

# MANUAL DE QUÍMICA DEL AGUA TEORÍA Y PRÁCTICA



Elaborado por:  
Bienvenido German Marín Zambrana. Dr.rer.nat.  
Docente Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Investigador-INTROPIC  
Universidad del Magdalena

Colaboración en la elaboración de las prácticas de laboratorio:  
Isaac Manuel Romero Borja. Biólogo  
Coordinador de laboratorio de Calidad de Agua, Aire y Suelo



## **Manual de Química del agua Teoría y Práctica**

*Edición:* Primera - Febrero de 2009

*ISBN:* 978-958-8320-76-2

*Autor:* Bienvenido Marín Zambrana

*Diseño y Diagramación:* Julio Valle Navarro

*Carátula:* Andrés Caiaffa Vidal

*Ciudad:* Santa Marta, D.T.C.H. - Colombia

*Impresión:*

Manual de prácticas para el apoyo a la docencia en los programas académicos de la Facultad de IngenieríaEl presente material no puede ser duplicado, ni reproducido por ningún medio, sin previa autorización escrita de la Editorial UniMagdalena.

©EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
Dirección de publicaciones y propiedad intelectual



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**

*Rector:* Ruthber Escorcía Caballero

*Vicerrector de Investigación:* José Henry Escobar Acosta

*Director Financiero:* Ricardo Campo Redondo

*Coordinador de publicaciones y propiedad intelectual(e):* Raúl Sarabia-Gómez

# AGRADECIMIENTOS

A Dios, mis Padres e Hijos.

A mi país Cuba, por posibilitar mi formación y sembrar el interés de compartir lo aprendido. A mi esposa Maria Elena Torrens Espinosa por su apoyo y estímulos en los momentos más necesitados. Al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, al Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y el Instituto de Investigaciones Tropicales-INTROPIC, ambos de la Universidad del Magdalena, por permitirme participar en sus proyectos y actividades y darme la oportunidad de intercambiar experiencias y adquirir conocimientos.



# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA DEL AGUA.....	13
1. Principales características del agua. ....	17
Características físicas.	
2. Propiedades físicas. ....	19
Acción disolvente.	
Fuerza de cohesión.	
Propiedad de expandirse al enfriarse.	
Fuerza de adhesión.	
Calor específico.	
Calor de vaporización.	
3. Propiedades Químicas del Agua. ....	20
4. Clasificación y diversos tipos de agua. ....	22
Según su localización de la Tierra.	
Según la cantidad de sales disueltas en ellas.	
Ciclo hidrológico.	
Tipos de agua.	
5. Usos del agua. ....	37
6. Función ecológica del agua. ....	38
CAPÍTULO II. CALIDAD DEL AGUA.....	41
1. Conceptos. ....	43
2. Variables Físicas, químicas y sanitarias. Principales variables indicadoras de la calidad de las aguas continentales, marinas y costeras. ....	43
3. Parámetros de calidad de las aguas. ....	44
Parámetros de carácter físico.	
Parámetros de carácter químico.	
Parámetros de carácter radiactivo.	
Parámetros de carácter microbiológico.	
Alteración de la calidad de las aguas continentales y costeras.	
Nutrientes.	
4. Indicadores. ....	58
Criterios generales para la selección de indicadores simples y sintéticos.	
Breve consideraciones sobre las bases que fundamentan los indicadores.	
Indicadores ambientales.	
Indicadores de la calidad de las aguas continentales y costeras.	
Indicadores de contaminación.	
Indicadores en Colombia.	
Bioindicadores.	
CAPÍTULO III. CONTAMINACIÓN QUÍMICA Y SANITARIA DE LAS AGUAS CONTINENTALES Y COSTERAS .....	67
1. Contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y costeras. ....	69

Contaminación de las aguas superficiales.	
Contaminación de las aguas subterráneas.	
Contaminación de las aguas costeras.	
2. Fuentes de contaminación. ....	75
Fuentes puntuales y no puntuales de contaminación.	
3. Factores químicos que afectan el destino y transporte de los contaminantes. ....	76
Solubilidad en agua.	
Factores del sitio de estudio que influyen en el destino y transporte de los contaminantes.	
4. Principales contaminantes, bacteriológica, Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs; petróleo y plaguicidas) y metales pesados. ....	79
Microorganismos.	
Desechos orgánicos e inorgánicos.	
Petróleo y plaguicidas.	
Metales pesados.	
5. Estrategias para combatir la contaminación. ....	86
6. Medidores de materia orgánica: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda de Oxígeno y Carbono Orgánico Total (COT). ....	86
Parámetros medidores de materia orgánica.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno.	
Demanda Química de Oxígeno.	
Demanda de Oxígeno.	
Sustancias extraíbles al cloroformo (SEC).	
Carbono Orgánico Total (COT).	
Consideraciones acerca de la DBO y DQO.	
 CAPÍTULO IV. COMPUESTOS INORGÁNICOS.....	93
1. Sulfatos. ....	95
Eliminación de los sulfatos.	
2. Cloro residual, demanda de cloro, cloro libre y cloro combinado. ....	101
 CAPÍTULO V. CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS CONTINENTALES Y COSTERAS .....	103
1. Acciones relativas al medio ambiente. ....	105
2. Normas y decretos. ....	105
Normas.	
Decretos y guías nacionales.	
Normas internacionales sobre Gestión Ambiental.	
3. Escala indicativa del grado de contaminación. ....	108
Uso de la escala.	
 CAPÍTULO VI. PROGRAMAS DE MONITOREO.....	113
1. Diseño de programas de muestreos. ....	115
Tipos de monitoreos en relación con la metodología y el objetivo.	
Muestreo.	
Tipos de muestras.	
Tipos de método de recolección.	
Obtención de muestras, traslado y conservación.	
2. Mediciones para la caracterización de la calidad de las aguas. ....	120
3. Línea Base Ambiental para proyectos de obra o actividades. ....	121
Interrelación de los elementos ambientales.	
Generalidades de la línea base.	
Descripción de la Línea Base ambiental.	
 CAPÍTULO VII. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS.....	127
1. Técnicas analíticas. Técnicas, métodos, procedimientos y protocolos. ....	129
2. Elección de un método analítico; principales factores. Control: Propiedades analíticas; supremas, básicas y complementarias. ....	130

Propiedades analíticas supremas: Exactitud y representatividad.	
Propiedades analíticas básicas: Precisión, sensibilidad y selectividad.	
Propiedades analíticas complementarias.	
3. Análisis de las aguas. ....	132
4. Análisis gravimétrico. Concepto y términos. Factor gravimétrico. Por ciento en peso. Cálculos. ....	133
Factores gravimétricos.	
Cálculo de porcentajes.	
Cálculo de pesos atómicos.	
Cálculos en los que interviene una muestra en peso como factor.	
Cálculos referidos a la muestra seca.	
Métodos gravimétricos indirectos.	
5. Análisis volumétrico. Conceptos y términos. Titulaciones: Punto final y de equivalencia.	
Error de valoración. ....	138
Conceptos y términos.	
Valoraciones o titulaciones.	
6. Clasificación de las técnicas instrumentales. Métodos ópticos. Técnicas instrumentales. Métodos electroanalíticos y cromatográficos. ....	141
Técnicas instrumentales	
Métodos ópticos de análisis.	
7. Principio de la colorimetría. Absorbancia y Transparencia. Ley de Lambert-Beer. ....	142
Métodos visuales.	
Métodos instrumentales.	
<b>CAPÍTULO VIII. VERTIMIENTOS.....</b>	<b>145</b>
1. Tipos de vertimientos. ....	147
Algunas propiedades que caracterizan los desechos.	
Evaluación de los riesgos potenciales.	
Factores que determinan la gravedad del impacto.	
Derrames de sustancias químicas en el mar.	
2. Aguas residuales. Origen. Características. Evaluación. ....	149
Importancia sanitaria de las aguas residuales.	
Características de las aguas residuales (vertidos urbanos).	
Aspectos físicos, químicos y biológicos.	
Análisis de aguas residuales.	
3. Emisario submarino. ....	151
<b>CAPÍTULO IX. SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>153</b>
1. Procesos y Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. ....	155
Procesos y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.	
2. Agua potable. ....	159
Fuentes típicas de agua.	
Formas para conseguir agua potable.	
Purificación del agua.	
Química de la cloración.	
<b>X. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>169</b>
<b>XI. PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>177</b>
1. Parámetros organolépticos: Color, olor y sabor. ....	179
2. Parámetros físicoquímicos: Turbiedad, sólidos y conductividad. ....	185
3. Parámetros químicos: pH, acidez, alcalinidad y dureza. ....	192
4. Determinación de sulfatos en el agua. ....	203
5. Determinación de cloruros. ....	205
6. Determinación de hierro en agua. ....	207
7. Determinación de cloro residual en el agua. ....	209
8. Determinación de Oxígeno Disuelto (OD) y determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el agua. ....	211

9. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). .....	215
XI. REFERENCIAS.....	220

# INTRODUCCIÓN

La *Química del Agua* se le ha denominado al estudio integral con un enfoque químico, de las diferentes características y propiedades físico-químicas que posee el agua como componente esencial de la vida, sus diferentes fuentes y usos, susceptibilidad al deterioro y contaminación, así como la variedad de procesos que se aplican para el tratamiento de las aguas residuales y la potabilización de las destinadas al consumo humano, siendo este un tema de carácter interdisciplinario con implicaciones de tipo tecnológico, social, medio ambiental y de gran repercusión en todas las esferas de la vida del hombre, la flora y la fauna de nuestro planeta (BAIRD, Colin 2001).

El conocimiento de las propiedades y características químicas del agua, sirven de base para entender los diferentes procesos naturales, industriales y agrícola en los que interviene el agua, y el porqué de las propiedades excepcionales que ella posee, que la hacen tan necesaria para el desarrollo de la vida (ALLOWAY, 1993).

El estudio de la *Química del Agua*, posibilita disponer de las herramientas que sustentan la aplicación e interpretación de los análisis químicos cualitativos y cuantitativos, que fundamentan el diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas atendiendo a sus diferentes usos y el impacto que su estado causan en el medio ambiente, aportando a su vez los elementos que contribuyan a una adecuada explicación y aplicación de los resultados obtenidos, como base para el diseño de sistemas de tratamiento de las aguas residuales y las destinadas al consumo humano, con tecnologías apropiadas (BARBA HO, 1989; [http://www.lenntech.com/agua\\_glosario.htm](http://www.lenntech.com/agua_glosario.htm)).

Entorno a la problemática de los recursos hídricos y en particular lo concerniente a la *Química de Agua*, existen una gran cantidad de publicaciones las cuales abordan disímiles temas, pero tal diversidad no siempre satisface las necesidades de estudiantes y profesionales, limitando en el caso de los primeros dada la dinámica de los programas académicos, contar con fuentes de información que les permita profundizar en los temas comprendidos en los respectivos programas de estudio.

En este contexto es importante hacer referencia al medio ambiente, dada la relevancia que ha tenido en las últimas décadas por sus implicaciones para la vida del hombre y la conservación de nuestro planeta.

Aunque la expresión medio ambiente es parcialmente redundante porque los dos sustantivos tienen una acepción coincidente, se usa de manera generalizada.

Existen diferentes formas de expresar el concepto de medio ambiente o medioambiente, pero unas y otras hacen mención al entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de los individuos o la sociedad en su conjunto. Dicho concepto no sólo comprende la integridad de valores naturales, sino también los sociales y culturales existentes en un lugar y un momento determinado, que influyen en la vida del ser humano y en las generaciones venideras.

El medio ambiente es un sistema; no es simplemente el espacio en el que se desarrolla la vida sino como ha sido indicado, comprende los seres vivos y otros componentes, como el agua, suelo y aire. El estado del medio ambiente es evaluado a través de la calidad ambiental.

En la teoría general de sistemas, este está integrado por subsistemas, lo cual también es aplicable en el sistema medio ambiente. El agua constituye un subsistema de importancia vital para el funcionamiento del medio ambiente. El agua como componente esencial de la vida y como fuente promotora de desarrollo, requiere de acciones apremiantes para lograr un objetivo fundamental, su protección y conservación. La pasividad

ante su deterioro y escasez, y la necesidad de disponer de argumentos técnicos para coadyuvar al logro de tal objetivo, han sido tratado y divulgados por diferentes vías, revistas, artículos, libros, etc.

*En temas ambientales para América Latina, el Dr. Ernesto Gubel, expuso: Desde hace casi una década se reúne cada tres años, convocado por las Naciones Unidas, el Foro Mundial del Agua. La iniciativa nació de la creciente preocupación de la comunidad internacional por el acelerado deterioro y empobrecimiento de los recursos hídricos del planeta, debidos a la destrucción de los ecosistemas que los producen y protegen, a la sobreexplotación de las fuentes tradicionales y a su agotadora y dramática contaminación, causada por las actividades de una población creciente y cada vez más ávida de agua.*

*En cuanto a la cantidad de agua se enfatizó en la necesidad de encontrar nuevas fuentes, mediante novedosas tecnologías de tratamiento que permitan el reuso del o aprovechando la "cosecha" de la lluvia que ha probado ser muy eficaz en zonas rurales y poblaciones en diversos países y la desalación del agua de mar, que es la gran reserva futura y que ya se usa competitivamente en muchos países con limitaciones de agua dulce. Estas nuevas fuentes y otras por desarrollar, son indispensables para superar el problema de la escasez.*

*En lo que respecta a la calidad, tema tan preocupante como el de la cantidad por sus implicaciones sobre la salud y las posibilidades de uso del recurso, se destacó la urgencia de avanzar en el tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales, haciendo uso en lo posible de métodos bioecológicos y de cambios en las prácticas agropecuarias para reducir sus aportes contaminantes, en especial de agroquímicos que afectan aguas superficiales y subterráneas.*

*La disponibilidad por habitante llega a niveles que la ubican muy por encima del promedio mundial. Mientras en el mundo el promedio anual per cápita está alrededor de 6.500 metros cúbicos, en Colombia ronda los 28.000 metros cúbicos. Sin embargo, en lo que respecta a la calidad, seguimos más de cerca el patrón mundial, pues estamos contaminando de manera irresponsable y grave nuestros ríos y cuerpos de agua.*

*El problema principal del agua en Colombia es, por tanto, un asunto de calidad antes que de cantidad y la principal contaminación proviene de los patógenos y nutrientes generados por la población urbana y el sector agrícola, antes que de los vertimientos industriales. Naturalmente, el sistema institucional y administrativo, es decir la gobernabilidad del agua, ocupa también un puesto destacado en nuestra problemática. Los sistemas de captación y distribución presentan muchas fallas de diseño y de mantenimiento que llevan a altas pérdidas y a poner en riesgo el abastecimiento de la población en años secos, no por carencia natural de agua sino por deficiencias en los acueductos.*

*La pregunta fundamental que queda después de las anteriores consideraciones es la de cómo lograr que la riqueza natural excepcional que tiene el país representada en el agua, en lugar de dar pie a que se malgaste, se convierta en un factor de desarrollo sostenible y de bienestar para los colombianos de hoy y de mañana. El aprovechamiento sostenible de nuestra riqueza hídrica es un elemento crucial de nuestro mejor futuro y amerita una política para lograrlo.*

*Un primer paso puede ser aprovechar la iniciativa del gobierno sobre la llamada "Ley del Agua", para replantear el proyecto que está a consideración del Congreso, sobre el cual hay muchas objeciones por considerarlo incoherente con la realidad del país y hacer propuestas confusas y vagas, que aportan muy poco en términos reales a la solución de la problemática. Los planteamientos tratados en el Foro de Méjico, pueden ser muy útiles, adaptándolos a nuestra situación y enriqueciéndolos con aportes de conocedores de la situación en Colombia, usuarios, comunidades y expertos, cuyas experiencias no han sido incorporadas debidamente en el proyecto en curso. (GUHL E, 2006).*

Conciente de la problemática existente entorno al agua, esta publicación pretende aportar algunos de los elementos técnicos, que contribuyan a proteger nuestros recursos hídricos de la contaminación producida por el intenso desarrollo económico-social.

