3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE MAR

3.1 Química del agua.

Para un buen entendimiento de la química del agua es necesario el tener claro los elementos conceptuales involucrados en este capítulo, por lo cual se enuncian algunos de ellos a continuación.

Tensión Superficial.

Además de sus extraordinarias propiedades caloríficas, el agua tiene propiedades físicas muy distintas a las de otros líquidos. Esta es su elevada tensión superficial, debida a los puentes de hidrógeno, que hacen que el agua se eleve en un tubo capilar.

Presión osmótica.

Si dos soluciones acuosas están separadas por una membrana, el agua pasará de la más diluida a la más concentrada. Este importante proceso controla la actuación de todas las células vivas; explica también la efectividad de la preservación de los alimentos mediante su salado, la sal crea una solución concentrada, separando las células de los organismos que pueden provocar la descomposición de los alimentos, cuando el agua dentro de sus cuerpos abandona tratando de diluir la solución salina externa.

Viscosidad.

Es una propiedad física del agua que afecta su tratamiento y su empleo. Esta es una medida de la fricción interna, es decir, de la fricción de una capa de moléculas que se mueve sobre otra. Al aumentar la temperatura del agua, esta fricción interna disminuye.

sencilla. Los sólidos que quedan en el agua sobredrenante arriba de la materia sedimentada son muy finos y son los que producen la turbidez.

3.2. Oceanografía química.

El mar contiene en formas diversas y cantidades variables casi todos los elementos químicos conocidos, aunque algunos de ellos se encuentren en pequeñas cantidades o trazas recibiendo el nombre de oligoelementos. La existencia de diferentes sales disueltas en el agua del mar se debe a que durante miles de millones de años los ríos constantemente han transportado hasta el océano sustancias procedentes de la erosión causada por las lluvias. La concentración de sales se mantiene más o menos constante a pesar de que algunas de las corrientes del continente aportan anualmente al mar 400 millones de toneladas de sustancias sólidas, además de que, al evaporarse el agua del océano, esta pasa a la atmósfera en forma de agua destilada dejando las sales. Los cambios de concentración que se podían presentar por este fenómeno son muy pequeños al grado de que es muy difícil que el hombre los alcance a percibir.

Estos materiales cedidos por la tierra al mar provienen de la erosión del suelo, la corrosión de los materiales, la combustión y la erosión costera, además se ha calculado que casi 50 billones de toneladas de sales se encuentran disueltas en el agua de los océanos. El mar regresa a la tierra algunos componentes, estableciéndose un depósito de materiales metálicos. Las emanaciones producidas por los volcanes submarinos también aportan sustancias sólidas al agua de mar como cloruro de sodio, cloruro de potasio, etcétera.

Los principales elementos químicos que se encuentran en el mar son: cloro, carbono, sodio, azufre, calcio, potasio, y magnesio. Estos elementos están asociados entre ellos formando combinaciones muy variadas. Por ejemplo, el carbono forma tanto carbonato como bicarbonatos; el azufre, principalmente sulfatos; el cloro se presenta en forma de cloruros. Entre todas estas sustancias

la posibilidad de que abunden los organismos en un área determinada del océano. El bióxido de carbono también es importante en estos procesos, en cambio el nitrógeno es aparentemente inerte.

Gases disueltos en el agua de mar.

Un estudio más profundo acerca de la naturaleza de los gases disueltos en el agua, muestra como el dióxido de carbono se disuelve para formar ácido carbónico, que se ioniza para producir iones H^+ y HCO_3 . Otros gases que se ionizan incluyen el dióxido de azufre, el sulfuro de hidrógeno y el ácido cianhídrico, los cuales forman ácidos débiles cuando se disuelven en el agua, la tabla 3.2 nos indica una comparación de los gases atmosféricos y los contenidos en el agua de mar.

GAS	CONCENT. EN LA ATMÓSFERA (%)	CONCENT. EN EL AGUA DEL MAR (‰)
Nitrógeno	78.08	63.9
Oxígeno	20.94	33.4
Bióxido de carbono	0.03	1.4
Gases raros: (Helio, Xenón y Argón)	0.95	1.6

Tabla 3.2. Concentración de los gases de la atmósfera y del agua de mar.

