

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS POTABLES

2.0 INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE AGUA

Un análisis químico del agua nos indica que sustancias se encuentran presentes y en que concentración. Comúnmente estos resultados se expresan como composición en porcentaje o en miligramos de sustancia por litro de solución (mg/lto). Si la densidad o peso específico del agua analizada es igual a uno, quiere decir que un litro de agua pesa un kilogramo o mil gramos, por lo que la composición de mg/lto también es equivalente a partes por millón o ppm, ya que un kilogramo de agua (un litro de agua) tiene un millón de miligramos.

Para fines prácticos, las aguas residuales o potables tienen una densidad que prácticamente es igual a 1 mg/ml ó 1 kg/lto, por lo que ppm y mg/lto se considera que son equivalentes.

Las concentraciones de algunas sustancias son sumamente pequeñas pero muy significativas: por ejemplo la cantidad máxima permisible de mercurio es de 0.002 mg/lto y la de arsénico es de 0.01 mg/lto, y como en esta expresión se manejan milésimas y centésimas, es más conveniente expresar estos valores en partes por billón (ppb). Una parte por millón es equivalente a 1000 ppb, por lo que la concentración máxima permitida de mercurio y arsénico es 2 ppb y 10 ppb respectivamente.

2.1 SALINIDAD Y CONDUCTIVIDAD:

Debido a que todas las aguas naturales tienen contacto con la atmósfera y con la superficie terrestre, éstas siempre contienen en mayor o menor cantidad sales en solución.

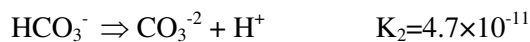
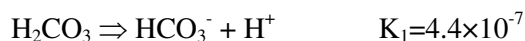
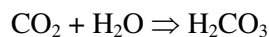
Los iones que contiene el agua como sales disueltas provienen de procesos de disolución que se lleva a cabo en cuanto el agua se pone en contacto con diversos compuestos y sustancias.

El agua tiene un ciclo en el cual continuamente está cambiando de estado y de posición. El agua que se evapora del mar, de los ríos, lagos, lagunas, etc. nos regresa en forma de lluvia; si esta agua no se precipita en el mar sino en la superficie terrestre, una parte de esa agua se infiltra a las capas interiores o subterráneas de la corteza terrestre y el resto permanece en la superficie y eventualmente se evapora formando nubes que cuando se dan las condiciones causan lluvia.

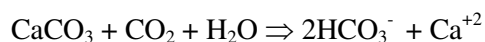
Una vez que se dan las condiciones, empieza a formarse un condensado de partículas a partir del rocío para formar gotas más grandes y producir la lluvia. El agua es el disolvente universal por lo que aún y cuando se tenga agua limpia en las nubes, a partir del momento en que entra en contacto con otras sustancias empieza su acción química y disolvente.

En el agua es posible encontrar gases disueltos como oxígeno O₂, nitrógeno N₂, óxidos de nitrógeno NO_x, pero de todos estos gases el que tiene mayor impacto en las propiedades químicas del agua es el bióxido de carbono o CO₂, el cual se encuentra en el aire en cantidades relativamente abundantes y es altamente soluble en agua formando ácido carbónico.

El bióxido de carbono o CO₂ presente en la atmósfera se disuelve fácilmente en el agua y produce ácido carbónico, bicarbonatos y carbonatos a través de las siguientes reacciones.



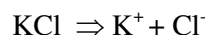
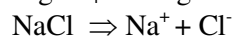
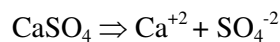
Si el agua que llega a la superficie terrestre entra en contacto con minerales de caliza (carbonato de calcio) ocurre la disolución del mineral.



De esta manera el carbonato de calcio, que no es soluble en agua, puede pasar a formar parte de ella por la acción del bióxido de carbono disuelto. Esta reacción del agua con el carbonato de calcio puede efectuarse hasta la saturación, si el agua está el tiempo necesario para llevar a cabo la disolución de la caliza. El

resultado de lo anterior es agua con un alto contenido de carbonato de calcio disuelto, que se presenta en forma de iones calcio Ca^{+2} y carbonato CO_3^{-2} .