La presente obra titulada *Manual de Química del Agua; Teoría y Práctica* está basada en informaciones, documentos y publicaciones, así como los trabajos realizados por el autor sobre el tema de la calidad de las aguas y su actividad docente impartiendo la asignatura *Química del Agua* para ingenieros ambientales y sanitarios.

Dicho manual tiene como propósito contribuir al aprendizaje de los estudiantes interesados en el tema contenido en el mismo, siendo a su vez una herramienta de gran utilidad para la labor de los investigadores que tienen como misión evaluar y diagnosticar la calidad de las aguas y proponer alternativas para su protección y conservación.

Este manual subraya, tanto a nivel teórico como práctico, los aspectos esenciales que permitan complementar y enriquecer el conocimiento de estudiantes así como de profesionales, sobre las propiedades, usos, calidad de las aguas, impactos y criterios de evaluación de ese importante recurso.

#### *Estructura del Manual*

El Manual consta de diez capítulos; los nueve primeros se concentran en los aspectos teóricos y el último contiene las prácticas de laboratorio. El capítulo uno, introduce al lector en aspectos esenciales relacionados con la Química del Agua, tales como sus propiedades físicas y químicas, principales características, clasificación de las aguas atendiendo a su ubicación en la tierra y las sales disueltas en ellas y diferentes tipos, haciendo énfasis en las aguas continentales y costeras. De igual forma se mencionan los diversos usos y función ecológica del agua. El segundo capítulo aborda la problemática de la calidad de las aguas continentales y costeras, definiendo conceptos, describiendo las principales variables físicas, químicas y sanitarias, utilizadas para caracterizar la calidad de las mencionadas aguas, y los factores que alteran dicha calidad, de manera que la información que a través de este capítulo se brinda, permita identificar en que estado se encuentran la calidad de los cuerpos de agua, atendiendo a los diferentes usos. También el capítulo dos se ocupa del tema de los indicadores ambientales, se exponen los conceptos básicos y los criterios que estos deben cumplir para ser aplicados en la evaluación de la calidad de las aguas continentales y costeras. Se trata en el capítulo el uso de bioindicadores para los fines señalados, destacando la importancia y ventajas que esta alternativa muestra en la realización de estudios ambientales

En el capítulo tres se trata lo concerniente a la contaminación de las aguas continentales, las causas de dicha contaminación, los principales contaminantes del agua y sus posibles efectos. Dada la importancia el conocimiento de este tema, a los efectos de prevenir, reducir y eliminar los contaminantes que deterioran la calidad de las aguas, se exponen los diferentes factores que inciden en el citado deterioro. Se hace referencia a las fuentes de contaminación que afectan la calidad de las aguas, y relacionado con esto, los principales contaminantes, destacando los microbiológicos, los Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), como son los hidrocarburos y los plaguicidas. Con igual sentido se exponen los metales pesados. Se señalan los factores químicos que afectan el destino y transporte de los contaminantes, y la importancia que tiene en dicho comportamiento la solubilidad de los contaminantes en el agua. Se describen los medidores de materia orgánica, como son Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda de Oxígeno y Carbono Orgánico Total (COT), destacando los aspectos principales de cada uno de ellos. Finalmente se subraya acerca de algunas consideraciones sobre la DBO y DQO.

El capítulo cuarto denominado compuestos inorgánicos, contiene una breve descripción sobre el comportamiento de los compuestos inorgánicos en el agua. Particular tratamiento tiene en el capítulo, los iones sulfatos y cloruros, como base para el conocimiento y comprensión de los factores que provocan el deterioro de las aguas destinadas al consumo humano y de los procesos de tratamiento que se aplican para la adecuación de esas aguas.

Los tres capítulos siguientes, es decir el quinto, sexto y séptimo, los cuales abordan los criterios para evaluar la calidad de las aguas continentales y costeras, programas de monitoreo y los procedimientos de análisis respectivamente, posibilitan contar con argumentos para establecer programas encaminados al estudio de la calidad de las aguas, y derivado de ellos, la formulación de planes de acciones que sustenten la conservación y protección de los recursos hídricos. Sin el conocimiento de los sistemas de referencia no es posible diagnosticar y evaluar el grado de deterioro que presentan las aguas de acuerdo a su uso. Por otra parte un programa de monitoreo ambiental recurre a una terna de técnicas de diagnóstico, complementarias entre sí, tales como: monitoreo de efectos biológicos con ensayos de toxicidad, monitoreo biológico de campo, y medición de parámetros químicos convencionales en descargas y cuerpos receptores. Tal programa, requiere del mencionado sistema de referencia y de técnicas y procedimientos analíticos, que permitan la determinación de las variables que caracterizan la calidad de las aguas. Por lo antes expuesto en los citados capítulos se hace aunque no de manera profunda, una descripción de los aspectos comentados.

El capítulo ocho examina lo concerniente a los vertimientos, la tipificación de los mismos. Se presentan algunas propiedades que caracterizan los desechos. Se muestran algunas de las normativas en Colombia sobre vertimientos, con la finalidad de contribuir al conocimiento sobre el manejo y tratamiento de los desechos, de acuerdo a lo establecido en ese país. Dada la estrecha relación que guarda la calidad del agua, con los vertimientos de los desechos, se mencionan algunos aspectos a tener en cuenta para la evaluación de los riesgos

potenciales, así como para poder determinar la magnitud del impacto en el ambiente causado por el vertimiento. En ese contexto es tratado el tema de las aguas residuales, sus orígenes, características, evaluación, aspectos físicos, químicos y biológicos, composición y las alternativas analíticas que se aplican. Por constituir una vía de evacuación de aguas residuales, se hace referencia de manera somera al emisario submarino.

En el penúltimo capítulo se exponen los sistemas de tratamiento de las aguas residuales y las potables, describiendo los que se aplican en el procesamiento de las aguas residuales de distintas procedencias. Igualmente lo concerniente a las aguas potables es objeto de análisis en el presente capítulo. Este capítulo busca, además de indicar los diferentes sistemas, hacer entender la necesidad de no sólo identificar los factores que inciden en la calidad de las aguas, y conocer acerca de los diferentes temas examinados en el manual, sino también llamar la atención sobre la necesidad de aplicar las alternativas tecnológicas posibles, para que tan importante recurso, como es el agua, continúe siendo fuente de vida.

El capítulo final, está dedicado a las prácticas de laboratorio, con el propósito de que la ejecución de las mismas, permitan corroborar en la medida posible los aspectos teóricos analizados en el presente manual y sienten las bases para la aplicación de los conocimientos adquiridos.

Esta obra no pretende ser una réplica de textos y libros, en los que de manera detallada se exponen los temas que en el referido manual se presentan, pero la dispersión de estos y el enfoque sobre los mismos en algunos casos, tienden a no llenar las expectativas y necesidades de los estudiantes y profesionales, es por ello que la obra es el resultado de la compilación y procesamiento de una cantidad significativa de documentos de todos tipos, concernientes a la Química del Agua.

# INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA DEL AGUA





El estudio de la Química del Agua nos permite describir, entender y analizar en forma integral la mayoría de los aspectos que posibiliten el manejo de los recursos hídricos, los cuales requieren de nuestro conocimiento para su uso sostenible, dada la constante amenaza a que están expuesto (CARDENAS, F. 1999).

En muchas publicaciones se hace referencia al término "Cultura del Agua". ¿Qué significa eso? (GRAY, N.F. 1996).

Significa saber que el agua hay que cuidarla, que no hay que contaminarla, que no se debe sobreexplotar un acuífero o ecosistema costero, que es un recurso finito, vulnerable, aleatorio (REEVE, R. 2002).

Es enseñar que no se debe botar basura a los cauces y costas, que hay que cuidar la calidad del agua, los márgenes de ríos y costas, la recarga de aguas subterráneas.

La cultura del agua no es la simple lectura de un letrero que indique; peligro, no bañarse, aguas contaminadas, para que sea aprendida y difundida, requiere que esta sea de conocimiento de estudiantes, investigadores y gestores del manejo de los recursos hídricos (RINCON, A. G).

Lo antes mencionado requiere de políticas que permitan realizar una buena y correcta planificación de los recursos hídricos y esté encaminada a:

- Solucionar los problemas de escasez
- Lograr los niveles de calidad exigidos
- Preservar el medio hídrico para conseguir un desarrollo sostenible

La política del agua debe fomentar la citada cultura del agua. La toma de conciencia, tanto de la sociedad en general, como de los políticos en particular, juega un papel esencial en dicha política.

Debe tenerse muy en cuenta que el agua es vital para la vida y es tan importante la calidad de la misma como la cantidad de la que se dispongan, ya que calidad y cantidad son dos aspectos que van a estar directamente unidos.

En la tierra existen cuatro regiones bien definidas:

Litosfera, capa superficial de la corteza terrestre.

Hidrosfera, medio líquido que recubre las 7/10 partes de nuestro planeta.

Atmósfera, capa gaseosa homogénea que envuelve a las dos anteriores.

Biosfera, que es la parte de la Tierra en la que se forman los organismos vivos y viven sus ciclos vitales, la Biosfera no es diferente a la corteza terrestre, hidrosfera y atmósfera, más bien es parte integral de sitios donde las condiciones permiten que exista la vida.

El agua disponible para sostener la vida en la Corteza Terrestre es del:

- 0,65% del total del agua de la cual se distribuye para aguas municipales,
- 40% para la agricultura y
- el 50% para la industria.

El suministro de agua dulce de fácil acceso para consumo humano es alrededor de 0,003% del volumen total de agua (Figura 1).

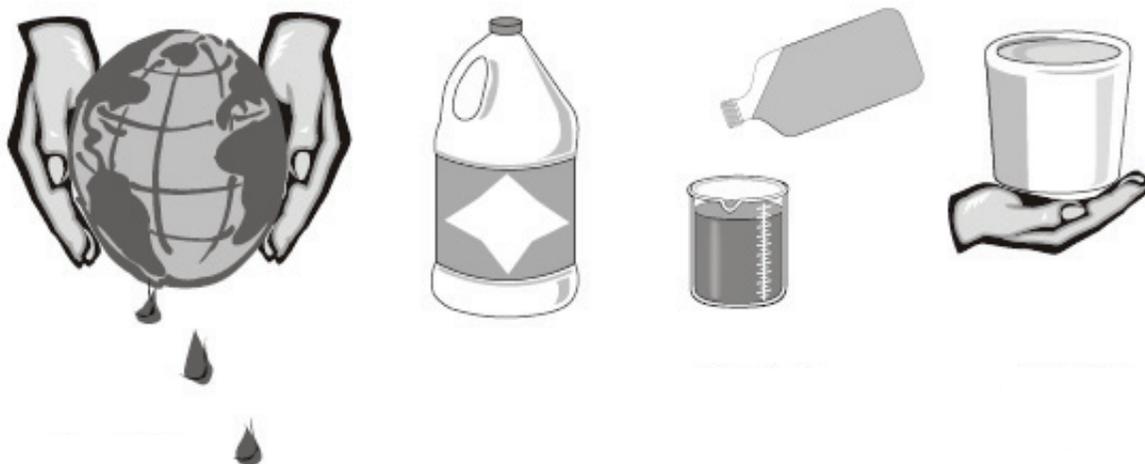


Figura No. 1. Suministro de agua dulce disponible para el consumo humano.

¿Por qué puede ser importante el estudio del agua?

El agua es el medio donde se producen la mayor parte de las reacciones biológicas (procesos fisiológicos).

El agua tiene gran significación para los seres humanos en otras áreas que inciden en su vida como son: usos domésticos, en la industria, irrigación, generación de electricidad, medio de transporte, actividades recreativas. El ser humano, como ser vivo, no puede sobrevivir sin agua.

El agua es un bien natural esencial para la vida en el planeta y para la supervivencia de las sociedades humanas, y por lo tanto, constituye un patrimonio natural y un derecho humano fundamenta (MONOGRAFIAS-3,4)

Las aguas continentales (ríos, lagunas, humedales, aguas subterráneas) están entre los más importantes bienes del planeta (HOURIA T. 1999).

- Se puede sobrevivir cerca de un mes sin alimentos, pero sólo una semana sin agua.
- Cerca del 70% de la piel humana es agua.
- Mujeres y niños de la mayoría de las regiones en desarrollo recorren una media de 10 a 15 kilómetros diarios para abastecerse de agua.
- Unas 34.000 personas mueren diariamente por enfermedades relacionadas con la calidad del agua, como diarrea o lombrices intestinales.
- Una persona necesita cinco litros de agua diarios para beber y cocinar y otros 25 litros para su higiene personal.
- Una familia media canadiense utiliza cada día 350 litros de agua. En Africa, el promedio es de 20 litros.
- Una vaca lechera necesita beber unos cuatro litros de agua por cada uno de leche que produce.
- Para fabricar cuatro neumáticos se precisan 9.400 litros de agua.