La actividad dentro de los seres vivos es fundamental en la descomposición del agua de mar y en los cambios de concentración de sus elementos. Cuando un organismo esta realizando su metabolismo utiliza los componentes del agua, pero cuando excreta, defeca o muere se produce la descomposición bacteriana y los elementos vuelven a quedar libres. Aunque en cantidades muy pequeñas se encuentran en el agua del océano compuestos que provienen de la desintegración radiactiva como plomo y argón, entre otros.

Constituyen el campo de estudio de la oceanografía química el conocimiento de la composición el agua de mar y sus procesos químicos, el equilibrio dinámico de los sistemas químicos, los ciclos químicos, las relaciones entre los fenómenos físicos, biológicos y geológicos con la química del mar, la influencia con las actividades del hombre y la relación química del océano con la atmósfera y la litósfera.

3.3 Composición química del agua de mar.

La composición química del agua de mar a menudo es descrita basándose en fantasías, que a veces parecen trabajos escritos por alquimistas, es decir, los Químicos de la Edad Media que, dejándose arrastrar por su imaginación la describen compuesta por toneladas de metales preciosos. Es cierto que el mar contiene diseminados en el seno de sus aguas algunos de estos metales, pero su extracción a escala industrial y económica, a pesar de los repetidos ensayos que se han hecho en muchos lugares, no es rentable. Sin embargo, si estos metales por el momento no son aprovechados por el hombre, la sal que el océano contiene, ha sido altamente utilizada a través de la historia, por lo que su valor es infinitamente superior al que podrían tener los metales.

El primer componente del mar es el agua, compuesto que tiene cada una de sus moléculas formadas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno (H₂O).

El agua de los océanos no es pura, sino que contiene en solución una gran variedad de elementos y compuestos llamados sales, en una proporción de 96.5% de agua y de 3.5% de estos últimos. Las sustancias disueltas en el agua llegan a ella a través de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, y son las encargadas de proporcionar las propiedades del agua oceánica.

Una gran cantidad de analistas se han entregado al estudio de la composición del agua oceánica, tratando de determinar con exactitud su composición salina. Las primeras determinaciones de las sales disueltas en el agua de mar, hechas con precisión se deben al oceanógrafo William Dittmar que analizó 77 muestras recolectadas en los océanos Pacífico e Indico durante los años de 1873 a 1876. En 1884 determinó halógenos, sulfatos, cloruros, carbonatos de sodio, magnesio, calcio y potasio; y descubrió que estas sales se encontraban en cantidades más o menos constantes, por ejemplo el ion cloruro representa siempre el 56% de los cloros totales disueltos en el agua de mar, y el magnesio el 4%. Estos compuestos se encuentran en cantidades más abundantes, proporcionan al mar sus características especiales de salinidad y desempeñan un papel muy importante en los equilibrios fisicoquímicos y en los fenómenos bioquímicos del medio marino. Las sales disueltas en el océano constituyen casi 50 billones de toneladas y están formadas por 10 elementos principales por encontrarse en mayores proporciones: cloro, sodio, magnesio, azufre, calcio, potasio, bromo, estroncio, boro y flúor.

El *cloro* y el *sodio* son los constituyentes fundamentales del agua de mar y se encuentran en forma de cloruro de sodio que se conoce como la sal común, representa el 80% de las sales en la solución. Estas cantidades y la composición de cloro y sodio en el agua de mar es muy semejante a la de los líquidos orgánicos como la sangre, los líquidos viscerales que forman el medio interno de los animales y que juegan un papel decisivo en la fisiología, es decir en las funciones de estos seres vivientes. Después del cloro y el sodio, el *magnesio* es el elemento más abundante en el agua de mar, se encuentra en una relación constante respecto al cloro; se combina con otros elementos formando cloruros de magnesio, sulfato de magnesio y bromuro de magnesio y está presente en el esqueleto de algunos organismos marinos.

El *azufre* se encuentra en forma de *sulfatos*, compuestos cuya concentración varía poco, aunque pueden cambiar notablemente sus proporciones

en las aguas próximas al litoral debido a la influencia de las aguas fluviales, más rica en sulfatos que las marinas. Un ejemplo de ello es el Mar Negro.