Pueden llevarse a efecto otras reacciones de disolución del agua con ciertos minerales como por ejemplo el yeso o sulfato de calcio, el sulfato de magnesio, el cloruro de sodio, el cloruro de potasio y otros. Estos se integran al agua por disolución simple ya que en mayor o menor grado son solubles en agua.



También pueden integrarse al agua en pequeñas cantidades (pero con efectos trascendentes) algunos metales como: bario, estroncio, arsénico, mercurio, manganeso, fierro, cobre y algunos otros aniones como: fluoruros, nitritos, nitratos, fosfatos, etc.

La mineralización del agua depende pues, de la zona geológica con la cual se encuentra en contacto. El grado de saturación en compuestos solubles depende de la naturaleza de la zona donde se encuentra el agua así como del tiempo que dura en contacto el agua con los minerales en su estado natural.

El total de los compuestos que se integran al agua a través del mencionado proceso de disolución se le llama contenido de sólidos disueltos y se mide cualitativamente por medio de la conductividad, ya que estas partículas en solución están cargadas positivamente o negativamente, y por lo tanto son capaces de conducir la corriente eléctrica. Cuanto mayor es la cantidad de partículas disueltas mayor es la conductividad de una solución, en este caso del agua.

Cuantitativamente se determina este contenido de sólidos por gravimetría, evaporando la solución y una vez filtrada, pesando el contenido de la cápsula antes y después de que los sólidos precipitan como cristales al evaporar el agua que los mantiene en solución.

Esta determinación es conjunta y no podemos diferenciar que sales y en que cantidad se encuentran presentes, por lo que se requiere de hacer un análisis químico de cada una de las sustancias individuales. Como se ha mencionado, la cantidad y tipo de sales disueltas en agua en particular depende de la historia geológica del líquido, pero podemos generalizar que en aguas naturales, el orden de abundancia de las diferentes especies es el que se presenta en la Tabla I.

TABLA I: Orden de abundancia de los diferentes cationes y aniones en la mayoría de las aguas. La tabla está acomodada de los más abundantes a los menos abundantes.

CATIONES	ANIONES
Calcio Ca^{+2}	Bicarbonato HCO_3^-
Magnesio Mg^{+2}	Cloruro Cl^-
Sodio Na^+	Sulfato SO_4^{-2}
Potasio K^+	Nitrato NO_3^-

Aunque un catión y un anión provengan de una sal común, una vez en solución pierden esta característica y son indistinguibles, de manera tal que el sulfato que se encuentra en solución no sabemos si proviene de por ejemplo: sulfato de calcio o sulfato de magnesio o sulfato de potasio, etc., y sus efectos posteriores en las características y calidad del agua es el mismo independientemente de su procedencia.

En todas las aguas y en toda solución existe un equilibrio de cargas entre cationes y aniones. Esto no significa que la suma de las concentraciones de todos los cationes y todos los aniones expresados en mg/lto sumen cantidades iguales, lo que debe dar sumas iguales es la concentración de cationes y aniones expresados en equivalentes, esto sí garantiza la electroneutralidad que es un requisito indispensable en toda solución que contiene partículas cargadas.

CONDUCTIVIDAD Y FORMAS DE EXPRESAR EL CONTENIDO DE SALES DISUELTAS: Cuando se desea saber el contenido de sales disueltas en una muestra de agua sin que se tenga que efectuar un análisis químico en un laboratorio, es posible hacerlo por medición de la conductividad del agua con un conductímetro.

Un conductímetro consiste de un par de placas que cuando se somete a una diferencia de potencial una de ellas está cargada positivamente y la otra negativamente.