Los recursos del agua no son inagotables, por lo que deben ser tenidos muy en cuenta los siguientes aspectos:

1. Alterar la calidad del agua significa atentar contra la vida de los hombres y del resto de los seres vivos que dependen de ella.
2. La calidad del agua ha de mantenerse al nivel adecuado para los usos previstos y ha de satisfacer especialmente las exigencias de la salud pública.
3. Cuando el agua, una vez utilizada, vuelve a su medio natural, no ha de comprometer los usos posteriores, tanto públicos como privados, que se pueden hacer de ella.
4. El mantenimiento de una cobertura vegetal apropiada, preferentemente forestal, es esencial para la conservación de los recursos del agua.
5. Los recursos de agua han de ser inventariados.

6. La correcta gestión del recurso hídrico ha de ser objeto de un plan establecido por las autoridades competentes.
7. La conservación de los recursos hídricos implica un importante esfuerzo de investigación científica, de formación especializada y de información pública.
8. El agua es un patrimonio común, cuyos valores todos tienen que conocer.
9. La gestión de los recursos hídricos debería llevarse a cabo en el marco de la cuenca natural, preferentemente al de las fronteras administrativas y políticas.
10. El agua no tiene fronteras. Es un bien común que requiere la cooperación internacional.

- Cada día se utilizan 1.400 millones de litros de agua para imprimir la prensa de todo el mundo.

En el medio ambiente, el ciclo del agua también conocido como “Ciclo hidrológico” tiene un papel importante en el funcionamiento de la vida de la tierra, siendo este un sistema complejo de circulación ininterrumpida del agua en el planeta (GLYNN, H. 1996).

Fases que componen el ciclo  
([http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos\\_global/geografia/9/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/geografia/9/)).

*Evaporación:* Este es un fenómeno que ocurre debido a la energía la cual calienta las moléculas del agua que abandonan la masa líquida y pasa a la atmósfera como vapor.

*Condensación:* El vapor de agua asciende y desliza al impulso de los vientos, alcanzando zonas cada vez más frías. Como consecuencia las moléculas de vapor de agua se agrupan, las cuales al enfriarse se licúan y se condensan formándose la lluvia, la nieve y el granizo.

*Precipitación:* Las gotitas así formadas se atraen y aumentan de volumen hasta que luego de vencer la resistencia del aire, retornan a la superficie terrestre. Una parte de las precipitaciones es retenida en las capas del suelo de donde es extraída por las plantas; el resto del agua se dirige hacia los arroyos y ríos para luego desembocar al mar donde dará inicio a un nuevo ciclo del agua.

## 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

En la molécula de agua las cargas negativas (electrones) están dispuestas en forma más apretada alrededor del átomo de oxígeno que las cargas positivas (protones) de modo que se presenta en la molécula separación de cargas, las partes cargadas negativamente más cerca de los átomos de oxígeno y las partes cargadas positivamente igualmente cercas del hidrógeno. (Figura No. 2) (MONOGRAFIAS-1).

Esta atracción intermolecular se denomina enlace de hidrógeno, todo lo cual es necesario que se tenga claro, para entender algunas propiedades del agua de interés para la vida ([www.tema-estudio.com/ambiente-enfoque-quimico](http://www.tema-estudio.com/ambiente-enfoque-quimico)).

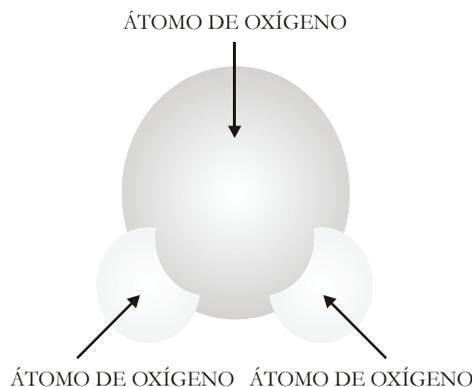


Figura No. 2. Estructura de la molécula de agua.

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El agua no tiene color, olor, ni sabor. Para obtener agua químicamente pura es necesario realizar diversos procesos físicos de purificación ya que el agua es capaz de disolver una gran cantidad de sustancias químicas, incluyendo gases (BAIRD, Colin. 2001).

El punto de ebullición del agua a la presión de una atmósfera, que suele ser la que hay al nivel del mar, es de 100 °C, y su punto de congelación es de 0 °C. La densidad máxima del agua líquida es 1 g/mL, alcanzándose este valor a una temperatura de 3,8 °C; la densidad del agua sólida es menor que la del agua líquida a la misma temperatura, 0,917 g/mL.

El agua tiene una tensión superficial muy elevada. El calor específico del agua es de 1 cal/°C•g. El agua es considerada un disolvente universal, ya que es el líquido que más sustancias disuelve, lo que tiene que ver con que es una molécula polar. Las moléculas de agua están unidas por lo que se llama puentes de hidrógeno (BROWN, T, 1999).

El agua tiene una tensión superficial muy elevada. El calor específico del agua es de 1 cal/°C•g.

Se dice del agua que es una molécula polar porque presenta polaridad eléctrica, con un exceso de carga negativa junto al oxígeno compensado por otra positiva repartida entre los dos átomos de hidrógeno; los dos enlaces entre hidrógeno y oxígeno no ocupan una posición simétrica, sino que forman un ángulo de 104° 45'.

El agua es un termorregulador del clima, gracias a su elevada capacidad calorífica. Su elevada tensión superficial hace que se vea muy afectada por fenómenos de capilaridad.

- Presenta un punto de ebullición de 373 K (100 °C) a presión de 1 atm.
- Tiene un punto de fusión de 273 K (0 °C) a presión de 1 atm.
- El agua pura no conduce la electricidad (agua pura quiere decir agua destilada libre de sales y minerales)
- Es un líquido inodoro, incoloro e insípido. Estas son las propiedades organolépticas, es decir, las que se perciben con los órganos de los sentidos del ser humano.
- Se presenta en la naturaleza de tres formas, que son: sólido, líquido y gas.
- Tiene una densidad máxima de 1 g/cm<sup>3</sup> a 277 K y presión 1 atm. Esto quiere decir que por cada centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>) hay 1g de agua.
- Forma dos diferentes tipos de meniscos: cóncavo y convexo.
- Tiene una tensión superficial, cuando la superficie de los líquidos se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo ofrecer cierta resistencia al intentar romperla y esta propiedad ayuda a que algunas cosas muy ligeras floten en la superficie del agua.
- Posee capilaridad, que es la propiedad de ascenso o descenso de un líquido dentro de un tubo capilar.
- La capacidad calorífica es mayor que la de otros líquidos.
- El calor latente de fusión del hielo se define como la cantidad de calor que necesita un gramo de hielo para pasar del estado sólido al líquido, manteniendo la temperatura constante en el punto de fusión (273 k).
- Calor latente de fusión del hielo a 0 °C: 80 cal/g (ó 335 J/g)
- Calor latente de evaporación del agua a 100 °C: 540 cal/g (ó 2260 J/g)

El agua sobre enfriada se puede congelar agitándola, descendiendo más su temperatura o añadiéndole un cristal u otra partícula de hielo; es una de los agentes ionizantes más conocidos.

La solubilidad de sólidos y gases en agua en dependencia de la temperatura se muestran en la Figura No. 3.

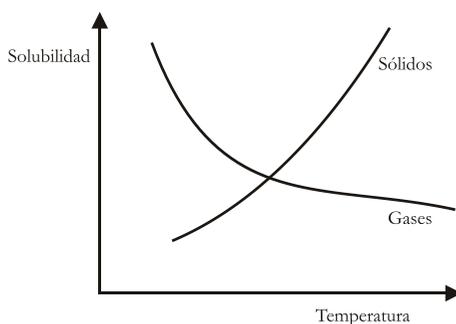


Figura No. 3. Dependencia de la solubilidad de sólido y gases con la temperatura.

## 2. PROPIEDADES FÍSICAS

Una función importante tienen los enlaces por puentes de hidrógeno, pues ellos son responsables de las propiedades físicas del agua, los cuales se presentan en mayor número en el agua sólida, en la red cristalina cada átomo de la molécula de agua está rodeado tetraédricamente por cuatro átomos de hidrógeno de otras tantas moléculas de agua y así sucesivamente es como se conforma su estructura. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Agua#>)

Al ser calentado el hielo (forma sólida del agua), al fundirse su forma tetraédrica se destruye y la densidad del agua líquida es mayor que la del agua sólida debido a que sus moléculas quedan más cerca entre sí, pero sigue habiendo enlaces por puente de hidrógeno entre las moléculas del agua líquida.

### ACCIÓN DISOLVENTE

El agua es el líquido que más sustancias disuelve, por eso decimos que es el disolvente universal (KIELY, G. 1999). Esta propiedad, tal vez la más importante para la vida, se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica (alcoholes, azúcares con grupos R-OH, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas + y -, lo que da lugar a disoluciones moleculares). También las moléculas de agua pueden disolver las sustancias salinas que se disocian formando disoluciones iónicas.

En el caso de las disoluciones iónicas, los iones de las sales son atraídos por los dipolos del agua, quedando "atrapados" y recubiertos de moléculas de agua en forma de iones hidratados o solvatados. La capacidad disolvente es la responsable de dos funciones:

- Medio donde ocurren las reacciones del metabolismo
- Sistemas de transporte

### FUERZA DE COHESIÓN Y REPULSIÓN

Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos.

En tanto las fuerzas de repulsión se deben a que los electrones tienden a mantenerse separados al máximo (porque tienen la misma carga) y cuando no están apareados también se repelen (principio de exclusión de Pauli). Además núcleos atómicos de igual carga se repelen mutuamente.

### PROPIEDAD DE EXPANDIRSE AL ENFRIARSE

El agua es uno de las pocas sustancias que se expande al enfriarse. Esto se debe a que, al congelarse, sus moléculas se organizan en una estructura hexagonal, dejando más espacios vacíos entre ellas que en el agua

líquida. Esta estructura de los cristales del hielo también es responsable de las peculiares formas hexagonales de los copos de nieve.

## FUERZA DE ADHESIÓN

Esta fuerza está también en relación con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y es responsable, junto con la cohesión del llamado fenómeno de la capilaridad. Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar como si trepase agarrándose por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua, se equilibra con la presión capilar. A este fenómeno se debe en parte la ascensión de la savia bruta desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos.

## CALOR ESPECÍFICO

También esta propiedad está en relación con los puentes de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de calor que utiliza para romper los puentes de hidrógeno por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. Esto permite que el citoplasma acuoso sirva de protección ante los cambios de temperatura. Así se mantiene la temperatura constante.

## CALOR DE VAPORIZACIÓN

Igualmente los puentes de hidrógeno son los responsables de esta propiedad. Para evaporar el agua, primero hay que romper los puentes y posteriormente dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética para pasar de la fase líquida a la gaseosa. Para evaporar un gramo de agua se precisan 540 calorías, a una temperatura de 20°C.

## 3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA

Es conocido que el átomo de oxígeno tiene sólo 2 electrones no apareados. Para explicar la estructura de la molécula  $H_2O$  se considera que de la hibridación de los orbitales atómicos 2s y 2p resulta la formación de 2 orbitales híbridos  $sp^3$ .

El traslape de cada uno de los 2 orbitales atómicos híbridos con el orbital 1s1 de un átomo de hidrógeno se forman dos enlaces covalentes que generan la formación de la molécula  $H_2O$ , y se orientan los 2 orbitales  $sp^3$  hacia los vértices de un tetraedro triangular regular y los otros vértices son ocupados por los pares de electrones no compartidos del oxígeno. Esto cumple con el principio de exclusión de Pauli y con la tendencia de los electrones no apareados a separarse lo más posible.

La estructura de una molécula es el resultado neto de la interacción de las fuerzas de atracción y de repulsión (fuerzas intermoleculares), las que se relacionan con las cargas eléctricas y con el espín de los electrones. De acuerdo con la definición de ácido y álcali de Brönsted-Lowry, los 2 pares de electrones no compartidos del oxígeno en la molécula  $H_2O$  le proporciona características alcalinas. Los 2 enlaces covalentes de la molécula  $H_2O$  son polares porque el átomo de oxígeno es más electronegativo que el de hidrógeno, por lo que esta molécula tiene un momento dipolar electrostático igual a  $6.13 \times 10^{-30}$  (coulombs) (angstrom), lo que también indica que la molécula  $H_2O$  no es lineal, H-O-H.

El agua pura tiene la capacidad de disociarse en iones, por lo que en realidad se puede considerar una mezcla de:

agua molecular ( $H_2O$ )  
protones hidratados ( $H_3O^+$ ) e  
iones hidroxilo ( $OH^-$ )

En realidad esta disociación es muy débil en el agua pura, y así el producto iónico del agua a 25° es:

$$K_w = [H^+] [OH^-] = 1 \times 10^{-14}$$

Este producto iónico es constante. Como en el agua pura la concentración de hidrogeniones y de hidroxilos es la misma, significa que la concentración de hidrogeniones es de  $1 \times 10^{-7}$ . Para simplificar los cálculos Sørensen ideó expresar dichas concentraciones utilizando logaritmos, y así definió el pH como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de hidrogeniones.

El agua es un compuesto tan versátil principalmente debido a que el tamaño de su molécula es muy pequeño, a que su molécula es buena donadora de pares de electrones, a que forma puentes de hidrógeno entre sí y con otros compuestos que tengan enlaces como: N-H, O-H y F-H, a que tiene una constante dieléctrica muy grande y a su capacidad para reaccionar con compuestos que forman otros compuestos solubles.

El agua es, quizá el compuesto químico más importante en las actividades del hombre y también más versátil, ya que como reactivo químico funciona como ácido, álcali, ligando, agente oxidante y agente reductor.

1. *Reacciona con los óxidos ácidos:* Los anhídridos u óxidos ácidos reaccionan con el agua y forman ácidos oxácidos.

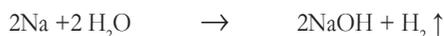


2. *Reacciona con los óxidos básicos:* Los óxidos de los metales u óxidos básicos reaccionan con el agua para formar hidróxidos. Muchos óxidos no se disuelven en el agua, pero los óxidos de los metales activos se combinan con gran facilidad.

