Karen Bárcenas, Mares Ochoa
Fecha/Hora	21/02/2014 2:00 PM
Tipo de Muestra	AC AT AR PZ
Entregado por	José Santos 05/03/2014 10:13AM
Datos de Campo	T° Cl pH ODI Otros
Condiciones Ambientales	
Observaciones	

CONDICIONES AMBIENTALES DEL ANÁLISIS	
Área	FISICOQUIMICO
Fecha	11/03/2014
T°	22.0°C
Humedad	65%
Observaciones	

Observaciones:

De acuerdo a los parámetros analizados desde el punto de vista físico Químico esta muestra presenta valores dentro de lo establecido por la norma técnica nacional para la calidad del agua potable vigente bajo decreto #024 del 31 de julio de 1995.



SERVICIO AUTONOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD - DIVISION METROPOLITANA
Col. Villa Los Laureles, 1.5 km carretera al Seminario Mayor, Comayagüela, MDC
Tel/fax: 227-4498

INFORME DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

RTL-33-01

No de Informe: 238

No de Solicitud: 93

ANALISIS FISICOS				
Parámetro	Método	*Norma	Resultado	*Ue
Turbiedad (NTU)	Parte 2130B	5	0.22	
Color Verdadero (UC)	Parte 2120B	15	2.50	
Temperatura (°C)	Parte 2550B	18 - 30		
Olor	-	Inodoro		

ANALISIS QUIMICOS				
Parámetro	Método	*Norma (mg/L)	Resultado	*Ue
pH	Parte 4500H*B	6.5 - 8.5	8.12	
Cloro residual	Colorimétrico con ortotolidina	0.5 - 1.0		
Conductividad	Parte 2510B	400 µs/cm	313.00	
Alcalinidad total	Parte 2320B	-	91.88	
Bicarbonatos	Parte 2320B	-	91.88	
Carbonatos	Parte 2320B	-	0.00	
Hidróxidos	Parte 2320B	-		
Acidez				
Dureza total	Parte 2340	400	132.48	
Dureza de Calcio	Parte 2340	-	98.40	
Dureza de Magnesio	Parte 2340	-	34.08	
Calcio		100	39.36	
Magnesio		30	8.28	
Sulfato	Parte 4500-SO ₄ E	250	<10	
*o-fosfatos	Parte 365.3	-		
Cloruros	Parte 4500Cl.C	250		
Hierro total	Parte 3 500-FeD	0.3		
Manganeso	MERCK 14770	0.5		
Aluminio	Parte 3500-Al-D	0.2		
Fósforo	Parte 4500-P-E	-		
Flúor	Parte 4500 FC	0.7 - 1.5		
*Nitratos	Parte 352.1	50		
*Nitritos	Parte 354.1	0.1 - 3.0		
*Nitrógeno amoniacal	Parte 350.2	0.5		
Materia Orgánica	Volumétrico con Kmno ₄ DE-07-43			
Oxígeno disuelto	Parte 4500 OG	6 - 8		
DBO ₅	Parte 5210B	50		
DQO	Parte 5220D	200		
CO ₂	Volumétrico con Caldo Básico DE-07-43	-		
P. Fluoresceína	Colorimétrico	-		
Sólidos totales	Parte 2540B	1 000		
Sólidos suspendidos	Parte 2540D	-		
Sólidos sedimentables	Cono Imhoff	-		
Sólidos totales disueltos		-	156.50	

* Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 19 Ed (DE-05-01)