Cuando esto ocurre los cationes cargados positivamente y los aniones cargados negativamente que se encuentran en la solución, emigran al polo de carga contraria (figura 1). Este flujo de cargas eléctricas genera una corriente que es registrada y es mayor cuanto mayor sea el potencial iónico de las cargas en solución.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA

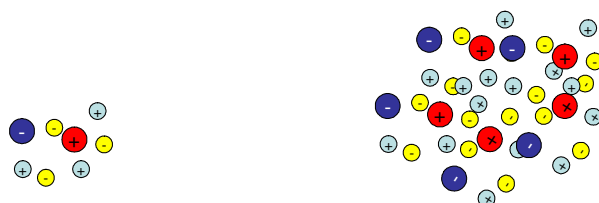
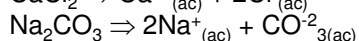
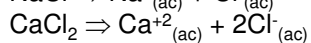
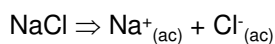
Los minerales solubles son las sales o sólidos disueltos. No pueden ser separados físicamente del agua ya que forman parte de ella. Estos aparecen cuando el agua está en contacto con rocas o superficies que contienen estos minerales.

○ Na⁺

● Ca⁺²

● CO⁻²₃

● Cl⁻



El principio de la electroneutralidad de las soluciones salinas establece que en una solución salina, el número de equivalentes de cationes debe ser exactamente igual al número de equivalentes de aniones.

Figura 1: Proceso de disolución de sales que son los sólidos disueltos en el agua y que causan una mayor conductividad de la corriente eléctrica.

El potencial iónico depende entre otros factores del tamaño del ión y de la carga de éste: los iones hidrogeno H⁺ tienen menor masa que los iones Na⁺ por lo que el H⁺ contribuye en mayor proporción a la conductividad que el Na⁺.

Como todas las aguas naturales tienen aproximadamente el mismo tipo de iones (Tabla I), es posible establecer una relación aproximada entre conductividad y Sólidos Totales Disueltos (STD).

Existe otro parámetro muy frecuentemente empleado que es la resistividad. La resistividad es el inverso de la conductividad y se expresa de la siguiente manera:

$$\mu = 1/\Omega$$

μ = Conductividad

Ω = Resistividad

Las unidades de conductividad son:

$$\text{Siemens} = \text{S} = 1/\text{Ohms} = \text{Ohms}^{-1}$$

$$1 \text{ mS} = \text{miliSiemens} = 10^{-3} \text{ Siemens}$$

$$1 \text{ }\mu\text{S} = \text{microSiemens} = 10^{-6} \text{ Siemens}$$

Las unidades de resistividad son:

$$\text{Resistividad} = \Omega = \text{Ohms} = 1/\text{Siemens} = \text{Siemens}^{-1}$$

$$1 \text{ K}\Omega = \text{Kilo-Ohm} = 10^3 \text{ Ohms}$$

1 M Ω =Mega-Ohm= 10^6 Ohms

La relación entre Conductividad y STD es aproximadamente:

$$\text{STD} \times 2 = \text{Cond} (\mu\text{Siemens})$$

Ejemplo: ¿Cual es la resistividad de una solución que tiene una conductividad de 250 μS ?

$$\mu = 1/\Omega \text{ y } \Omega = 1/\mu$$

$$250 \mu\text{S} = 250 \times 10^{-6} \text{ Siemens} \quad \Omega = 1/250 \times 10^{-6} \text{ Siemens} = 4000 \text{ Ohms} = 4 \text{ K}\Omega$$

2.2 FORMAS DE EXPRESAR LA CONCENTRACIÓN DE COMPONENTES DE LAS AGUAS:

Si se efectúa un análisis químico, es posible identificar los diferentes componentes que en mayor proporción se tienen en las aguas naturales y obtener la composición de las sales presentes.

Un laboratorio químico reportará sus resultados expresando la concentración de los diferentes componentes en ppm ó mg/L, o en algunas ocasiones en ppm como CaCO₃.

La práctica de expresar lo mismo en diferente forma, puede conducir a confusiones para las personas que no están familiarizadas con la manera de expresar dichas concentraciones.

Cuando en el laboratorio se efectúa un análisis del agua, los resultados se expresan en miligramos por litro (mg/L).