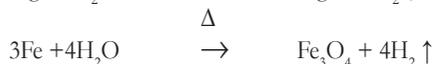


3. *Reacciona con los metales:* Algunos metales descomponen el agua en frío mientras otros lo hacen a temperaturas elevadas.

*En agua fría:*



*En agua a temperatura elevada:*



4. *Reacciona con los no metales:* El agua reacciona con los no metales, sobre todo con los halógenos, por ej: Haciendo pasar carbón al rojo sobre el agua se descompone y se forma una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno (gas de agua).



5. *Se une en las sales formando hidratos:* El agua forma combinaciones complejas con algunas sales, denominándose hidratos. En algunos casos los hidratos pierden agua de cristalización cambiando de aspecto, y se dice que son eflorescentes, como le sucede al sulfato cúprico, que cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico anhidro de color blanco.

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (sulfato cúprico hidratado con 5 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (sulfato ferroso hidratado con 7 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )  
 $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (sulfato de zinc hidratado con 5 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )  
 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (carbonato sódico hidratado con 10 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )

La forma en que están asociadas las moléculas de agua, dando lugar a la formación de los puentes de hidrógeno, es la principal responsable de las propiedades antes mencionadas.

El agua al caer con la lluvia por enfriamiento de las nubes arrastra impurezas del aire. Al circular por la superficie o a nivel de capas profundas, se le añaden otros contaminantes químicos, físicos o biológicos. Puede contener productos derivados de la disolución de los terrenos: calizas ( $\text{CaCO}_3$ ), calizas dolomíticas ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), sal ( $\text{NaCl}$ ), cloruro potásico ( $\text{KCl}$ ), silicatos, oligoelementos, nitratos, hierro, potasio, cloruros, fluoruros, así como materias orgánicas.

#### 4. CLASIFICACIÓN Y DIVERSOS TIPOS DE AGUA

Existen una serie de criterios para clasificar el agua, tomaremos los dos más relevantes, estos son (BAIRD, Colín. 2001):

- Según su ubicación en la Tierra.
- Según la cantidad de sales disueltas en ellas.

Los lagos según sus características se denominan:

*Lagos distróficos:* Cuerpos de agua ácidos que contiene muchas plantas pero pocos peces, debido a la presencia de grandes cantidades de materia orgánica.

*Lagos oligotróficos:* Lagos profundos con pocos nutrientes, poca materia orgánica y un alto nivel de oxígeno disuelto.

*Reservorios y lagos Mesotrófico:* Contienen moderada cantidad de nutrientes y son moderadamente productivos en términos de la vida acuática de plantas y animales.

#### SEGÚN LA UBICACIÓN DE LA TIERRA

Su clasificación atendiendo a su localización en la tierra es como sigue:

*Lénticas:* Se encuentran en la superficie de la Litósfera, en reposo, Ejemplo: lagos, estanques, pantanos, charcos, etc.

*Lóticas:* Se encuentran en continuo desplazamiento, ya sea lentamente o en forma de torrente. Ejemplo: ríos, etc.

*Atmosféricas:* Se encuentran en forma de vapor en la capa inferior de la atmósfera, formando las nubes.

*Freáticas:* Son las aguas subterráneas, formadas por la filtración de las lluvias, de las nieves, de los ríos y de los lagos.

#### SEGÚN LA CANTIDAD DE SALES DISUELTAS EN ELLAS

*Destilada:* Es el agua químicamente pura, sin rastros de sales u otras sustancias. El agua destilada es aquella que ha sido evaporada y posteriormente condensada. Al realizar este proceso se eliminan casi la totalidad de sustancias disueltas y microorganismos que suele contener el agua; es prácticamente la sustancia química pura  $\text{H}_2\text{O}$ .

*Potable:* Contiene pequeñas cantidades disueltas, estas sales son indispensables para el organismos.

*Dulce:* Contiene mayor cantidad de sales disueltas que el agua potable. Sólo el 0,7% del agua de la Tierra es dulce y se encuentra en forma de lagos, ríos, acuíferos y vapor.

La composición de las comunidades de agua dulce está más influenciada por el clima que las de agua salada.

Los océanos cubren vastas extensiones y se entremezclan entre ellos, esto no ocurre con las masas de agua dulce. Por esta razón, la propagación de las especies de agua dulce está mucho más limitada que la de las especies de agua salada.

Las aguas dulces, es decir las continentales presentan mayor variación en su composición que las aguas de los mares y océanos, debido a que los minerales disueltos en el agua dulce no pueden dispersarse en áreas tan extensas como suceden con las grandes masas de agua saladas.

Atendiendo a lo antes mencionado existen dos grandes divisiones de las aguas dulces del interior:

- Aguas corrientes y
- Aguas estancadas.

En general, las primeras están en relación con el mar, y una parte importante de la población animal proviene del gran número de especies oceánicas que penetran en los ríos. La rapidez de las corrientes en las aguas libres requiere que los animales sean grandes nadadores (como el salmón), habitantes de las profundidades (como el cangrejo de río), o formas que pueden fijarse a las rocas, plantas acuáticas, o detritos (como la sanguijuela).

Las aguas estancadas experimentan pequeñas fluctuaciones, de modo que las formas sedentarias y de natación lenta son abundantes en estas zonas. Las cuencas de agua estancada reúnen una mayor cantidad de detritos orgánicos que las que fluyen, lo que hace posible la existencia de poblaciones vegetales tan grandes como para facilitar un aporte abundante de alimentos a la población animal.

*Salada:* Contiene abundante cantidad de sales (en los mares ocupa el 3,5 % de sales disueltas). Los hábitats de agua salada pueden ser divididos en tres zonas:

- Litoral: Incluye las regiones costeras de océanos y mares, desde la orilla del mar hasta una profundidad de aproximadamente 180 m. La población animal incluye una gran cantidad de seres vivos propios de la zona de orilla como corales, mejillones, artrópodos superiores y peces.
- Pelágica: Comprende la columna de agua del mar abierto de idéntica profundidad que la del litoral. Muchas formas pelágicas, como las medusas y los peces verdaderos equipados con cámaras de aire, están adaptados para flotar, aunque la mayoría de los habitantes de esta zona son capaces de nadar.
- Abisal. Esta zona comprende el fondo oscuro y profundo del océano. Esta región carece prácticamente de vida vegetal, pero los habitantes abisales, como los cangrejos, se alimentan de organismos muertos que se hunden desde la superficie. En este entorno, las comunidades de plantas y animales que viven en las grietas hidrotermales, donde la cadena alimenticia se basa en bacterias que digieren azufre.

## **CICLO HIDROLÓGICO**

Comprende el movimiento continuo de agua entre la tierra y la atmósfera por medio de la evaporación y la precipitación (Figura No. 4).

Parte del agua que cae por la precipitación de lluvia y nieve se incorpora a lagos, ríos, arroyos y océanos. Otra parte es absorbida por la vegetación, la cual transpira el agua de nuevo hacia la atmósfera.

El agua que no se evapora directamente de los lagos y ríos o es transpirada por las plantas, se filtra a través del subsuelo y pasa a formar los acuíferos subterráneos.

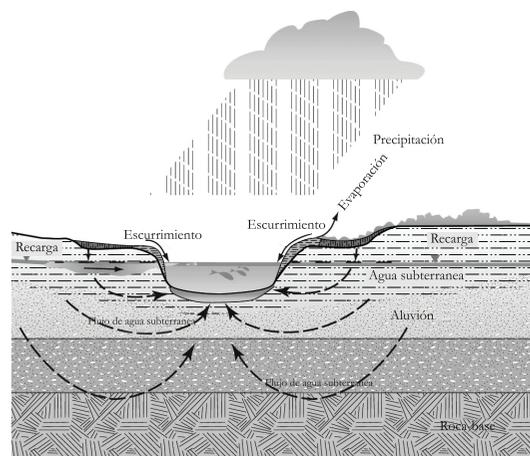


Figura No. 4. Ciclo hidrológico o ciclo del agua.

La etapa del que consta el ciclo hidrológico son las siguientes:

*Evaporación:* El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre el terreno y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración. Dado que no se puede distinguir claramente entre la cantidad de agua que se evapora y la cantidad que es transpirada por los organismos, se suele utilizar el término evapotranspiración.

*Precipitación:* La atmósfera pierde agua por condensación (lluvia y rocío) o sublimación inversa (nieve y escarcha) que se depositan según el caso al terreno, a la superficie del mar o a la banquisa.

*Condensación:* El vapor de agua asciende y desliza al impulso de los vientos, alcanzando zonas cada vez más frías. Como consecuencia las moléculas de vapor de agua se agrupan, las cuales al enfriarse se licuan y se condensan formándose la lluvia, la nieve y el granizo.

Los principales procesos implicados en dicho ciclo son:

*Infiltración:* El fenómeno ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente (que la estorba) y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas, que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, interceptan la superficie del terreno.

*Escorrentía:* Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no excepcionalmente secos, incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la escorrentía es el principal agente geológico de erosión y transporte.

*Circulación subterránea:* Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades: primero, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas karstificadas, como son a menudo las calizas, en esta la circulación siempre va cuesta abajo; en segundo lugar, la que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable, que puede ocurrir por fenómenos en los que intervienen la presión y la capilaridad.

El agua al desplazarse a través del ciclo hidrológico, transporta sólidos y gases en disolución. El carbono, el nitrógeno y el azufre, elementos todos ellos importantes para los organismos vivientes, son volátiles y solubles, y por lo tanto, pueden desplazarse por la atmósfera y realizar ciclos completos, semejantes al ciclo del agua.

El agua subterránea ocupa una parte muy pequeña del ciclo completo, pero no por ello menos importante.

Si se amplía el proceso de infiltración en el entorno del subsuelo se podría representar como sigue (Figura No. 5):

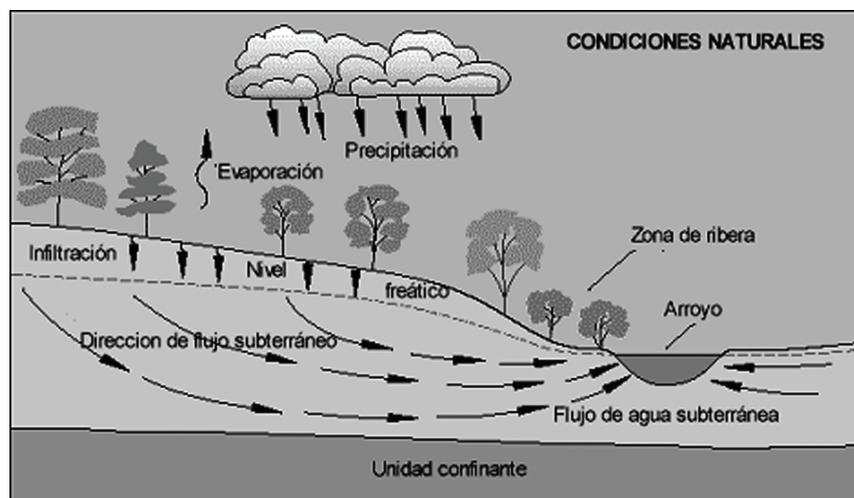


Figura No. 5. Ciclo hidrológico. Proceso de infiltración

## TIPOS DE AGUA

### AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES

Las aguas continentales superficiales, son las aguas terrestres que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y que pueden ser corrientes o detenidas. Son aguas corrientes las que escurren por cauces naturales o artificiales. Son aguas detenidas las que están acumuladas en depósitos naturales o artificiales, tales como lagos, lagunas y embalses (SAWYER, C; 2001, FARRERAS, S. 2004).

Las aguas continentales son un recurso natural necesario para el desarrollo de un gran número de actividades humanas.

Su creciente degradación por disminución de su calidad implica la pérdida de posibilidades para hacer frente a un gran número de usos con lo que se hace necesario la realización de estudios que permitan adoptar criterios a la hora de elaborar una planificación racional de la utilización de dicho medio.

### PRINCIPALES RÍOS DEL MUNDO Y DE COLOMBIA

Como ha sido indicado las aguas superficiales son un componente esencial del ciclo del agua en la troposfera.

Los ríos se definen como la corriente natural de agua que fluye por un lecho, desde un lugar elevado a otro más bajo.

La trayectoria de la gran mayoría de los ríos su trayectoria termina en el mar o en un lago, aunque algunos desaparecen debido a que sus aguas se filtran en la tierra o se evaporan en la atmósfera. Sus principales usos están dirigidos al suministro de agua para actividades agrícolas y domésticas.

En la tabla 1 se muestra una recopilación de información sobre los "*Principales ríos del mundo*".

En la tabla 2 se presentan los principales ríos de Colombia.

### LAGUNAS Y ESTUARIOS

Tal y como hemos comentado, el agua dulce también se encuentra en forma de lago, pudiendo estos ser de agua dulce o salada, más o menos extensa, embalsada en tierra firme.

Las cuencas de los lagos pueden formarse debido a procesos geológicos como son la deformación o la fractura de rocas estratificadas o fallas, y por la formación de una represa natural en un río debida a la vegetación, un deslizamiento de tierras, acumulación de hielo o la deposición de aluviones o lava volcánica, lagos de barrera.

La topografía irregular en sitios de la zona costera en la que se produce la entrada y salida del agua, propicia inundaciones de playas, particularmente en los lugares bajos, como estuarios, bahías resguardadas y lagunas, quedando los materiales suspendidos depositados sobre ellas.

Los litorales marinos y aguas someras en los que se manifiestan los procesos señalados, incluye ambiente de disimiles características, tales como los humedales estuarios y lagunas costeras (MARIN B, 2002).