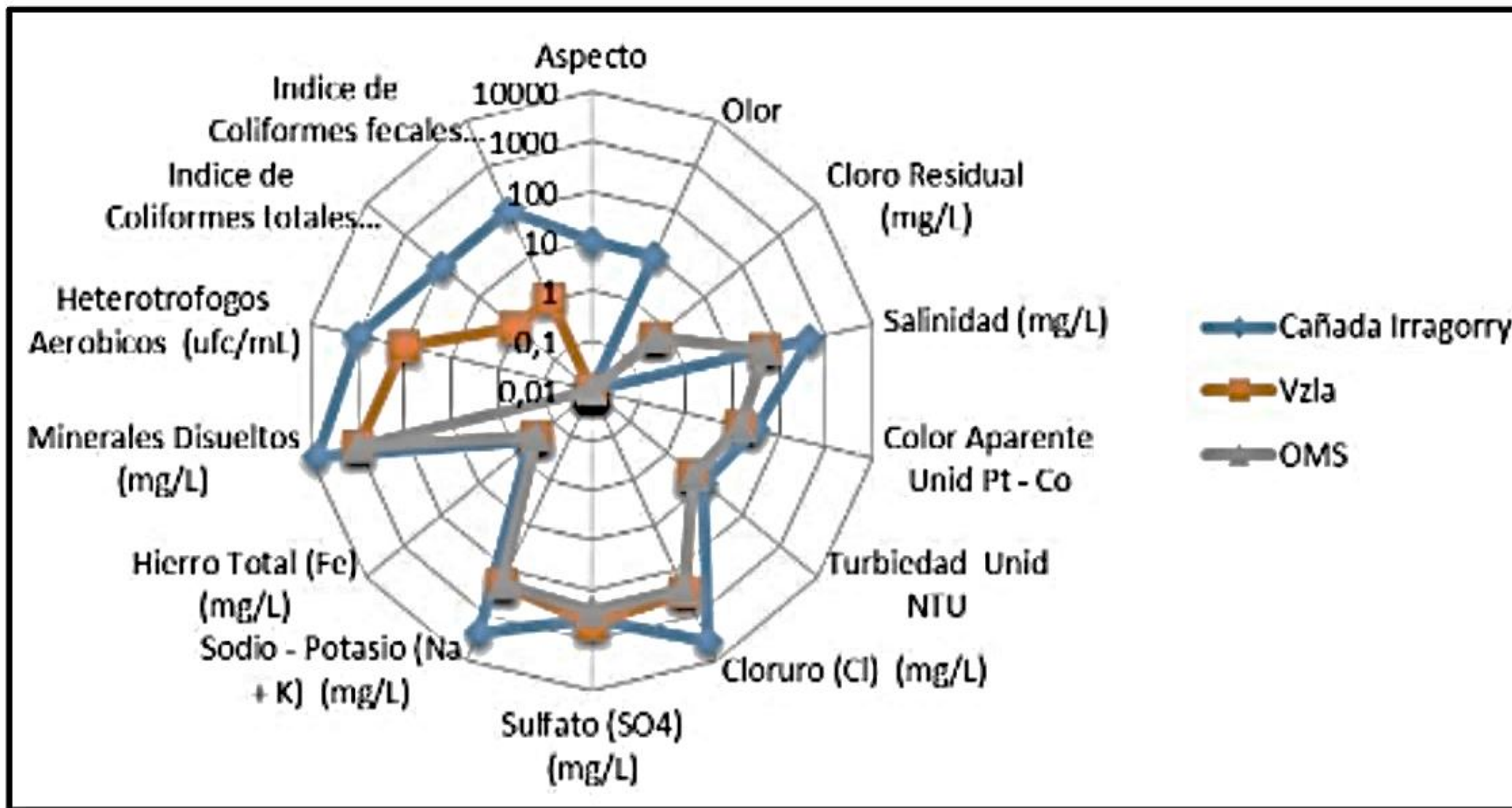
* Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable (DE-04-01)

* Methods for Chemical Analysis of Water and Waste EPA (DE-05-05)

