

–INDICE.

- Introducción
- Aguas naturales

2.1– Agua del mar

2.2– Agua de río

2.3– Agua de lago

2.4– Purificación del agua

- Carbonatos
- Dureza del agua
- Ablandamiento o suavizado del agua dura
- Determinación de la dureza del agua
- Consecuencias de la dureza del agua
- Reflexión personal

DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA.

• INTRODUCCIÓN.

El agua es el líquido más abundante y, al mismo tiempo la sustancia más común de la tierra. Cubre el 72% de la superficie terrestre. Se encuentra en la naturaleza como líquido, como sólido (hielo y nieve) y como gas (vapor de agua) en la atmósfera. Es esencial para la vida; un 65% en masa del cuerpo humano es agua.

La forma más conveniente de llevar a cabo muchas reacciones químicas es hacer que transcurran en disolución y el agua es el disolvente más comúnmente utilizado con este fin. La solubilidad de las sustancias en agua y otros líquidos depende en gran parte de las fuerzas que se establecen entre las moléculas del disolvente y las del soluto.

El agua no es únicamente un buen disolvente para efectuar muchas reacciones sino que también experimenta ella misma muchas reacciones importantes.

La gran polaridad de las moléculas de agua y la existencia de enlaces de hidrógeno entre ellas son la causa del comportamiento peculiar del agua y de sus propiedades singulares (cambios de estado y disoluciones, enlace de hidrógeno, red de hielo y propiedades como disolvente, propiedades termodinámicas, características ácido–básicas, autoionización y reacciones de hidrólisis y reacciones con distintos elementos y compuestos)

2– AGUAS NATURALES.

Un 97% de la gran cantidad de agua que podemos encontrar en la superficie terrestre está formando los océanos. El 2.1% se encuentra en forma de capas de hielo y glaciares y el resto, el 0.7%, formando los ríos, lagos y aguas subterráneas. El agua está sometida a un continuo proceso de redistribución. Se evapora de los lagos y ríos, incorporándose a la atmósfera, y luego retorna en forma de lluvia y nieve, que se desplaza por la superficie y se filtra a través de los suelos hasta que, finalmente, vuelve a los mares. En el curso de este ciclo se disuelve muchas de las sustancias de la corteza terrestre que, eventualmente se acumulan en los océanos.

• Agua del mar:

Como es sabido desde hace tiempo, la salinidad de los diversos océanos es ligeramente variable, pero la proporción de los diversos componentes es relativamente constante. Este hecho sólo se cumple para aguas de mar abierto. Los estuarios y las zonas costeras poco profundas, sobre todo si se trata de costas habitadas, poseen concentraciones diferentes. El Na^+ y el Cl^- forman por sí solos alrededor del 85% del total de los solutos; si se consideran los iones positivos Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ y los cuatro negativos Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- y Br^- , se llega al 99,9%.

En algunos países de clima cálido, como Israel y Kuwait, se obtiene agua dulce por destilación del agua del mar. No obstante, para la mayoría de las naciones, este procedimiento requiere mucha energía y por tanto mucho dinero. Debido a esto no podemos decir que el mar constituya una fuente de agua importante para el consumo del hombre, sin embargo, si constituye un inmenso almacén de muchas otras sustancias. Cada metro cúbico de agua del mar contiene 1.5 Kg de sustancias disueltas. Aunque la mayoría de las sustancias se encuentran en muy baja concentración si que hay dos sustancias importantes que se extraen comercialmente del agua del mar: el cloruro sódico (sal de mesa) y el magnesio.

Tabla 2.1 Los solutos más importantes que se encuentran en el agua del mar, en miligramos por kilogramo (ppm en peso).