Tabla I: Relación entre Conductividad, Resistividad y otras formas de expresión del contenido de sales disueltas.

ppm como CaCO ₃	ppm NaCl	Conductividad micromhos/cm	Resistividad megohm/cm
1700	2000	3860	0.00026
1275	1500	2930	0.00034
850	1000	1990	0.00050
425	500	1020	0.00099
170	200	415	0.0024
127.5	150	315	0.0032
85.0	100	210	0.0048
42.5	50	105	0.0095
17.0	20	42.7	0.023
12.7	15	32.1	0.031
8.5	10	21.4	0.047
4.25	5.0	10.8	0.093
1.70	2.0	4.35	0.23
1.27	1.5	3.28	0.30
0.85	1.00	2.21	0.45
0.42	0.50	1.13	0.88
0.17	0.20	0.49	2.05
0.13	0.15	0.38	2.65
0.085	0.10	0.27	3.70
0.042	0.05	0.16	6.15
0.017	0.02	0.098	10.2
0.012	0.015	0.087	11.5
0.008	0.010	0.076	13.1
0.004	0.005	0.066	15.2
0.002	0.002	0.059	16.9
0.001	0.001	0.057	17.6
=====	=====	0.055	18.3

2.2 FORMAS DE EXPRESAR LA CONCENTRACIÓN DE COMPONENTES DE LAS AGUAS:

Si se efectúa un análisis químico, es posible identificar los diferentes componentes que en mayor proporción se tienen en las aguas naturales y obtener la composición de las sales presentes.

Un laboratorio químico reportará sus resultados expresando la concentración de los diferentes componentes en ppm ó mg/L, o en algunas ocasiones en ppm como CaCO₃.

La práctica de expresar lo mismo en diferente forma, puede conducir a confusiones para las personas que no están familiarizadas con la manera de expresar dichas concentraciones.

Cuando en el laboratorio se efectúa un análisis del agua, los resultados se expresan en miligramos por litro (mg/L).

Otra forma de expresar la concentración de un componente es en partes por millón (ppm).

Si el análisis de una muestra de agua da como resultado una concentración de 1.2 mg/L de flúor, y si la densidad relativa de la muestra de agua es de 1.0, entonces es lo mismo mg/L que ppm, ya que hay 1.2 mg de soluto en un litro de solvente (1000 grs), y también es correcto decir que hay 1.2 partes de soluto en un millón de partes (un litro=10³ gramos=10⁶ miligramos) de solvente.

Para fines prácticos se considera que las muestras de agua potable tienen una densidad relativa de 1.0, y las aguas residuales integran otros componentes adicionales que no contienen las aguas potables, pero también es posible considerar su densidad relativa de 1.0 y por lo tanto mg/L es lo mismo que ppm.

Otra forma de expresar la concentración de los iones es en equivalentes o miliequivalentes (1 equivalente=1000 miliequivalentes, 1 eq=1000 meq).

Esta forma de expresar la concentración de las sales es la más lógica y de mayor valor práctico, pero raras veces es empleada en los reportes químicos de laboratorio.

El principio de electroneutralidad de las soluciones salinas establece que en una solución, la cantidad de equivalentes en cationes y en aniones debe ser la misma.

La concentración en equivalentes de una sustancia por litro de solvente, es igual al peso en gramos de esa sustancia entre el peso equivalente de esta sustancia. El peso equivalente es igual al peso atómico entre el número de valencia o estado de oxidación del elemento.

Ejemplo: ¿Cual es la concentración en equivalentes por litro (eq/L) y en meq/L, de 0.5 grs de CaCl₂ los cuales se disuelven en 1300 ml. de agua?