Ue = Incertidumbre Expandida



Gráfica de resultados



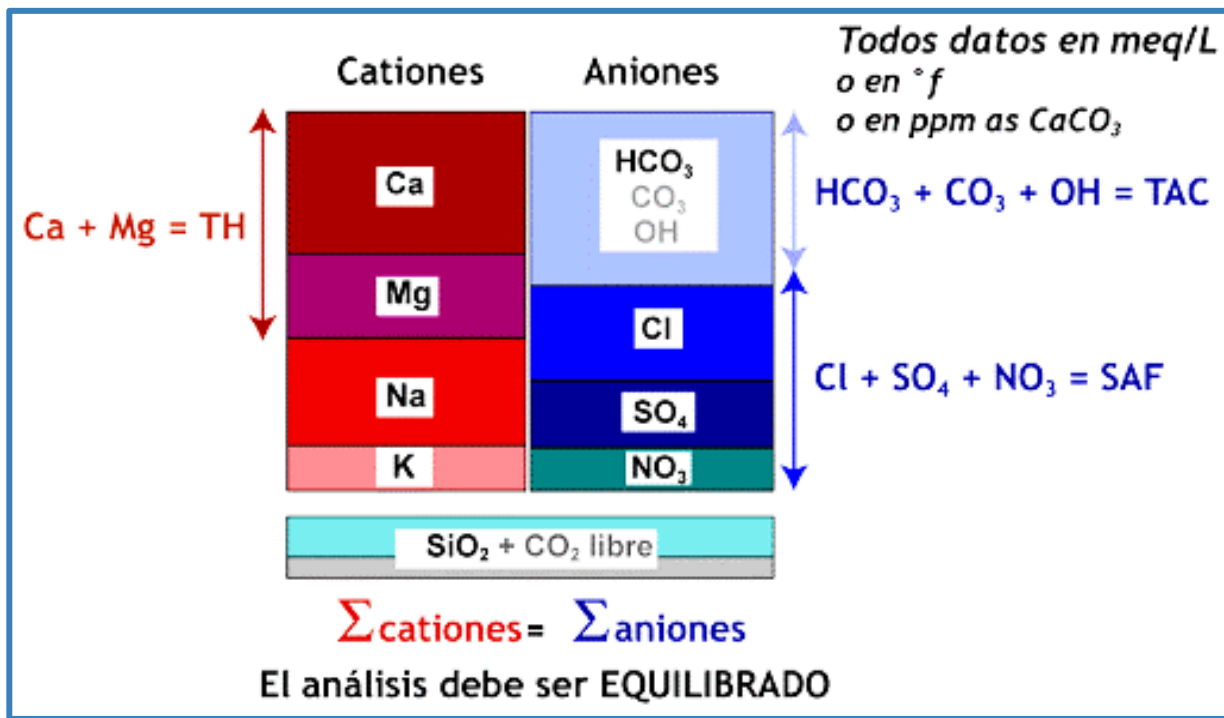


Valoración de la correlación de los análisis

Los procedimientos que se exponen a continuación son aplicables de forma específica a las muestras de agua para las que se **han realizado análisis relativamente completos**. Entre ellos se incluyen la conductividad, y los principales componentes aniónicos y catiónicos.

Equilibrio de Cationes y de Aniones

Debido a las cargas eléctricas contrarias de aniones y cationes, teóricamente, en un análisis de agua correcto, la diferencia entre la suma de cationes (**SC**) y la suma de aniones (**SA**), expresados ambos en **miliequivalentes por litro**, debe ser mínima y menor que el error aceptable .



TH = dureza Total

TAC = título alcalimétrico completo, dureza temporal

SAF = sales de ácidos fuertes



Errores aceptables

Sin embargo, una serie de factores entre los que se cuentan **errores de determinación** (instrumentales o humanos) **e iones no tenidos en cuenta**, hacen que en la práctica pueda existir cierta diferencia entre ambas sumas.

La diferencia entre ambas sumas que puede ser aceptable depende de las características del agua y se establece como sigue:

Suma aniones Meq/l	Diferencia Aceptable
0 – 3.0	± 0.2 meq/l
3.0 – 10.0	± 2 %
20.0 – 800	± 2 – 5 %

Cuando la diferencia entre las sumas se expresa como porcentaje, este se calcula mediante la expresión:

$$\text{diferencia en \%} = 100 \frac{SC - SA}{SC + SA}$$



Conductividad eléctrica y sumas iónicas

Las aguas naturales **constituyen soluciones mixtas** y aunque en este caso resulta más difícil establecer la relación entre sales en solución y conductividad eléctrica (**CE**), diversos estudios han determinado que el parámetro K, definido como:

$$K = \frac{CE}{SC} \text{ o, lo que es lo mismo, } K = \frac{CE}{SA}$$

K, fluctúa entre **80 y 110**, cuando la **CE** se expresa en $\mu\text{S/cm}$ y la suma de cationes (**SC**) o la suma de aniones (**SA**) en miliequivalentes por litro (**meq/l**).