Aniones	Ppm	Cationes	ppm	Sustancias neutras	ppm
Cl^-	19000				
		Na^+	10500		
SO_4^{2-}	2700				
		Mg^{2+}	1350		
		Ca^{2+}	400		
		K^+	380		
HCO_3^-	140				
Br^-	65				
CO_3^{2-}	16				
				N_2	10
		Sr^+	8		
				O_2	7
				SiO_2 (H_4SiO_4)	6
				H_3BO_3	5
F^-	1				
				CO_2	0.6

Toda esta información se refiere a los océanos, tal y como los conocemos en la actualidad. Pero, ¿Cómo se han formado? Aunque no sea posible contestar a esta cuestión con total certeza, podemos admitir muy generalmente que al formarse la Tierra, cierta cantidad de agua quedó atrapada en los materiales que la formaban en su conjunto. Parte de esta agua fue liberada por la acción de los volcanes y de las fuentes termales durante los primeros períodos de la historia de la Tierra. Este proceso aún continúa y, si bien la mayoría de las aguas termales entregan agua vieja, que ya ha recorrido el ciclo, existen algunas que probablemente entregan agua nueva, proveniente del manto de la Tierra. Esta agua ha aportado y aporta una cantidad no determinada de solutos a los océanos. Resulta más fácil calcular la cantidad de material que es arrastrada por los ríos hacia los mares, como producto de la erosión de las rocas de la corteza terrestre.

- Agua de río:

Como era de esperar, los ríos muestran una variación muy grande en el contenido total de sales y en la composición de las mismas, dicha variación es muy superior a la que se encuentra en el agua de los mares abiertos. En general el agua de los ríos es dulce, lo que implica que la concentración de minerales es inferior a 500 ppm. (La salinidad de agua de mar es de 35000 ppm).

Tabla 2.2 La concentración de los iones, en ppm, de algunos ríos.

(Los aniones y cationes más importantes se han impreso en cursiva)

Ion	Hudson en Gree Is.	Mississippi en Baton Rouge	Colorado en Yuma	Collumbia en los Dalles	Nilo Blanco en Khartum	Amazonas en Obides
<i>HCO₃⁻</i>	93	101	183	108	149.2	17.9
<i>SO₄²⁻</i>	24	41	289	19	0.44	0.8
<i>Cl⁻</i>	5.0	15	113	4.9	8	2.6
<i>NO₃⁻</i>	1.2	1.9	1.0	0.3	0.44	
<i>Ca²⁺</i>	32	34	94	23	17.4	5.4
<i>Mg²⁺</i>	4.9	7.6	30	6.2	5.2	0.5
<i>Na⁺</i>	4.8	11	124	16	30.7	1.6
<i>K⁺</i>	2.0	3.1	4.4	0.0	11.8	1.8
<i>SiO₂</i>	4.9	5.9	14	13	25.6	10.6
Total de sólidos disueltos	173	221	853	191	249	43

En la tabla se observa que la variación de la salinidad de las aguas de diversos ríos es muy grande, así como también es muy variable la naturaleza de las sales que contienen.

Lo que llama la atención es que la concentración de los iones *Na⁺ (aq)* y *Cl⁻ (aq)* es relativamente pequeña frente a la que se encuentra en los mares. Esta diferencia resulta aún más sorprendente si se considera que buena parte del NaCl que se encuentra en los ríos proviene directamente del mar debido al proceso de redistribución del agua en la Tierra.

En el agua de los ríos se encuentran principalmente los iones positivos *Ca²⁺* y *Mg²⁺* y los iones negativos bicarbonato, *HCO₃⁻* y sulfato, *SO₄²⁻*. Además hay una considerable cantidad de silicatos.

Al establecer comparaciones entre las diferentes concentraciones de las sales que se encuentran en los ríos y los océanos se postula la existencia de un equilibrio dinámico ya que los diversos iones llegan al mar en parte arrastrados por los ríos. Al mismo tiempo hay procesos biológicos y químicos que eliminan nuevamente esas especies. El mecanismo de eliminación más conocido es el que controla los iones calcio por medio de la formación de conchas calcáreas.

- Agua de lago:

Los lagos no están demasiado bien definidos, por lo tanto existe una enorme variación en la composición de sus aguas. Algunos lagos son famosos por la pureza y claridad de sus aguas. Otros, tienen un interés químico mucho mayor. Los lagos muy salados nos proporcionan algunas de las muestras más interesantes y más variadas de sustancias naturales.