En 0.5 grs de CaCl₂ tenemos:

$$\text{Ca}^{+2} = 0.5 \text{ grs CaCl}_2 \times (40 \text{ grs Ca} / 110.9 \text{ grs CaCl}_2) = 0.180 \text{ grs Ca}^{+2}$$

$$\text{Cl}^- = 0.5 \text{ grs CaCl}_2 \times (70.9 \text{ grs Cl} / 110.9 \text{ grs CaCl}_2) = 0.32 \text{ grs Cl}^-$$

$$\text{Calcio Ca}^{+2} \text{ peso equivalente } \text{Peq} = 40/2 = 20 \text{ grs/eq}$$

$$\text{Cloruro Cl}^- \text{ peso equivalente } \text{Peq} = 35.45/1 = 35.45 \text{ grs/eq}$$

$$\text{equivalentes de calcio Ca}^{+2} = 0.180 \text{ gr} / 20 \text{ gr/eq} = 0.009 \text{ eq Ca}^{+2}$$

$$\text{equivalentes de cloruro Cl}^- = 0.32 \text{ gr} / 35.45 \text{ gr/eq} = 0.009 \text{ eq Cl}^-$$

$$\text{Ca}^{+2} = 0.009 \text{ eq} / 1.3 \text{ L} = 0.0069 \text{ eq/L} = 6.9 \text{ meq/L}$$

$$\text{Cl}^- = 0.009 \text{ eq} / 1.3 \text{ L} = 0.0069 \text{ eq/L} = 6.9 \text{ meq/L}$$

Como se deduce, el número de equivalentes de cationes y de aniones así como la concentración de éstos es la misma, lo que está de acuerdo con el principio de electroneutralidad de las soluciones salinas.

Ejemplo 2: Cual es la concentración expresada en meq/L de una solución que tiene la siguiente concentración de cationes y aniones:

$$\text{Ca}^{+2} = 215 \text{ ppm}$$

$$\text{K}^+ = 21 \text{ ppm}$$

$$\text{HCO}_3^- = 188 \text{ ppm}$$

$$\text{SO}_4^{-2} = 39 \text{ ppm}$$

Para el Calcio:

$$\text{Peq.} = 40/2 = 20$$

$$\text{meq/L} = 215/20 = 10.75 \text{ meq/L}$$

Para el Potasio:

$$\text{Peq.} = 39.1/1 = 39.1$$

$$\text{meq/L} = 21/39.1 = 0.537 \text{ meq/L}$$

Para el Bicarbonato:

$$\text{Peq.} = 61/1 = 61 \qquad \text{meq/L} = 188/61 = 3.08 \text{ meq/L}$$

Para el Sulfato:

$$\text{Peq.} = 96/2 = 48 \qquad \text{meq/L} = 39/48 = 0.813 \text{ meq/L}$$

Otra forma muy común de expresar la concentración es en partes por millón como carbonato de calcio (ppm como CaCO_3). Para obtener este valor se multiplica la concentración del analito en ppm por el peso equivalente del carbonato de calcio (que siempre es 50) y se divide entre el peso equivalente de analito.

$$\text{ppm como CaCO}_3 = \text{ppm o mg/L} \times (\text{Peq. del CaCO}_3 / \text{Peq. del analito})$$

Como el peso equivalente del carbonato de calcio siempre es 50, otra forma de convertir la concentración a ppm como CaCO_3 es multiplicando los miliequivalentes por litro por 50.

$$\text{ppm como CaCO}_3 = \text{meq/L} \times 50$$

La suma de las concentraciones de cada uno de los cationes debe ser igual a la suma de las concentraciones de todos los aniones, siempre y cuando estas se expresen en meq/L o en partes por millón como CaCO_3 .

Si se desea conocer la composición mayoritaria de cada especie en un agua en particular, se procede al análisis de: calcio, magnesio, sodio y potasio, así como de bicarbonatos y carbonatos (alcalinidad), sulfatos y cloruros. Se expresa la concentración en meq/L o partes por millón como carbonato de calcio y se suman las concentraciones de los aniones y cationes y estas sumas, dentro de los límites normales de error, deben dar cantidades iguales. Desde luego, el agua también debe contener otras especies como: cobre, hierro, flúor, fosfatos, nitritos, etc. pero a menos que se trate de un agua fuera de lo convencional, estas concentraciones son tan pequeñas que influyen en ciertas características del agua, pero su contribución a la composición del equilibrio de electroneutralidad es tan pequeña que para simplificación del cálculo y estimación se consideran despreciables.