Tabla No. 1. Principales ríos del mundo

Número de origen	Nombre	Región	Longitud	Caudal en la desembocadura	Régimen del curso inferior
1	Nilo	Africa	6,680 Km con un afluente del lago Victoria 5,600 Km desde el lago	Máximo: 8,600 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas de agosto a octubre
2	Amazona	América del Sur	6,500 Km	Máximo: 150,000 m <sup>3</sup> /s Mínimo: 63,000 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas en junio
3	Missori Missisipi	América del Norte	6,260 Km (Missouri: 4370)	Máximo: 40,000 m <sup>3</sup> /s Mínimo: 18,000 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas en primavera
4	Yang Tse-Kiang	China	5,500 Km	Máximo: 42,000 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas de junio a octubre
5	Hoang-ho	China	5,200 Km	Máximo: 14,000 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas de julio y agosto
6	Congo	Africa	4,640 Km	Máximo: 80,000 m <sup>3</sup> /s	Máximo en octubre
7	Amur	Extremo Oriente	4,350 Km (con el Chilka)		Aguas altas en verano
8	Llena	Siberia	4,270 Km	Media: 15,000 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas en verano
9	Niger	Africa	4,200 Km	Máxima: 30,000 m <sup>3</sup> /s	Curso alto: Agosto. Alto Septiembre. Curso bajo: Aguas altas en marzo y abril
10	Mekong	Asia del Sudeste	4,180 Km	Máxima: 60,000 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas en septiembre y octubre
11	Mackenzie	América del Norte	4,100 Km		Aguas altas en verano
12	Obi	Siberia	4,000 Km	Media: 12,500 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas en verano
13	Yeniséi	Siberia	3,800 Km	Media: 10,000 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas en verano
14	Volga	Europa Oriental	3,700 Km	Media: 51,800 m <sup>3</sup> /s	Aguas altas en abril y mayo

Tabla No. 2. Principales ríos de Colombia

Región	Nombre	Longitud	Características
Caribe	Río Magdalena	1558 km	Es este el sistema fluvial de mayor importancia en Colombia, no sólo por su gran extensión, superior a todos los de más, sino también y, especialmente, por la riqueza económica de las tierras que comprende. El Magdalena es el río de la Patria. Su longitud total, desarrollada de sur a norte, entre las cordilleras Central y Oriental. Son navegables 1290 interrumpidos en el salto de Honda. Es el río interandino de mayor extensión en Suramérica. Arroja al mar 8000 m <sup>3</sup> /seg. Su cuenca mide 256.622 km <sup>2</sup> de superficie. Recibe las aguas de cerca de 500 afluentes por ambas orillas y más de 5000 arroyos y quebradas. Sirve de lazo de unión entre los diversos pueblos de los territorios que recorre, desde su nacimiento en la laguna de la Magdalena, en el páramo de las Papas (Macizo Colombiano) a 3685 m de altura, hasta su desembocadura, en las Bocas de Ceniza en el mar Caribe. Se destaca Barranquilla como el primero de sus puertos y le siguen en importancia, La Dorada, Puerto Berrío, Barrancabermeja, Puerto Wilches, Magangué, El Banco y Girardot. El Magdalena está comunicado con el puerto marítimo de Cartagena a través del canal del Dique, obra humana de 105 km de longitud.

	Río Cauca	1350 km	El Cauca es el más importante entre los muchísimos afluentes del Magdalena, cde los cuales son navegables un poco más de 620 km.
Caribe	Río Atrato	750 km	El Cauca nace también en el Macizo Colombiano, en la laguna del Buey. Corre entre las cordilleras Central y Occidental y tributa sus aguas en el Magdalena, a la altura del departamento de Bolívar, después de regar una hoya hidrográfica cercana a los 62.000 km <sup>2</sup> de superficie, en la cual se destaca su parte media como una de las zonas más fértiles del país, en territorio del departamento del Valle del Cauca. Es la principal vía de comunicación del Chocó. Este caudaloso río, (uno de los mayores del mundo, en este aspecto, en relación con su longitud), cuya navegabilidad es de 500 km, nace en el cerro Plateado, en la cordillera Occidental, sigue un curso sur-norte entre esta cordillera y la serranía del Baudó, a través de un valle demasiado húmedo, el cual lo ha favorecido grandemente como vía de comunicación, para desembocar finalmente en el golfo de Urabá, en los límites entre Chocó y Antioquia. Entre sus muchos afluentes, los más destacados son: el Riosucio, el Murri, el Arquía y el Truandó. Su principal puerto es Quibdó. La hoya del río Atrato, cuya extensión es de 35.000 km es rica en oro, maderas y es también una región muy fértil.
	Ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Guajira		Debido a la cercanía de la Sierra Nevada de Santa Marta al mar, a escasos 40 km, donde nacen a más de 4000 m de altura, los ríos de esta cuenca son al mismo tiempo cortos y torrentosos, muy poco aptos para la navegación, pero a su vez aprovechables para el regadío y para la producción de energía hidroeléctrica. Los ríos más destacados de esta cuenca son: el Fundación, el Ranchería o Riohacha y el Cesar, que entrega sus aguas al Magdalena, a través de la laguna de Zapatosa en el departamento de su nombre.
	Río León	150 km	Es navegable únicamente por pequeñas embarcaciones. En su hoya, rica en maderas, se cultiva banano y palma africana
	Río Sinú	345 km	Ocupa el tercer lugar en importancia, después del Magdalena y el Cauca, en la vertiente del Caribe. Es navegable en 200 km, hasta Montería, su puerto principal. La hoya del Sinú es rica región ganadera y una de las más fértiles de Colombia. El Sinú nace en el nudo de Paramillo y desemboca en la bahía de Cispatá (golfo de Morrosquillo).
	Río Baudó	150 km	De su longitud es navegable 80 de ellos. Nace en la serranía de su nombre, a la cual separa de la serranía del Pacífico o de la costa. Esta cuenca es rica en arroz.
	Río San Juan	380 km	Nace en el cerro de Caramanta y recorre 380 km, de los cuales son navegables 200. Se destacan entre sus afluentes el Condoto, rico en platino y el Calima, que corre a través de territorio vallecaucano y alimenta la central hidroeléctrica de su nombre, una de las más importantes del país. El puerto principal del San Juan es Negría. Sigue una dirección sur, opuesta al Atrato, del cual lo separa el istmo de San Pablo.
Pacífico	Río Patía	400 km	Son navegables 90 km debido a que es un río de montaña y llanura. Su recorrido lo realiza con dirección sur, entre las cordilleras Central (donde nace en el Macizo Colombiano) y Occidental, a la cual rompe en la depresión de la Hoz de Minamá, para entrar luego en la llanura del Pacífico donde recibe su principal afluente, el Telembí. La hoya del Patía se destaca económica mente por sus riquezas en oro, cacao y banano.
	Río Mira		Tiene su origen en territorio ecuatoriano, en el cual realiza la mayor parte de su recorrido. Marca límites entre Colombia y Ecuador, correspondiéndole a Colombia 88 km del total de su curso. Es navegable en toda su extensión. La hoya hidrográfica del río Mira transcurre por regiones selváticas, y muy poco pobladas, pero mucho más aptas a la vida humana que las selvas del Chocó. Los cultivos de banano y palma africana se destacan entre los más importantes en esta cuenca.

Los cuerpos de agua en donde desemboca un río al mar y las mareas actúan como regulador biofísico, son denominados estuarios. Presentan una salinidad intermedia, ocasionado en muchos casos por la entrada de nutrientes y otros elementos aportados por los sistemas acuáticos, marinos y dulceacuícolas, así como una alta productividad, tanto primaria como secundaria. Suele formarse una cuenca semicerrada en contacto con el mar abierto, en la cual el agua dulce de los ríos alcanza a contener cantidades mesurables de sal marina (MARIN B, 2002).

Las lagunas son definidas como cuerpos permanentes de agua de baja profundidad. Las ciénagas por el contrario, son cuerpos de agua originados por la acción de las corrientes de los ríos, que dan lugar a la formación de cuencas mediante la deposición de sedimentos y por la acción erosiva de diferentes agentes.

Son características de los estuarios la variabilidad de las condiciones físicas (iluminación, temperatura, turbidez, pH, corriente), químicas (oxígeno disuelto, minerales, residuos industriales, etc.) y biológicas (densidad de las poblaciones, presencia de plánton, y necton inconstantes, etc), los que en su conjunto presentan cambios en cuanto a su distribución espacial y temporal.

Los estuarios se comportan como cubetas mezcladas del agua de los ríos, sirviendo de residencia a una gran variedad de especies.

La forma y tamaño de los estuarios guarda una estrecha relación con el caudal de los ríos, de la diferencia de elevación de las mareas y de la geología de las formaciones aledañas. En el denominado estuario de cuña salina o estuario positivo, el agua mas densa del mar penetra a lo largo del fondo para reemplazar el agua menos salada que se arrastra por la capa superficial (MARIN B, 2002).

Lo expuesto significa que cuando en el estuario desemboca un río con un aporte significativo, el agua dulce tiende a formar una capa delgada que corre hacia el mar por encima del agua salada, mezclándose a medida que avanza el mar con cierta cantidad de las capas inferiores de esa agua. Otro tipo de estuario localizado en las áreas de grandes mareas y ríos de escaso caudal, presenta una mayor homogeneidad vertical, siendo casi dulce el agua de la cabecera del estuario que aumenta su salinidad cuanto mas cerca este de la desembocadura.

Como ambiente ecológico los estuarios son complejos y variables, su alta productividad se debe en parte al arrastre de fangos con alto contenido de material orgánico, al material inorgánico suspendido procedente de la erosión de las riberas y al afloramiento de los fondos por la turbulencia provocada por el encuentro de las aguas, lo cual contribuye a incorporar material orgánico del fondo, debido a organismos descompuestos y a la regeneración ocasionada por excretas de la fauna (fosfatos, urea, aminoácidos, ácido úrico, etc.).

Las ciénagas por lo general se dividen en cuatro tipos:

- Simple y primaria, conectada directamente al río
- Conjunto o racimo de ciénagas, una primaria y una o más ciénagas secundarias conectadas directa o indirectamente a ésta
- Ciénaga primaria conectada indirectamente al río
- Ciénaga aislada sin conexión con el río y alimentada sólo de manera esporádica por desbordes del mismo.

Los estuarios y lagunas costeras brindan importantes servicios ambientales al hombre, tales como: la regulación de desequilibrios y perturbaciones (protegen la costa contra tormentas), reciclaje de nutrientes y, hábitats de refugio de diversos organismos que en un número considerable reviste interés comercial. Dichos ecosistemas por su belleza paisajística y condiciones naturales, son utilizados además como centros de recreación y esparcimiento.

Colombia posee en las regiones Caribe y Pacífico, sistemas lacustres y estuarinos los cuales se encuentran identificados y en gran parte caracterizados (MARIN B 2002).

En la Tabla No. 3 se muestran los principales estuarios y lagunas costeras en la región Caribe insular y Pacífico de Colombia.

Tabla No. 3. Estuarios y lagunas costeras del Caribe y Pacífico colombiano

Región	Ubicación	Tipo	Localización
Caribe	Golfo de Urabá	Laguna costera	Bahía Colombia
		Estuario	Bahía Marino
			Delta del Atrato
			Delta Mulatos
			Delta San Juan
			Delta Turbo
			Delta Caimán Nuevo
			Delta Necocli
			Delta Currulao
			Delta Chigoroló
			Delta Guadualito
			Delta León
			Delta Murindó
			Delta Jodega
			Delta Chajeadó
		Delta Murri	
		Delta Río Sucio	
		Estuario	Delta del río Sinú
		Laguna costera	Bahía de Cispatá
		Estuario	Bahía de Cartagena
		Laguna costera	Cholón
			Portonaito
			El Pelao
			Barú
			Vásquez
			Mohán
			Ciénaga Honda
			Ciénaga Coquitos
			Ciénaga Cocón
		Parque N. Nacional del Rosario	Laguna costera
	Bolívar	Laguna costera	Ciénaga de la Virgen o Tesca
	Magdalena	Estuario	Delta del Río Magdalena
		Laguna costera	Ciénaga Grande de Santa Marta
	Isla de Salamanca	Laguna costera	La Atascosa
			Cuatrobocas
			Las Piedras
			Poza Verde
	La Guajira	Estuario	Delta Río Ranchería
			Delta Río Jerez
			Delta Río Ancho
			Delta Río Negro
			Delta Río Palomino

	Chocó Norte	Estuario	Delta Río Apartadó
	Chocó Sur	Estuario de río	Delta Río Catipre Delta Río Baudó
Pacífico	Chocó Sur	Estuario de río	Delta río San Juan
	Valle del Cauca	Estuario	Bahía Málaga Bahía de Buenaventura
	Cauca	Estuario de río	Delta río San Juan de Micay Delta Guapi
	Nariño	Estuario de río Estuario	Delta Patía Ensenada de Tumaco

## AGUAS MARINAS

El agua de mar se caracteriza por los altos contenidos de sales, estando estas localizadas en los océanos y mares. La concentración media de las sales disueltas es de alrededor del 3,5%, predominando entre ellas el cloruro de sodio (CALDEIRA K, 2003).

Cabe destacar que el océano contiene un 97,25% del total de agua que forma la hidrosfera.

## COMPOSICIÓN

El agua de mar es una disolución en agua ( $H_2O$ ) en la que se están presentes una gran cantidad de sustancias, de tal manera que los 2/3 de los elementos químicos naturales se encuentran contenidos en el agua de mar, aunque la mayoría sólo como trazas.

Seis componentes, todos ellos iones, dan cuenta de más del 99% de la composición de solutos (Tabla No. 4). (CALDEIRA K, 2003).

Tabla No. 4. Composición de solutos sólidos del agua de mar, cada uno expresado como porcentaje del total

Aniones		Cationes	
Cloruro ( $Cl^-$ )	55,29	Sodio ( $Na^+$ )	30,75
Sulfato ( $SO_4^{2-}$ )	7,75	Magnesio ( $Mg^{++}$ )	3,70
Bicarbonato ( $HCO_3^-$ )	0,41	Calcio ( $Ca^{++}$ )	1,18
Bromuro ( $Br^-$ )	0,19	Potasio ( $K^+$ )	1,14
Flúor ( $F^-$ )	0,0037	Estroncio ( $Sr^{++}$ )	0,022
Molécula no disociada		Ácido bórico ( $H_3BO_3$ )	0,076

## SALINIDAD

El estudio de la composición se simplifica por el hecho de que las proporciones de los componentes son siempre aproximadamente las mismas, aunque la concentración conjunta de todos ellos es enormemente variable. Nos referimos a esa concentración total como salinidad que suele expresarse en tanto por mil (‰/oo). Gracias a la universalidad de su composición, la salinidad suele ser estimada a partir de la medición de un solo parámetro, como la conductividad eléctrica, el índice de refracción o la concentración de uno de sus componentes, generalmente el ion cloruro ( $Cl^-$ ).