La cantidad de *calcio* que contienen las aguas oceánicas es menor que la de los elementos anteriores y su relación con el cloro permanece relativamente constante. Este calcio, combinándose con los carbonatos constituyen la estructura del esqueleto calizo, interior o exterior, de un gran número de organismos, como los foraminíferos, pequeños animales de plancton marino, los corales y las algas marinas que viven en el fondo del mar y que forman el benton; y también se encuentran en los caparazones de los crustáceos y en la concha de los moluscos. Al morir estos organismos, sus esqueletos caen al fondo, en donde llegan a formar acumulaciones marinas de calcio de gran extensión. El calcio en el mar presenta una extraordinaria movilidad determinada por la abundancia y distribución de estos organismos oceánicos, debido a que el calcio concentrado por los seres vivos para formar su esqueleto o caparazón se disuelve lentamente una vez muertos y de esta manera se mantiene constante la cantidad de calcio en el mar a causa de este comportamiento cíclico.

El sexto elemento en abundancia es el *potasio*, que tiene su relación constante con el del cloro. En las zonas litorales la cantidad de potasio puede modificarse al ser asimilado por los vegetales marinos que tapizan el fondo costero. En la cantidad de potasio también intervienen otros factores como: aporte de agua dulce, presencia en el agua de mar de sustancias orgánicas en descomposición llamadas detritus y formación de compuestos arcillosos. El *bromo* forma bromuros, aunque su proporción es pequeña al encontrarse 65 gr/m³ de agua de mar, se ha logrado extraerlo en cantidades industriales y se utiliza como detonante de los combustibles líquidos.

El *estroncio* es un elemento que se ha encontrado en el agua oceánica pero ha sido poco estudiado, se detecta junto con el calcio por la dificultad técnica para poderlo separar. Puede formar parte del esqueleto de algunos organismos

marinos. Los últimos elementos que los oceanógrafos químicos consideran como componentes principales del agua del mar son el boro y el flúor.

El *boro* está en forma de ácido bórico y colabora con el equilibrio de los carbohidratos. El *flúor* constituye fluoruros conociéndose poco sobre su significado en el mar. Además de estos elementos que se encuentran en mayor proporción y en concentraciones constantes en el agua de mar, existen otros componentes disueltos en cantidades pequeñas, ha resultado difícil identificarlos con técnicas sencillas de análisis químicos. Estos elementos llamados por su escasez oligoelementos, alternan entre un nivel máximo de varias partes por millón a una parte por 10 billones de agua del mar y generalmente se detecta una porción en la estructura de los organismos que habitan en el océano. Se calcula que son 79 los oligoelementos que están presentes en el agua oceánica, algunos de ellos tienen una concentración relativamente constante pero la mayoría varían por dos razones: al ser utilizados por los seres vivos que posteriormente los regresan al agua y por la actividad geoquímica del mar.

La mayoría de estos oligoelementos son alimentos para organismos vivos acumulándose en su cuerpo, por lo que pueden presentarse en cantidades mayores que las que se encuentran en el agua donde habitan. Por su concentración los oligoelementos se dividen en dos grupos. Unos son de concentración relativamente constante como el hierro, manganeso, cobre, sílice, yodo y fósforo. Otros que tienen concentraciones variables y que se encuentran en cantidades infinitesimales que a veces solo se sospecha que existen porque no se han aislado apropiadamente del agua de mar, son el cadmio, titanio, cromo, talio, germanio, antimonio y cloro, este último único de estos elementos que sí ha podido extraerse del agua de mar.

A pesar de ser escaso el *hierro* en el agua de los mares, uno de los elementos indispensables para la vida en el océano. Se encuentra en las aguas procedentes de los aportes fluviales de donde lo toman los organismos, como

pequeños vegetales hasta los grandes mamíferos que lo utilizan para formar hemoglobina en su sangre.

El hierro abunda en los sedimentos marinos, sobre todo en los lados de las plataformas continentales y del litoral en forma de hierro metálico como carbonato ferroso, sulfato o sulfuro de hierro. Su concentración es de 3.4 microgramos por litro de agua de mar. Su origen pudo ser: detrítico, es decir, de partículas minerales arrastradas por los ríos después de ser desgastadas de las rocas; químicos, por precipitación de las sales de hierro de los sedimentos y biológicos, por la resultante de la actividad orgánica de los animales y vegetales.