Existe, además, una gran cantidad de aguas subterráneas, cuya utilización aumenta constantemente para hacer frente a la creciente demanda. Su composición es más variable que la de las aguas superficiales. Además, esta agua está expuesta a los problemas de contaminación de las aguas superficiales y a la contaminación adicional que proviene de mares y manantiales.

Tabla 2.3 Composición de algunos lagos, en ppm.

Ion	Ponds, en Bad Water, Death Valley (California)	Lago Pyramid (Nevada)	Great Salt Lake (Utah)
HCO ₂ ⁻	187	1390	180
SO ₄ ²⁻	4960	264	13590
Cl ⁻	21400	1960	112900
Ca ²⁺	1230	10	330
Mg ²⁺	148	113	5620
Na ⁺	14100	1630	67500
K ⁺	594	134	3380
SiO ₂	49	1	---
Total de sales	42700	5510	203490
Disueltas			

2.4- Purificación del agua:

El agua necesaria para usos domésticos, agrícolas e industriales procede de lagos, ríos y otras fuentes subterráneas. Gran parte de esta agua debe ser tratada para eliminar bacterias y otras impurezas peligrosas. Después de este tratamiento el agua no se encuentra totalmente pura, ya que todavía contiene pequeñas cantidades de sales disueltas, particularmente cloruros, sulfatos, fluoruros e hidrogenocarbonatos de sodio, potasio, magnesio y calcio. Estas sales no producen efectos nocivos en las bajas concentraciones en las que se encuentran habitualmente, además proporcionan los minerales esenciales para el organismo. El agua también contiene gases disueltos, principalmente oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. El oxígeno disuelto es fundamental para las formas de vida acuática.

3- CARBONATOS.

El carbonato cálcico (CaCO₃) es el carbonato más importante, que se presenta en la naturaleza como caliza, mármol y, en estado puro, como calcita. El CaCO₃ se produce como precipitado difícilmente soluble al pasar CO₂ a través de una disolución de hidróxido cálcico, así como durante el fraguado del mortero de cal, que es una mezcla de arena, cal apagada [Ca (OH)₂] y agua:



Otros minerales importantes del tipo de los carbonatos son la dolomita (Ca, Mg)CO₃, en el que la mitad de los iones Ca²⁺ han sido sustituido por iones Mg²⁺ y además el carbonato de zinc, el carbonato de manganeso y el carbonato de hierro. Los últimos constituyen minerales valiosos.

4- DUREZA DEL AGUA.

La dureza de las aguas naturales es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales. La que se debe a los bicarbonatos y carbonatos de

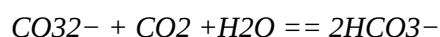
calcio y magnesio se denomina dureza temporal y puede eliminarse por ebullición, que al mismo tiempo esteriliza el agua. La dureza residual se conoce como dureza no carbónica o permanente. Las aguas que poseen esta dureza pueden ablandarse añadiendo carbonato de sodio y cal, o filtrándolas a través de zeolitas naturales o artificiales que absorben los iones metálicos que producen la dureza, y liberan iones sodio en el agua. Los detergentes contienen ciertos agentes separadores que inactivan las sustancias causantes de la dureza del agua.

El hierro, que produce un sabor desagradable en el agua potable, puede extraerse por medio de la ventilación y sedimentación, o pasando el agua a través de filtros de zeolita. También se puede estabilizar el hierro añadiendo ciertas sales, como los polifosfatos. El agua que se utiliza en los laboratorios, se destila o se desmineraliza pasándola a través de compuestos que absorben los iones.

Si se pone en contacto con calizas, agua que contenga CO_2 , se transformará paulatinamente en hidrogenocarbonato, con lo que se disolverá:



El proceso real es:



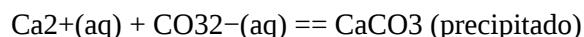
El CaCO_3 se disuelve tanto más, cuanto mayor sea la cantidad de CO_2 que contiene el agua.