La salinidad presenta variaciones cuando se comparan las cuencas, las distintas latitudes o las diferentes profundidades. La evaporación más intensa propia de las latitudes tropicales, favorece una salinidad más elevada, sobre todo en la superficie, y una menor salinidad la proximidad de la desembocadura de ríos caudalosos y las precipitaciones elevadas.

De todos los mares abiertos es el Mar de Rojo el que presenta mayor salinidad (40‰), bordeado como está de regiones áridas. El Báltico es el de salinidad menor (6‰ en las aguas superficiales del Golfo de Botnia), por su pequeña profundidad, clima frío y amplitud de las cuencas que vierten sus aguas en él, lo que unido a su topografía casi cerrada, limita mucho los intercambios con el océano.

Las diferencias de salinidad entre masas de agua se combinan con las de temperatura para producir diferencias de densidad, que a su vez son responsables de la convección en que se basa la circulación oceánica a gran escala, la llamada por ello circulación termohalina.

## **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

El agua de mar presenta una elevada conductividad eléctrica, a la que contribuyen la polaridad del agua y la abundancia de iones disueltos. La conductividad varía sobre todo con la temperatura y la salinidad, y su medición permite, una vez controlada la temperatura, conocer la salinidad.

## **DENSIDAD**

La densidad del agua del mar es una de sus propiedades más importantes, se determina usando la ecuación internacional de estado del agua de mar a presión atmosférica, que es formulada por la UNESCO a partir de los trabajos realizados a lo largo de todo este siglo para conocer las relaciones entre las variables termodinámicas del agua del mar: densidad, presión, salinidad y temperatura. La densidad de la típica agua del mar (agua salada con un 3,5% de sales disueltas) suele ser de 1.02819 kg/l a los -2°C, 1.02811 a los 0°C, 1.02778 a los 4°C, etc (CALDEIRA K, 2003).

La densidad aumenta con un aumento en la salinidad y una disminución de la temperatura, excepto a temperaturas por debajo del máximo de densidad.

## **pH**

El pH del agua de mar es básico, variando entre 7,5 y 8,4. La intensa contaminación industrial con CO<sub>2</sub> ha producido ya una acidificación (reducción del pH) perceptible del agua de mar, que se estima es sólo la fase inicial de un fenómeno tan imparable como el calentamiento global.

## **GASES**

Los gases disueltos son los mismos que componen el aire libre, pero en diferentes proporciones, condicionadas por diversos factores. La temperatura y la salinidad influyen reduciendo la solubilidad de los gases cuando cualquiera de esos dos parámetros aumenta. Otros factores son la actividad metabólica de los seres vivos y los complejos equilibrios químicos con los solutos sólidos, como el ion bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La concentración total y la composición de los gases disueltos varían sobre todo con la profundidad, que afecta a la agitación, la fotosíntesis (limitada a la superficial zona fótica) y la abundancia de organismos.

En aguas oceánicas superficiales bien mezcladas, la composición típica de gases disueltos incluye un 64% de nitrógeno (N<sub>2</sub>), un 34% de oxígeno (O<sub>2</sub>) y un 1,8% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), muy por encima éste último del 0,04% que hay en el aire libre. El oxígeno (O<sub>2</sub>) abunda sobre todo en la superficie, donde predomina la fotosíntesis sobre la respiración, y suele presentar su mínimo hacia los 400m de profundidad, donde los efectos de la difusión desde el aire libre y de la fotosíntesis ya no alcanzan, pero donde todavía es alta la densidad de organismos consumidores, que lo agotan. La temperatura, más baja en los fondos profundos, afecta a la solubilidad de los carbonatos e, indirectamente.

## **DESCENSO CRIOSCÓPICO**

El descenso crioscópico se define como la reducción del punto de fusión de un disolvente puro por la presencia de solutos. Dicho descenso es directamente proporcional a la concentración del soluto presente, siendo más relevante dicho descenso para solutos iónicos, como los que predominan en el agua de mar. El

fenómeno tiene importantes consecuencias en el caso del agua de mar, porque la respuesta al enfriamiento intenso del agua del océano, como ocurre en el invierno de las regiones polares, es la separación de una fase sólida flotante de agua pura. Es así como se forma la banquisa en torno a la Antártida o al océano Ártico, como un agregado compacto de hielo puro de agua, con salmuera llenando los intersticios, y flotando sobre una masa de agua líquida a menos de 0°C (hasta un límite de -1,9°C para una salinidad del 3,5%).

## Usos

Debido a la concentración salina, el agua de mar no es potable para el hombre, y su ingestión continuada o abundante puede producir serios daños o incluso la muerte. Se necesita más agua pura para excretar las sales que se ingieren con el agua de mar que la que contiene el volumen ingerido, por lo cual no es posible con ella calmar la sed, sino que se logra el efecto opuesto. No obstante el agua marina, o la salobre de lagunas costeras, es empleada cada vez más, a través de técnicas de desalación, para obtener agua potable. El proceso es muy exigente de energía, y si es financieramente rentable, es por la infravaloración monetaria de los recursos energéticos, sistemáticamente despilfarrados. A largo plazo la desalinización sólo será razonable donde pueda acoplarse con una fuente suficiente y renovable de energía.

En Hong-Kong el 90% del agua doméstica empleada para aseo personal es agua de mar, lo que permite reservar la escasa agua potable, pero complica el tratamiento posterior de los vertidos.

La sal es un complemento necesario de la nutrición humana, aunque su abuso produce serios problemas, y ha sido un recurso buscado desde la antigüedad. Su explotación se ha hecho a partir de yacimientos geológicos evaporíticos, lagos endorreicos a menudo hipersalinos y también por medio de salinas situadas en la costa.

## AGUAS SUBTERRÁNEAS

Son las aguas que se encuentra bajo la superficie terrestre. Se encuentra en el interior de poros entre partículas sedimentarias y en las fisuras de las rocas más sólidas. En las regiones árticas el agua subterránea puede helarse. En general mantiene una temperatura muy similar al promedio anual en la zona Agua subterránea (Wikipedia, la enciclopedia libre.htm. Agua subterránea).

El agua subterránea más profunda puede permanecer oculta durante miles o millones de años. No obstante, la mayor parte de los yacimientos están a poca profundidad y desempeñan un papel discreto pero constante dentro del ciclo hidrológico. A nivel global, el agua subterránea representa cerca de un tercio de un uno por ciento del agua de la Tierra, es decir unas 20 veces más que el total de las aguas superficiales de todos los continentes e islas.

El agua subterránea es de esencial importancia para la civilización porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas por los seres humanos. El agua subterránea puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, o puede ser extraída mediante pozos. En tiempos de sequía, puede servir para mantener el flujo de agua superficial, pero incluso cuando no hay escasez, el agua subterránea es preferible porque no tiende a estar contaminada por residuos o microorganismos (APUNTES- 1).

En la tabla 5 se muestran los orígenes de las aguas subterráneas.

## PROCEDENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Ellas proceden de la precipitación y la condensación, excepto otras como las aguas connatas o fósiles (sedimentarias) y las juveniles (magmáticas) (HORNSBY A.G.. <http://edis.ifas.ufl.edu>).

**Aguas de precipitación.** Las aguas de precipitación debidas al ciclo del agua, se originan principalmente en la superficie de los mares que poseen 365 millones de km cúbicos de agua y el 73% de la superficie de la Tierra. Por otro lado el aporte calorífico de la radiación solar permite convertir en vapor de dos a tres litros de agua por metro cuadrado y por día, por lo que el agua evaporada sobre la Tierra en un día alcanza a  $10^{12} \text{ m}^3$ .

Bajo la acción de la radiación solar el agua de mares y continentes se transforma parcialmente en vapor que se eleva en la atmósfera y que posee en el aire una presión parcial que está condicionada, principalmente, por la temperatura de las superficies generadoras.

Tabla No. 5. Orígenes de las aguas subterráneas.

Aguas establecidas	Agua de porosidad, infiltración, percolación	Fuentes y capas
a) Aguas ocluidas en los minerales y las rocas	Aguas de fisuras, de cavernas y de abismación	Exsurgencias y resurgencias
b) Aguas de constitución y de cristalización	Aguas de fracturas (Nordenskjöld)	Capas
c) Aguas de hidratación	Aguas fósiles	Capas
	Aguas vadosas o geotermales	Capas o fuentes
II AGUAS LIBRES	Aguas termales juveniles	
a) Aguas de penetración debidas a la circulación superficial o la presión de capas (lagos, mares, etc.)	Aguas magmáticas	
b) Aguas de condensación procedentes de las capas superficiales, de las capas profundas o del aire superficial	Aguas de reacción ( $2H_2+O_2$ )	
c) Aguas de profundidad	Aguas volcánicas	Vapores o fuentes

## AGUAS DE CONDENSACIÓN

Para muchos hidrólogos la condensación del vapor de agua en el interior del suelo desempeña una función poco importante en la formación de las aguas subterráneas, incluso consideran que los rocíos internos no deben intervenir en los caudales. Pero esta participación, la de las aguas de condensación internas y externas presenta características diferentes e importantes según se trate de un terreno abundantemente permeable (calizas fisuradas, por ejemplo) o de un terreno de escasa permeabilidad (arenas) o compuesto de capas porosas impregnadas de arcilla coloidal cuya naturaleza permite la fijación de agua, incluso cuando el aire superficial no alcanza un 100% de humedad.

Las nieblas en las regiones húmedas y los rocíos en las regiones secas y cálidas donde las noches son frías, desempeñan un papel en la alimentación en agua de los terrenos superficiales. Cuando los terrenos por su naturaleza permiten a gran profundidad la circulación del aire, se provoca el aporte de agua interna, generalmente por condensación y no por adsorción. En los macizos fisurados, numerosos metros cúbicos de aire aportan en las zonas superficiales y profundas un agua de condensación que conviene tener en cuenta.

Cuando la permeabilidad de la roca es grande como en los terrenos fisurados de las calizas, se establecen a veces circulaciones de aire profundas de gran intensidad, a causa del gradiente térmico entre orificios interconectados con salidas a diferente altitud. Entre verano e invierno o entre día y noche se invierte el flujo de la corriente de aire, pues la presión motriz en uno u otro sentido está dada por la diferencia de masa para igual sección de las columnas de aire interior y exterior. En invierno el aire de las cavidades será por lo general más cálido y menos denso que el del exterior, dándose un flujo ascendente; en verano será lo contrario.

## OTROS ORÍGENES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Después de los dos principales e indiscutibles procesos de formación de las aguas subterráneas que se acaban de señalar conviene señalar algunos otros.

Entre las aguas termales están las aguas juveniles que se habrán formado en profundidad sin haber estado antes en superficie. Estas representan el residuo de la consolidación de los magmas eruptivos próximos a la superficie, cuya exhalación sería una solución hidratada caliente, conteniendo gases a alta presión que contribuirían al rápido ascenso de las aguas.

Se ha calculado que una intrusión magmática potente de 1000 metros, conteniendo en peso un 5% de agua y enfriándose lentamente, producirá durante un período de un millón de años un caudal de 23,8 litros de agua juvenil por minuto y por kilómetro cuadrado de superficie de la tierra.

Las aguas de los pozos Nordenskjöld son aguas de destilación procedentes de las fisuras superficiales de rocas compactas (granitos y gneises) o bien de las profundidades, donde las fisuras superficiales de los pozos Nordenskjöld, alimentadas con agua dulce actúan como condensadores de vapor procedentes ya sea de zonas superiores o bien de zonas inferiores. El agua de mar participaría incluso en la alimentación de los vapores formados desde abajo hacia arriba.

Existen también las aguas llamadas fósiles que se encuentran actualmente en los pozos artesianos del Sahara, en regiones donde prácticamente no llueve, estas aguas, se habrían infiltrado y conservado desde largo tiempo dentro de los sedimentos. Puede también suponerse que su origen fuera debido a fenómenos de condensación vinculados con variaciones de temperatura y con variaciones de presión atmosférica.

Entre las aguas profundas se encuentran las aguas geotermales, cuyo origen no presenta ningún carácter hipotético. Las aguas superficiales que descienden, con la profundidad se recalientan y reascienden rápidamente a favor de accidentes tectónicos. A veces, esas aguas, atravesando a temperaturas relativamente elevada unos terrenos que ellas son susceptibles de atacar, se cargan con diferentes sales; son las aguas termales que se diferencian de las aguas subterráneas propiamente dichas por unas temperaturas y unas propiedades químicas características.

Los primeros 50 cm del volumen de tierra almacenan más humedad que la almacenada por la atmósfera sobre la misma porción de terreno. Después de las fuertes precipitaciones es posible, de existir bosques, que la cobertura vegetal retenga el agua y le permita al suelo abastecerse. De esta manera por la absorción del terreno, el tiempo de concentración de las aguas lluvias sobre las vaguadas de los ríos, se dilata ostensiblemente.

De existir bosques reguladores de agua, el caudal de los ríos puede ser relativamente constante en invierno y en verano.

En Colombia, por la tala acelerada de bosques se han disminuido los volúmenes de agua disponible en los ríos.

Podría advertirse que en tales circunstancias los acuíferos no están siendo alimentados por las aguas de escorrentía, pues no hay superficie vegetal de retención.

No existe agua subterránea a más de 16 km de profundidad porque allí las rocas fluyen debido a la presión; a 6 Km es escasa, pues los poros son pequeños y los intersticios no siempre están intercomunicados, razón por la cual no se establece el flujo; a 600 m de profundidad el agua ya resulta susceptible de recuperarse.

Se denomina agua freática el agua subterránea de la capa más cercana a la superficie, lo suficientemente próxima a ésta, para que sea posible hallarla con un pozo ordinario y extraerla manualmente, lo que supone una profundidad máxima de 30 metros.

## **PROPIEDADES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

- *Temperatura.* Las aguas subterráneas gozan por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca, sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc.

En las aguas de capas (porosidad primaria) tienen temperaturas que varían mucho con la extensión y penetración de la capa en el suelo.

Si no hay influencia térmica de aguas superficiales, un agua de capa que circule muy lentamente por un estrato impermeable situado a 100 m de profundidad poseerá una temperatura superior en dos o tres grados a otra que se encuentre en un terreno compacto situado solamente a 30 m abajo de la superficie, según la ley del gradiente geotérmico.