El *manganeso* es más abundante en los vegetales marinos que en el medio líquido y su concentración alcanza 0.5 microgramos por litro. También se puede localizar en los nódulos localizados en los fondos marinos.

La concentración de *cobre* es de 1 microgramo por litro y se incrementa si es mayor el aporte de agua dulce. En los moluscos forma parte de la hemocianina, que es el pigmento sanguíneo.

Uno de los oligoelementos más abundantes es el *silicio*, de la que se encuentran 3 gramos disueltos por cada litro de agua. Su concentración varía de acuerdo a las cantidades que utilizan las diatomeas y los dinoflagelados, organismos microscópicos de plancton que forman sus caparazones con este elemento.

El *yodo* es más frecuente en las algas grises que disuelto en el agua de mar, en la que existen 64 microorganismos por litro y se utilizan en su mayor parte en la industria farmacéutica. El *fósforo* se presenta como fosfatos y es otro elemento indispensable para los seres vivos; su concentración en el agua es de 88 microgramos por litro. Otros de estos oligoelementos proviene de la actividad radiactiva y uno de los más interesantes es el radio, que se encuentra en las

capas profundas del mar. La existencia de este radio en depósitos litorales es un factor de interés terapéutica en el tratamiento de afecciones reumáticas, de ahí el empleo de los lodos marinos para tratarlas.

El agua de mar también contiene gases en disolución. Todos los gases atmosféricos se encuentran en el agua de mar, siendo los más abundantes *nitrógeno, oxígeno y bióxido de carbono*, de los cuales el último se encuentra principalmente como carbonato y bicarbonato porque reacciona químicamente con el agua marina. Los gases raros también están presentes en pequeñas cantidades como: argón, kriptón, xenón, neón y helio, y en ausencia de oxígeno suele haber ácido sulfhídrico y probablemente también metano en zonas de aguas donde hay activos procesos fermentativos. Como cada gas tiene su propia solubilidad, la proporción en que están disueltos en el mar no es igual a la que presentan en la atmósfera y se encuentra un promedio de nitrógeno de 64%, de oxígeno como 34% y de bióxido de carbono de 1.4%. Los gases raros representan una proporción de casi el 1.6%. La distribución de los gases disueltos depende de la temperatura, la salinidad, las corrientes, la difusión, la mezcla, y la actividad biológica, variando inversamente en ellas; por ejemplo a mayor temperatura disminuye la concentración de gases.

El *nitrógeno* es el gas que se encuentra en mayor proporción en el mar, pero por su carácter inerte no interviene en el ciclo biológico de las sustancias nitrogenadas, aunque existen en el mar ciertas bacterias que son capaces de producirlo y otras de fijarlo. La reserva principal en el agua de mar está constituida por los nitratos y en menor cantidad por el amoníaco. Estas 3 combinaciones de nitrógeno son indispensables para que los vegetales marinos puedan sintetizar sus proteínas. La distribución del nitrógeno depende de la temperatura, la salinidad, la circulación de los procesos de mezcla y la difusión que se realiza en las aguas oceánicas. En total se han calculado 15 microgramos por litro.

El oxígeno es el gas que más se ha estudiado dada su importancia en los procesos biológicos. Sin embargo, el proceso de absorción del oxígeno por los océanos y su transporte hacia las profundidades, son los problemas que más interesan a los oceanógrafos químicos, que todavía no cuentan con una respuesta satisfactoria para explicarlo. La distribución del oxígeno en el océano depende de la circulación de las masas de agua. En la superficie del agua está en equilibrio con la cantidad que existe en la atmósfera siendo sus valores altos, mientras que en las capas profundas la cantidad de oxígeno depende de la temperatura que estas tienen el momento en que se hundieron. El oxígeno en el océano puede variar de cero a 8.5 centímetros cúbicos por litro. Por debajo de los 2,000 metros la concentración de oxígeno apenas varía, manteniéndose entre 3.4 y 6.6 centímetros cúbicos por litro en el Atlántico y algo menos en el Pacífico.

Compuestos en el agua de mar.

La tabla 3.3 nos hace referencia a la concentración promedio en el agua de mar de los compuestos típicos.