De esta forma se produce la dureza debida a los carbonatos de las aguas naturales, es decir, debida a su contenido en iones HCO_3^- . Las aguas subterráneas y que discurren por campos calizos son particularmente duras. Por el contrario, el agua de los grandes lagos suele ser relativamente blanda, puesto que las algas y las plantas superiores durante los procesos de asimilación (verano) sustraen CO_2 a los iones HCO_3^- y con ello se puede producir la precipitación del carbonato cálcico (por inversión de la reacción anterior).

El contenido de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} recibe el nombre de dureza total.

5- ABLANDAMIENTO O SUAVIZADO DEL AGUA DURA.

Hay diferentes formas de realizar el ablandamiento, entre ellas la más usada es la de adición de carbonato sódico, que conlleva la eliminación de Ca^{2+} mediante la reacción:



Si se desea evitar la formación de incrustaciones sobre las paredes de las calderas debe tratarse el agua con metafosfatos (calgón) ya que se ha descubierto que la adición de pequeñas cantidades de ciertos compuestos fosfatados evita que se precipite el calcio formándose complejos quelados.

De forma semejante se comportan determinados formadores de complejos orgánicos, que pueden utilizarse también para la determinación cuantitativa de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} (ácido etilendiamin-tetracético conocido como AEDT).

Otra de las formas de suavizado del agua se basa en la utilización de intercambiadores iónicos o resinas de canaje iónico que son resinas artificiales que están formadas por una red orgánica gigante con numerosos grupos ácidos o básicos.

Los intercambiadores iónicos han sido ampliamente utilizados en la industria para la eliminación de iones que por su presencia pudieran provocar fenómenos o reacciones perjudiciales, ya sea por formación de

precipitados, sabores, coloraciones y obstrucción de tuberías, roturas por calentamiento, corrosión, etc...

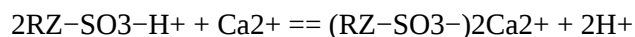
Estos intercambiadores también se han utilizado en aplicaciones domésticas, descalcificaciones de aguas potables utilizadas en planchas o desionización de aguas de la red pública y de hecho se conocen múltiples cartuchos y aparatos que se venden en el mercado cuyo fin es ablandar el agua.

En las resinas existen iones unidos a los grupos funcionales, que no se encuentran químicamente enlazados, sino que están unidos por atracción electrostática. Estos iones pueden ser reemplazados por otros del mismo signo que presenten una mayor atracción electrostática. En función del signo de estos iones, positivo o negativo, se habla de resinas catiónicas o aniónicas, respectivamente.

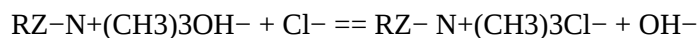
Si se deja que un canjeador de iones ácido se hinche en el seno del agua se forman iones H_3O^+ , los cuales quedan enlazados al resto o red cargada negativa. En los cargadores de iones de tipo básico se producen iones OH^- de forma correspondiente.

Si se deja pasar una disolución con diferentes cationes y aniones, primero a través de un cambiador de tipo ácido y después a través de uno básico, se quedarán los cationes, en lugar de los iones H_3O^+ (resina catiónica), mientras que en los cambiadores de tipo básico (resina aniónica) son intercambiados los aniones por iones OH^- . Como los iones H_3O^+ se combinan con los iones OH^- de acuerdo con el producto iónico del agua, ésta llega a quedar completamente libre de electrolitos, como consecuencia de tal canaje.

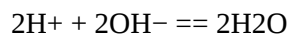
- Proceso de una resina catiónica:



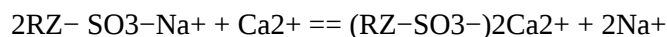
- Proceso de una resina aniónica:



- Si sumamos los procesos obtenemos:



Así pues lo que se obtiene es una desionización. Sin embargo las resinas pueden actuar de forma independiente. En el caso de aguas duras, el objetivo es la eliminación de cationes, por lo que se debe aplicar una resina catiónica. Para este caso las resinas más usadas son las que cuentan con iones Na^+ y el proceso correspondiente es:



Estas resinas pueden ser regeneradas colocándolas en una solución de NaCl concentrada para desplazar el equilibrio hacia la izquierda.