Otros Cálculos de Verificación

Sólidos totales disueltos (STD) = Suma de iones + Silicio

Sólidos totales disueltos (STD) $\approx$ Conductividad (**C.E.**)***0,66** (0.55-0.76)

Para : pH < **8** $\rightarrow$ Carbonatos ausentes

Na (meq/l) $\gg$ K (meq/l)

Ca (meq/l) $\geq$ Mg (meq/l)

Ca (meq/l) $\geq$ SO₄ (meq/l)

Na (meq/l) $\geq$ Cl (meq/l)



Expresión de las concentraciones

En soluciones muy diluidas como las aguas naturales o industriales, se utiliza mg/l (que equivalen a ppm, partes por millón) o miliequivalentes por litro (meq/l),

Moles = gramos/peso molecular

Equivalentes = moles * valencia

Ejemplo:

60 mg/l de Ca^{++}

Peso molecular del Calcio = 40

Concentración en moles = $60/10^{-3} \cdot 40 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ moles/l}$
= 1.5 milimoles/litro

Valencia del calcio = 2

Concentración en miliequivalentes = $1.5 \cdot 2 = 3.0 \text{ meq/litro}$

Sustancia	Peso molecular	Valencia	Factor (F) (meq/l = 1/F*mg/l)
Cationes			
Ca^{++}	40	2	20
Mg^{++}	24.3	2	12.15
Na^{+}	23	1	23
K^{+}	39.1	1	39.1
NH_4^{+}	18	1	18
Fe^{++}	55.8	2	27.9
Fe^3	55.8	3	18.6
Al^3	27	3	9
Aniones			
$\text{CO}_3^{=}$	60	2	30
CO_3H^{-}	61	1	61
$\text{SO}_4^{=}$	96	2	48
CL^{-}	35.5	1	35.5
NO_3^{-}	62	1	62
PO_4^{-3}	95	3	31.7
SiO_2	60	1	60



Ejemplo Balance Iónico

Componente	Mg/l	P.A.	Valencia	Peso EQ(mg/meq)	meq/l
Ca ²⁺	45	40	2	20.0	2.30
Mg ²⁺	22	24.3	2	12.15	1.80
Na ⁺	64	23	1	23.0	2.8
Σ Cationes					6.90
Componente	Mg/l	P.A.	Valencia	Peso EQ(mg/meq)	meq/l
Cl ⁻	15	35.5	1	35.5	0.42
SO ₄ ²⁻	14	96.1	2	48.05	0.30
HCO ₃ ⁻	375	61.0	1	61.0	6.15
Σ Aniones					6.87

Suma aniones Meq/l	Diferencia Aceptable
0 – 3.0	± 0.2 meq/l
3.0 – 10.0	± 2 %
20.0 – 800	± 2 – 5 %

Comprobación

$$\text{diferencia en \%} = 100 \frac{SC - SA}{SC + SA}$$

$$\begin{aligned} \% &= 100 * \frac{6.9 - 6.87}{6.9 + 6.87} \\ &= 0.22 < 2\% \text{ OK} \end{aligned}$$