En promedio por cada dos grados de latitud que nos alejemos del ecuador la temperatura disminuye 1°C y por cada 150 m, en altitud, la variación de la temperatura es de 1°C.

En las aguas de fisuras anchas (calizas y sistemas de porosidad secundaria), por la alta permeabilidad de los sistemas, las aguas perdidas o abismadas imponen rápidamente su temperatura a las paredes de las galerías

subterráneas por las que circulan. Saliendo al aire libre por las resurgencias estas aguas siguen por lo general las fluctuaciones térmicas observadas en el nivel de las aguas perdidas.

No ocurre lo mismo en el caso de las emergencias. El agua que circula por la superficie de las calizas penetra en pequeñas cantidades por una infinidad de fisuras cuya función térmica sobre el agua es importante.

- *La conductividad eléctrica.* Es variada según los intercambios químicos y aportes de agua exterior, e informa sobre su riqueza en electrolitos disueltos.

- *La turbidez y transparencia.* Estas propiedades de las aguas de circulación varían en muchas ocasiones con su caudal. Las aguas de capas, contrariamente permanecen transparentes casi siempre por la filtración del sistema. Las de calizas presentan características intermedias entre las aguas de circulación y las de capas, dependiendo de la evolución del terreno calcáreo.

- *La radiactividad.* No es un fenómeno exclusivo de este tipo de aguas, pero pueden estar contenidos en las aguas termales elementos radioactivos.

Si el color es, por regla general, muy débil, salvo cuando están cargadas con sales de hierro, el sabor de unas aguas depende de las sales y de los gases en suspensión o solución. Y el olor de las no termales, resulta, por lo general, inodoro cuando son potables o fétido, similar al del hidrógeno sulfurado, cuando proceden de charcas por la descomposición de material orgánico.

- *Composición.* Desde el punto de vista químico cada fuente tiene una composición que depende de la constitución de las zonas subterráneas atravesadas y que le cede o con las que ha intercambiado sustancias.

Las sales alcalinas son muy frecuentes, el cloruro de sodio se encuentra casi siempre y en cantidad generalmente aceptable para la alimentación humana. Los sulfatos alcalinos son más raros. El carbonato de calcio, con el sulfato de calcio es el elemento mineral más importante de las aguas subterráneas.

La dureza del agua por la presencia de sales alcalino-terrosas, como las de calcio y magnesio, se modifica en las diferentes regiones.

Pero se puede distinguir acá la dureza temporal de la permanente, explicada la primera por la presencia de carbonatos y la segunda por sulfatos.

El hierro existe a menudo en las aguas subterráneas pero es inestable bajo la forma de bicarbonato ferroso.

El manganeso sigue de cerca al hierro, eliminándose con menor facilidad.

El plomo y los nitratos o nitritos bastantes infrecuentes, indican habitualmente contaminación.

Desde el punto de vista bacteriológico las aguas de resurgencia (fisuras) siempre son sospechosas en su aspecto biológico, las aguas de exurgencias (fisuras) pueden ser buenas pero conviene vigilarlas siempre. Las aguas de pozos (capas) deben estar bajo vigilancia y las de fuentes (capas) resultan buenas por lo general.

## **MOVILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

La movilidad del agua subterránea depende del tipo de rocas subterráneas en cada lugar dado. Las capas permeables saturadas capaces de aportar un suministro útil de agua son conocidas como acuíferos. Suelen estar formadas por arenas, gravas, calizas o basaltos. Otras capas, como las arcillas, pizarras, morrenas glaciares y limos tienden a reducir el flujo del agua subterránea. Las rocas impermeables son llamadas acuífugas, o rocas basamentarias. En zonas permeables, la capa superficial del área de saturación de agua se llama nivel freático. Cuando en lugares muy poblados o zonas áridas muy irrigadas se extrae agua del subsuelo demasiado deprisa, el nivel freático puede descender con gran rapidez, haciendo que sea imposible acceder a él, aún recurriendo a pozos muy profundos.

Aunque el agua subterránea está menos contaminada que la superficial, la contaminación de este recurso también se ha convertido en una preocupación en los países industrializados.

Por encontrarse en condiciones ambientales y geológicas desiguales, existen algunas diferencias entre el agua subterránea y el agua superficial (Tabla No. 6).

Tabla No. 6. Diferencias entre las aguas subterráneas y superficiales.

Aguas subterráneas	Aguas superficiales
<b>Evaporación:</b> Las pérdidas por evaporación en un acuífero son muy bajas.	<b>Evaporación:</b> Elevadas sobre todo en zonas de acumulación como pueden ser los embalses.
<b>Calidad:</b> No depende tanto de la contaminación que haya en superficie pues es más difícil que se transmita al acuífero.	<b>Calidad:</b> Dependiente de la contaminación superficial que se transmite rápidamente a los ríos. Necesita clorarse.
<b>Coste económico:</b> Bajo. La explotación de las aguas subterráneas requiere de escasas inversiones económicas.	<b>Coste económico:</b> Alto. Implica muchas construcciones de ingeniería como presas, trasvases, canales ...
<b>Impacto ambiental:</b> En general, bajo ya que la construcción de un/ os pozo/s no produce grandes impactos visuales ni ecológicos.	<b>Impacto ambiental:</b> Alto a medio. La inundación de grandes áreas para el embalsamiento del agua ha producido la pérdida de recursos inestimables muchas veces.

## OTROS TIPOS ([HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/AGUA#](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua#))

### AGUA PESADA

Isótopo de hidrógeno, estable y no radiactivo, con una masa atómica de 2,01363, y de símbolo D o  $^2\text{H}$ . Se conoce también como hidrógeno pesado, al ser su masa atómica aproximadamente el doble de la del hidrógeno normal, aunque ambos tienen las mismas propiedades químicas. El hidrógeno, tal como se da en la naturaleza, contiene un 0,02% de deuterio. Este isótopo tiene un punto de ebullición de  $-249,49\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $3,28\text{ }^\circ\text{C}$  más alto que el del hidrógeno. El agua pesada (óxido de deuterio,  $\text{D}_2\text{O}$ ) tiene un punto de ebullición de  $101,42\text{ }^\circ\text{C}$  (en el agua normal es de  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ); tiene un punto de congelación de  $3,81\text{ }^\circ\text{C}$  (en el agua normal es de  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ), y a temperatura ambiente su densidad es un 10,79% mayor que la del agua normal.

El químico estadounidense Harold Clayton Urey, junto con sus colaboradores, descubrió el deuterio en 1932; consiguió separar el primer isótopo en estado puro de un elemento. Los métodos más eficaces utilizados para separar el deuterio del hidrógeno natural son la destilación fraccionada del agua y el proceso de intercambio catalítico entre agua e hidrógeno. En este último, al combinar agua e hidrógeno en presencia de un catalizador apropiado, se forma deuterio en el agua en cantidad tres veces superior que en el hidrógeno. El deuterio también se puede concentrar por electrólisis, centrifugación y destilación fraccionada del hidrógeno líquido.

El núcleo de los átomos de deuterio, llamado deuterón, es muy útil para la investigación en el campo de la física, ya que puede ser acelerado fácilmente por ciclotrones y otros aparatos semejantes, utilizándose como proyectil atómico en la transmutación de elementos. El deuterio también tiene importantes aplicaciones en la investigación biológica y se usa como isótopo trazador en el estudio de los problemas del metabolismo.

### AGUA MINERAL

Agua de manantial que contiene sales minerales o gases y que, por tanto, puede tener efectos diferentes sobre el cuerpo humano que el agua corriente. Las aguas minerales se han empleado como remedio desde la más remota antigüedad, y eran familiares para los antiguos griegos y romanos. Acostumbran a clasificarse en alcalinas, salinas, ferruginosas, sulfurosas, aciduladas y arseniosas.

Las aguas minerales más notables son las de Vichy, Tehuacán, Apollinaris y Caldas de Malavella, bicarbonatadas; Apenta, Friedrichhall y Ledesma, aguas salinas ricas en sulfatos; Karlovy Vary, Marienbad, Solares y Cestona, ricas en cloruro sódico; Lanjarón, ferruginosa; Aquisgrán, Baden y Aix-les-Bains, sulfurosas; Bath y Baden, arseniosas; y Panticosa, rica en nitrógeno.

## AGUA DURA

Existe el tipo de agua llamada agua dura, la cual contiene minerales, estando estos constituidos principalmente por altas cantidades de carbonatos de calcio y magnesio y sulfatos, así como también de sulfuro, azufre y hierro, provocando este último color rojizo por la presencia de óxido férrico. Este tipo de agua no posee la nitidez del agua purificada; por consiguiente, el agua dura, dependiendo de los niveles de minerales, tiene sabor y puede ser ligeramente turbia, condicionando estas características su uso para el consumo humano. También se debe a la presencia de sales cálcicas y magnésicas cuya presencia (dureza temporal) suele producir depósitos de sarro en las teteras y otras superficies en contacto con el agua dura.

Para "mejorar" sus cualidades y hacer del agua dura, agua que no manche con óxido o con sarro se utilizan ablandadores de intercambio iónico, ablandadores de resina regenerable con sal (ablandador) en aparatos especialmente diseñados para el proceso de ablandamiento.

El agua dura puede ser sacada directamente de pozos, dependiendo de la tierra; por lo general, el agua dura no pertenece a una red citadina de distribución, sino que es un recurso del campo. Una forma de cuantificar la dureza total del agua, es sumar la dureza cálcica (concentración de masa de cationes cálcicos  $\text{Ca}^{2+}$  en el agua) y la dureza magnésica (concentración de masa de cationes magnésicos  $\text{Mg}^{2+}$  en el agua). Mientras más alto el valor de la dureza total, más dura es el agua.

## 5. USOS DEL AGUA

En términos generales, los usos del agua pueden ser divididos en: Consuntivos y no consuntivos. Entre los consuntivos pueden mencionarse:

- El agrícola,
- El doméstico
- El industrial y
- El almacenamiento de agua.

Los usos no consuntivos son aquellos vinculados con:

- La navegación,
- Las comunicaciones y
- Los valores ambientales, estéticos o recreativos

El consumo de agua y relacionado esto con su uso, varía según el tipo de actividad para el cual se emplea. A continuación se relacionan algunos de los principales usos del agua, sin que su enunciado indique orden de prioridad (Decreto No. 1594, 1984).

*Consumo humano y doméstico:* Se emplea en actividades tales como: Fabricación o procesamiento de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución. Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios. Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares.

*Preservación de flora y fauna:* Se emplea en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

*Agrícola:* Se emplea para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

*Para fines recreativos:* Su utilización, cuando se produce: Contacto primario, como en la natación y el buceo. Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.

*Transporte:* Se emplea en la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo.

*Industrial:* Se emplea en procesos manufactureros de transformación o explotación, generación de energía y minería, así como otras actividades conexas o complementarias.

En la Tabla No. 7 se relacionan diferentes factores que deben ser tenidos en cuenta, de acuerdo al uso del cuerpo de agua.

Tabla No. 7. Factores ambientales a considerar para los usos posibles

Factores Físicos	Factores Químicos	Factores Biológicos
Características del cuerpo de agua: tamaño (ancho y profundidad media), caudal / velocidad régimen hidráulico anual, volumen total, reareación, temperatura, sedimentación, geometría del canal	- Oxígeno Disuelto - Tóxicos - Sólidos Suspendidos - Sólidos Disueltos - Nutrientes (Nitrógeno , Fósforo) - Demanda béntica - Salinidad	Inventario de la biota existente: - Peces - Macroinvertebrados - Microinvertebrados - Fitoplancton - Perifiton - Macrofitas
Composición del sustrato y características del mismo	- Dureza - Alcalinidad	- Análisis del potencial biológico - Índices de diversidad
Rugosidad del lecho del canal	pH	Análisis de tejidos
Depósitos de sedimentos	Sólidos Disueltos	- Análisis de organismos omnívoros - carnívoros
Características de la ribera		Análisis de potencialidad biológica

## 6. FUNCIÓN ECOLÓGICA DEL AGUA

La función ecológica del agua en sus dos vertientes fundamentales:

- Mantenimiento de los ecosistemas que le son propios.
- Vehículo de transporte de nutrientes, sedimentos y vida, es un bien común cuyo respeto debe conciliarse con el desarrollo sostenible de las actividades humanas sobre la tierra.

Existen algunas zonas geográficas tradicionalmente afectadas por la escasez del recurso hídrico a las que no se puede dar una solución aceptable para sus problemas si no es la mayor y mejor disponibilidad de ese recurso, que no poseen, puesto que tanto las aguas subterráneas como la reutilización y, en su caso, la desalación se han aplicado hasta límites razonables sin resolver los problemas, y que, por tanto, debería ser suministrado por la aportación externa de agua o la modificación de sus estructuras productivas (BAIRD, Colin. 2001).

En ciertos casos, la desalación podrá resolver algunos problemas hidrológicos pero, además del alto coste que comporta, su utilización masiva supone una contradicción básica desde el punto de vista ecológica puesto que se sustituyen los recursos renovables por otros que demandan un elevado consumo energético muchas veces de origen fósil.

Es conveniente introducir el volumen de agua realmente consumido como factor para distribuir los costes de la misma entre los usuarios, resolviendo lógicamente los problemas de control que se plantean, puesto que esta medida incentivaría el ahorro.

Es imprescindible revisar los criterios de asignación del agua, especialmente en lo que respecta a las actividades económicas. La incidencia negativa que los nuevos criterios pudieran tener sobre algunos regadíos (hay distintas agriculturas y distintos agricultores), debe ser corregida considerando la función social que es inherente a la mayor parte de esos regadíos. La subvención de los costes del agua es contraproducente con la asignación eficaz del propio recurso.

Cualquier demanda de nuevas disponibilidades de agua para usos económicos debe someterse a un riguroso análisis coste-beneficio, bien entendido que por la movilidad del recurso y la amplitud de sus funciones habrán de considerarse todos los costes y todos los beneficios.



# CALIDAD DEL AGUA





## 1. CONCEPTOS

El término calidad del agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo, sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano, para uso agrícola o industrial, para recreación, para mantener la calidad ambiental, etc. Para efectos de estos lineamientos se consideran las variables que aparecen a continuación (THURSTON, R.V.; 1979; GLYNN, Henry. 1996; GRAY, N.F. 1996).