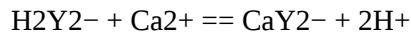
O bien se pueden usar resinas catiónicas donde el catión que se intercambia es el protón. La regeneración de estas resinas se debe hacer colocándolas en un medio ácido fuerte, normalmente HCl , que desplazan el equilibrio en sentido inverso.

6- DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA.

Para ello usaremos el ácido etilendiamin-tetracético, AEDT.

La dureza del agua se define como la suma de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y se mide habitualmente mediante una

valoración con AEDT. Este compuesto es un ácido tetraprótico que representaremos como H_4Y , aunque normalmente se emplea la sal disódica $Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$. El anión H_2Y^{2-} reacciona con el Ca^{2+} , Mg^{2+} o casi con cualquier ion metálico de carga $2+$ o mayor. El resultado es la formación del complejo AEDT-Mg o AEDT-Ca según:



Para la determinación del punto final de la valoración empleamos una sustancia llamada indicador que también forma complejo con el Mg^{2+} , de forma que mientras haya iones libres Mg^{2+} dicho compuesto formará complejo con ellos presentando un color violeta. Cuando todos los iones Mg^{2+} estén formando complejo con el AEDT el color violeta desaparecerá (ausencia de complejos indicador- Mg^{2+}) y podremos observar el color azul que corresponde al indicador sin complejar con el Mg^{2+} . Esto ocurre debido a que la constante de formación del complejo con el AEDT es mayor que con el indicador, es decir, los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} tienen más tendencia a formar complejo con el AEDT que con el indicador, todo esto ocurre a un $pH=10$.

El proceso que tiene lugar es:



Donde In representa el ion indicador.

7- CONSECUENCIAS DE LA DUREZA DEL AGUA.

Aunque muchas de ellas las hemos citado a lo largo del documento, son muchos más los efectos perjudiciales que puede causar el **Agua dura**.

Cuando se lava con jabón empleando aguas naturales, se forma un precipitado debido a la presencia de calcio, magnesio y hierro. Los iones de calcio de esta agua dura se unen con los iones estearato y oleato del jabón disuelto, para formar sales insolubles, este proceso gasta el jabón y produce un sólido grumoso indeseable que permanece en la ropa. En consecuencia es conveniente eliminar los iones calcio del agua, para usarse en lavanderías.

Cuando el agua dura es usada en calentadores de agua se presenta una acción indeseable similar, el dióxido de carbono se desprende a altas temperaturas, y produce un depósito de sales de calcio o magnesio en el interior del calentador. Esto puede obstruir los tubos y también reducir la conductividad térmica.

8- REFLEXIÓN PERSONAL.

El agua es una sustancia de vital importancia para todo ser vivo, pero especialmente para el Hombre (único ser de la Tierra dotado de inteligencia creemos), ya que es capaz de utilizarla con fines distintos a nuestro organismo.

El Hombre a lo largo de su Historia ha vivido, casi exclusivamente, por y para su supervivencia, tal Historia se encuentra cargada de descubrimientos (algunos insólitos),

inventos (algunos por casualidad) e investigaciones (algunas fracasadas).

Ante todo esto, cierto, aunque sorprendente, el ser humano se ha servido de los elementos naturales para su supervivencia, y el agua, como sustancia de la vida no podía ser menos estudiada.

La utilidad que el Hombre le ha dado al agua, podría decirse que es casi infinita, se usa en refrigeraciones, en

calentadores, en planchas, calderas, disoluciones como disolvente, como bebida, como generador de electricidad, etc.

Sin embargo, no todas las propiedades del agua son buenas, nos podemos encontrar con aguas contaminadas, aguas duras, aguas destiladas (perjudicial para el organismo), etc.

–*BIBLIOGRAFÍA:*

– **Química general, Gordon Barrow, tomo I. Ed. Reverté**

- Química fundamental, Donald H. Andrews y Richard J. Kokes.
- Química, Hands Rudolf. Ed. Reverté.
- Química, Gillespie–Humphreys–Baird–Robinson. Ed. Reverté.
- Encarta 2000
- Guión de prácticas Laboratorio I.
-