Otras comprobaciones

Ca (meq/l) ≥ Mg (meq/l) = 2.3 > 1.80 meq/l

Ca (meq/l) ≥ SO₄ (meq/l) = 2.3 > 0.30 meq/l

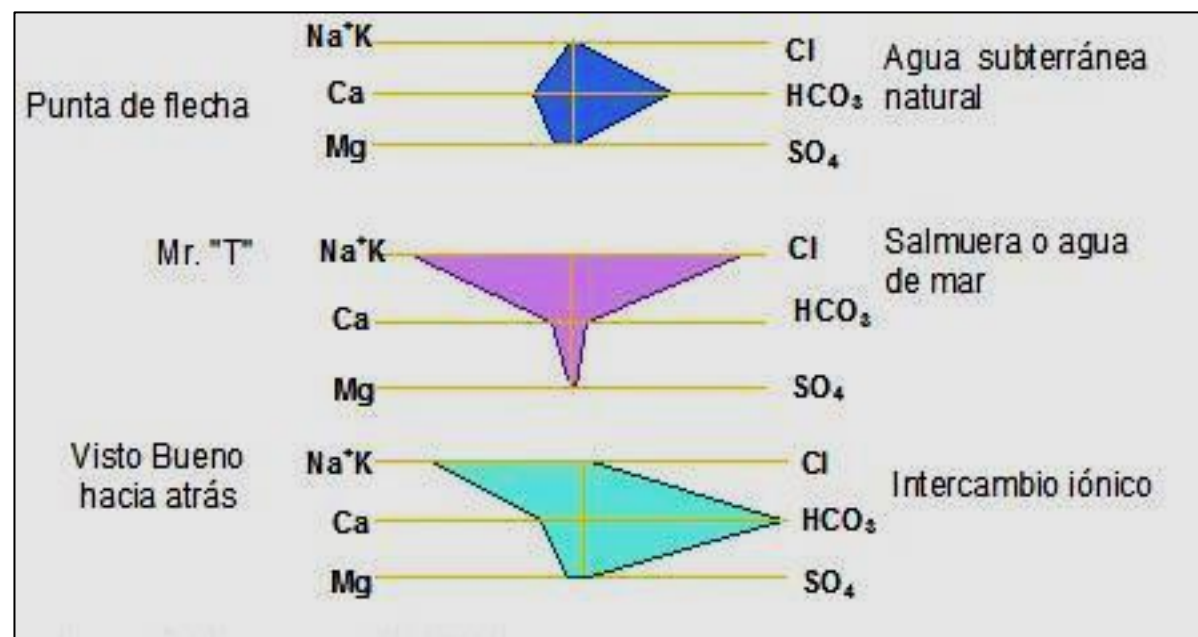
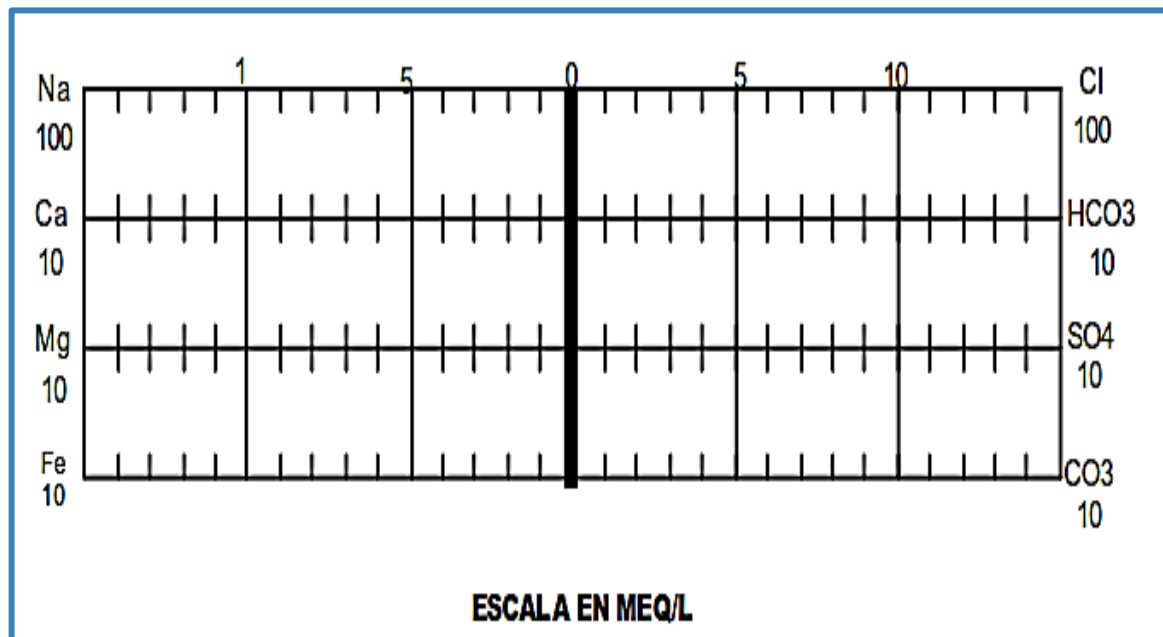
Na (meq/l) ≥ Cl (meq/l) = 2.8 > 0.42 meq/l



Diagrama de Stiff

Esta gráfica está compuesta por tres ejes horizontales, *cada uno de ellos uniendo un Catión y un Anión*. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el **Na⁺** se confronta con el **Cl⁻**, el **Ca⁺⁺** con el **HCO₃⁻** y el **Mg⁺⁺** con el **SO₄⁼** (a veces también se pueden mostrar otros dos iones, como el **Fe⁺⁺** contra el **NO₃**). Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/l.

Dos características sobresalen en este tipo de diagrama: por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica).

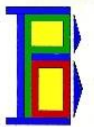




CONASA
Consejo Nacional de Agua
Potable y Saneamiento



*Muchas Gracias por su
Atención*



Ing. Pedro E. Ortiz

- pedroeortizb@gmail.com
- www.conasa.hn