COMPUESTOS	CONCENTRACIÓN (g/l)
Cloruro de sodio	24
Cloruro de magnesio	5
Sulfato neutro de sodio	4
Cloruro de calcio	1.1
Cloruro de potasio	0.7
Bicarbonato de sodio	0.2
Bromuro de sodio	0.096
Ácido bórico	0.026
Cloruro de estroncio	0.024
Fluoruro de sodio	0.003

Tabla 3.3. Concentración promedio de los principales compuestos en el agua de mar.

3.4 Algunas propiedades químicas del agua de mar.

Salinidad.

La salinidad es una de las características que mas interesa estudiar. Esta propiedad resulta de la combinación de las diferentes sales que se encuentran disueltas en el agua oceánica, siendo las principales los cloruros, carbonatos y sulfatos. Se puede decir que básicamente el mar es una solución acuosa de sales, característica que le confiere su sabor. "La *salinidad* es la cantidad total en gramos de las sustancias sólidas en un kilogramo de agua de mar". Se representa en partes por mil y se encuentra en los océanos como salinidad media la de 35 partes por mil, o sea que un kilogramo de agua de mar contiene 35 gramos de sales disueltas.

La salinidad varía en dirección tanto horizontal como vertical y aun en un mismo punto puede experimentar variaciones en las diferentes estaciones del año; en la tabla 3.4 se muestra la salinidad de algunos mares y Océanos en el mundo.

Mar/Océano	Salinidad (mg/l)
Mar Báltico	28,000
Mar del Norte	34,000
Océano Pacífico	33,600
Océano Atlántico Sur	35,000
Mar Mediterráneo	36,000
Mar Rojo	44,000
Golfo Pérsico	43,000-50,000
Mar Muerto	50,000-80,000
MEDIA MUNDIAL	34,800

Tabla 3.4. Salinidad media de los principales mares y océanos del planeta.

Teniendo estos datos, está claro que la salinidad o facilidad de una sustancia para conducir corriente eléctrica: el agua pura no conduce la electricidad pero se va haciendo conductora con la adición de diversos constituyentes de

naturaleza electrolítica, así como otros constituyentes químicos integrados en el agua, y la temperatura de aporte influyen mucho a la hora de elegir el proceso desalador que pueda eliminarlos convenientemente.

Los factores que afectan esta propiedad son en primer lugar la temperatura (tabla 3.5), ya que si es elevada provoca una evaporación intensa y por lo tanto un incremento en la salinidad resultante de la concentración de sales, en segundo lugar los aportes de agua dulce, que por dilución disminuye la salinidad.

PROFUNDIDAD(m)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (g/l)
0	26.44	37.45
50	18.21	36.02
100	13.44	35.34
500	9.46	35.11
1,000	6.17	34.90
1,500	5.25	34.05

Tabla 3.5. Temperatura y salinidad de acuerdo a la profundidad.

De aquí que por regla, se presente una mayor salinidad en las zonas tropicales que en las de latitud elevada.

La salinidad interviene directamente sobre las características fisicoquímicas del agua de mar relacionándose con la temperatura, la densidad y el pH; característica de las masas de agua oceánicas e influye en la distribución de los seres vivos, ya que sus estructuras y funcionamiento están íntimamente ligados a las variaciones de la salinidad.

Clorinidad.

La *clorinidad* se define como: "La cantidad de gramos de cloro contenidas en un kilogramo de agua de mar, admitiendo que el yodo y el bromo han sido sustituidos por el cloro".

pH.

Otro factor que requiere de estudio es el pH; es decir, la relación entre la concentración de iones de hidrógeno (H^+) y oxhidrilos (OH^-) que le confiere características de alcalinidad o de acidez a una solución. El agua oceánica es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7.5 y 8.4 y varía en función de la temperatura; si esta aumenta en pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, la presión o profundidad y de la actitud vital de los organismos marinos. El conocimiento del pH del agua del mar tiene importancia ya que muchos fenómenos biológicos pueden estar regulados por él mismo.

Estas propiedades químicas del agua de mar, al caracterizar masas de agua del océano, permiten seguir su curso y modificaciones a lo largo de miles de kilómetros del mar y así entender el desarrollo de muchas especies marinas.