La calidad ambiental es definida como las características cualitativas y cuantitativas de algún factor ambiental o del ambiente en general y que son susceptibles de ser modificados (ESCOBAR J, 2002) y la del agua el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua que determinan su composición, grado de alteración y su utilidad a los seres humanos y el medio ambiente. Para su evaluación se miden ciertas variables (Figura No. 6) (ALVARADO D. 1998; MONOGRAFÍAS-3; KIRCHMER C, J. <http://www.cepis.org.pe>)

*Concentración de sólidos:* El término concentración de sólidos se refiere a la proporción de sólidos - minerales - en suspensión en un determinado cuerpo de agua. Una concentración de sólidos muy alta en el agua produce también colores y sabores desagradables. La principal causa para un aumento en la concentración de sólidos en suspensión es generalmente el incremento de la erosión generado por actividades humanas. El tamaño de las partículas así como sus características químicas y físicas determinan el tipo de impacto y las posibles formas de tratamiento. El tratamiento para potabilizarla requiere infraestructura y, eventualmente, altos costos de operación.

*Sustancias tóxicas:* Bajo esta denominación se incluyen un conjunto de sustancias tales como desechos industriales, metales pesados y agroquímicas cuyo consumo puede generar reacciones de toxicidad - leves o severas - en la población humana y animal asentada en la cuenca. Las fuentes de sustancias tóxicas son las actividades industrial, minera y agrícola.

*Compuestos orgánicos, nutrientes y patógenos:* La presencia en altas concentraciones de compuestos orgánicos tales como heces, sangre y restos de animales (provenientes de mataderos y otras plantas beneficiadoras de animales), generan alta Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y los nutrientes, como fósforo y nitrógeno, pueden conducir a la eutroficación de los cuerpos de agua. Por otra parte, la presencia de organismos patógenos, tales como coliformes fecales y otras formas bacterianas y virales constituyen la fuente de transmisión de enfermedades tales como el cólera, hepatitis y diferentes tipos de enteritis.

La calidad ambiental es definida como las características cualitativas y cuantitativas de algún factor ambiental o del ambiente en general y que son susceptibles de ser modificados (ESCOBAR J, 2002) y la del agua el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua que determinan su composición, grado de alteración y su utilidad a los seres humanos y el medio ambiente. Para su evaluación se miden ciertas variables.(ALVARADO D. 1998; MONOGRAFÍAS-3; KIRCHMER C, J. <http://www.cepis.org.pe>)

## 2. VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y SANITARIAS. PRINCIPALES VARIABLES INDICADORAS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS CONTINENTALES, MARINAS Y COSTERAS

El manejo integral de los recursos hídricos requiere del conocimiento de los factores que influyen en la calidad de dicho recurso, teniendo muy en cuenta sus usos. La evaluación de dicha calidad es realizada a través de la medición de diferentes variables físicas, químicas y sanitarias (CASANOVA. 1997).

La calidad del agua sean estas continentales o subterráneas, es alterada por la actividad del hombre, lo cual como será tratado mas adelante, implica que esta ha sido contaminada, a diferencia de las aguas naturales,

cuya calidad puede no cumplir los requerimientos establecidos para un determinado uso, sin que para ello haya intervenido el hombre.

Se considera que una variable es la propiedad o elemento que puede tomar valores y el parámetro es un elemento descriptivo de una variable o una característica numérica de la misma (media, mediana, varianza, rango, etc.

Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO), conductividad y pH, entre otras (Decreto No. 1594).

La figura 6 muestra las variables y contaminantes utilizados para evaluar la calidad de las aguas. De acuerdo al uso del cuerpo de agua, serán relevantes las variables utilizadas para evaluar su calidad. (MARIN B, 2001).

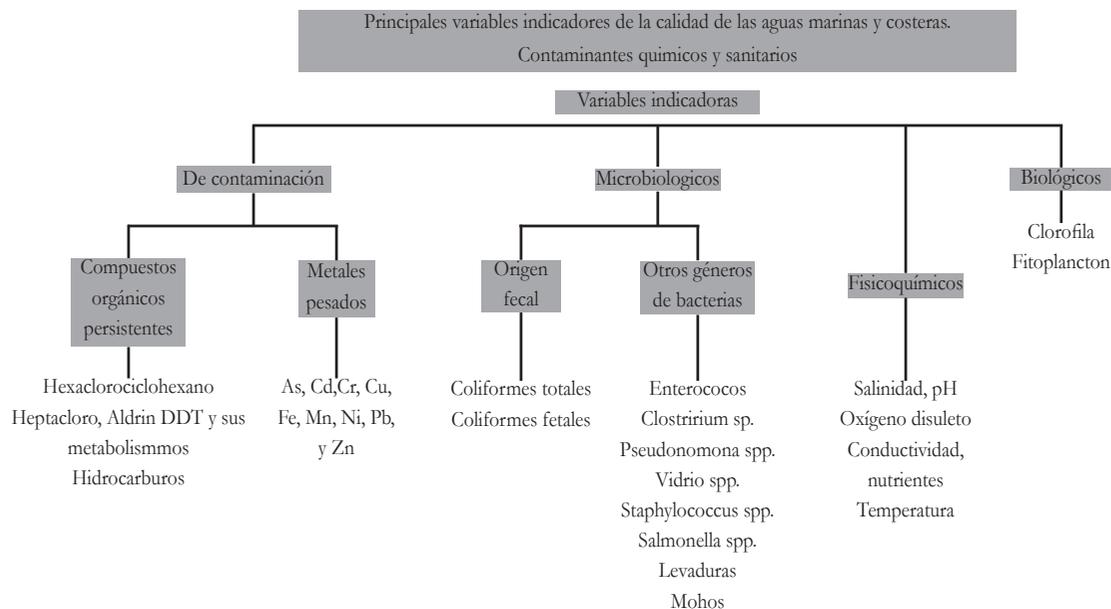


Figura No. 6. Variables indicadoras de la calidad de las aguas continentales y costeras.

### 3. PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS AGUAS

Una de las clasificaciones que se pueden utilizar para el estudio de los diferentes parámetros de contaminación o calidad de las aguas, es según la naturaleza de la propiedad o especie que se determina (GRENBERG, A.; 1998; MARIN B, 2001).

Estas se pueden dividir en:

*Parámetros de carácter físico:* Características organolépticas  
Turbidez y sólidos en suspensión  
Temperatura  
Conductividad

*Parámetros de carácter químico:* Salinidad y dureza  
pH  
Oxígeno disuelto  
Sustancias de carácter orgánico (materia orgánica)  
Sustancias de carácter inorgánico  
Parámetros de carácter radiactivo: Radiaciones  $\alpha$  y  $\beta$  totales  
Elementos individuales

*Parámetros de carácter microbiológico:* Bacterias indicadoras  
Microorganismos patógenos

La Figura No. 7 ilustra la relación existente entre el uso del agua y las posibles alteraciones que puede afectar su calidad (CANTER, L. 1998).

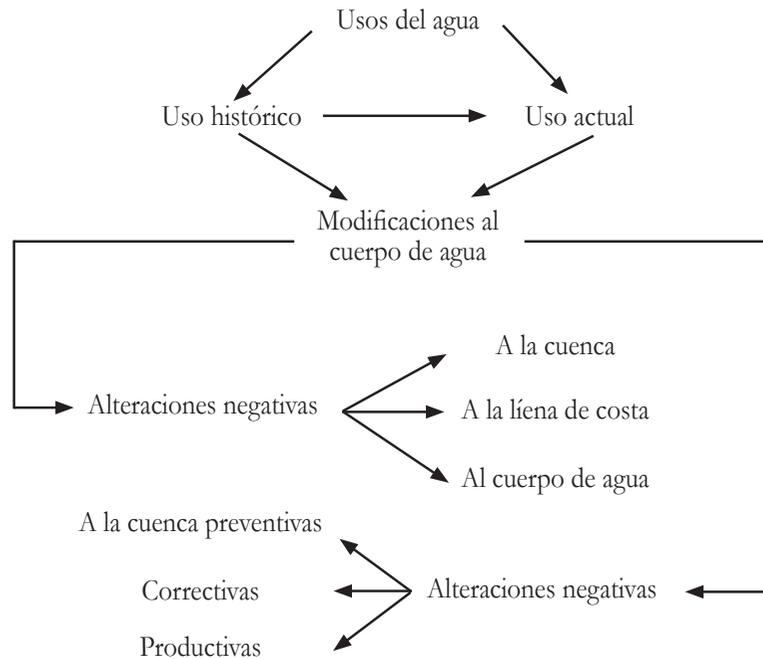


Figura No. 7. Alteraciones negativas y positivas de los cuerpos de agua atendiendo a su uso.

## PARÁMETROS DE CARÁCTER FÍSICO

### PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS: COLOR, OLOR Y SABOR

Es conocido que el color, olor y sabor forman parte del conjunto de variables que caracterizan la calidad de un cuerpo de agua. El conjunto de esas variables se les denomina propiedades organolépticas.

Color: hay que distinguir lo que se llama color aparente, el que presenta el agua bruta y el verdadero, que es el que presenta cuando se le ha separado la materia en suspensión. Se mide el color en unidades de Pt-Co.

Olor y sabor: el olor y sabor están en general íntimamente relacionados. Existen solamente cuatro sabores fundamentales: ácido, salado, amargo y dulce, los olores pueden ser mucho más específicos.

Las medidas de olores y sabores son estimativas, mediante procesos de dilución.

Diferentes tonalidades del agua guardan relación con la presencia de ciertas sustancias, como se muestra a continuación.

- Color café, amarillento o pardo: sustancias húmicas, ácidos tánicos, turba, hojas
- Color verde: fitoplancton, clorofíceas
- Color rojizo o pardo: sales de hierro
- Color amarillento: macizos no calcáreos
- Color verdoso: macizos calcáreos

### TURBIDEZ Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

La turbidez de un agua es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal. La presencia de partículas causante de la turbidez provoca un fenómeno óptico que consiste esencialmente en

una absorción de luz combinado con un proceso de difusión. La mayoría de las aguas residuales industriales tienen valores elevados de turbidez (STOKER, S.H, 1980).

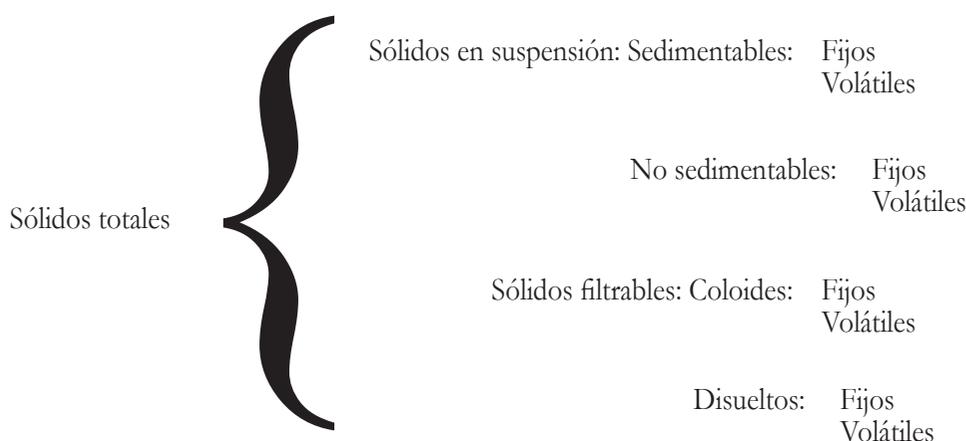
La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU o UNF) por medida de la intensidad de la luz dispersada o en mg de SiO<sub>2</sub>/L.

Las partículas responsables pueden ser aportadas por arrastre, remoción de tierras o vertidos. La materia en suspensión es responsable de:

- Color aparente
- Disminución del paso de la energía solar (menor actividad fotosintética)
- Depósitos de partículas sobre las plantas acuáticas y branquias de peces y de igual forma en los fondos, generando condiciones anaeróbicas lo que trae aparejado dificultad para la alimentación de los seres vivos acuáticos.

La cantidad de materia sólida presente en el agua está estrechamente relacionada con la turbidez.

Los sólidos totales presentes en el agua se pueden clasificar de la siguiente forma (BAIRD, Colin. 2001):



A causa de la existencia de estos diferentes tipos de sólidos se miden diversos parámetros que hacen referencia a los mismos, así distinguiremos:

*Sólidos decantables:* Se deja el agua en reposo durante 2 h en unos conos especiales (conos Inhoff) y se miden los ml/L de sólidos decantables.

*Sólidos en suspensión (SS) o Materia en suspensión (MES):* Se filtra el agua y se determina las MES retenida en el filtro por diferencia de pesada. Unidades en mg/L.

*Residuo seco a 105°C o Total de sólidos disueltos (TDS):* El agua previamente filtrada se evapora en estufa a 105°C durante 4 h, por pesada se determina el total de sólidos disueltos. Unidades en g o mg/L.

*Residuo fijo:* Se calienta la cápsula, empleada en la determinación anterior, a 525°C, temperatura a la que se considera que se ha volatilizado toda la materia orgánica, por lo que la diferencia entre el residuo fijo y el residuo a 105°C da una idea de la cantidad existente de la misma. Unidades en g o mg/L.

## TEMPERATURA

La temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad de un agua. Afecta a parámetros o características tales como la solubilidad de gases y sales, la cinética de las reacciones químicas y bioquímicas, desplazamientos de los equilibrios químicos, tensión superficial, desarrollo de organismos presentes en el agua.

La influencia más marcada de la temperatura es la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de putrefacción.

## CONDUCTIVIDAD

La conductividad es una medida de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica entre dos electrodos no polarizables sumergidos en la misma, y través de su medición se puede apreciar la concentración de los iones en la disolución, por lo que altos valores se traducen en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH. Se puede expresar de diferentes formas, lo más común es expresarla en microhomios por centímetro ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) o si utilizamos el sistema internacional en micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ).

En las aguas superficiales (no marinas) los iones que son directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos. En aguas naturales la medida de dicho parámetro tiene varias aplicaciones, tal vez la más importante sea la evaluación de las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales.

La variación estacional mínima que se encuentra en las aguas embalsadas contrasta notablemente con las fluctuaciones diarias de algunas aguas de río contaminadas.

La conductividad se puede expresar de diferentes formas, lo más común es expresarla en microhomios por centímetro ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) o si utilizamos el sistema internacional en micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ).

## PARÁMETROS DE CARÁCTER QUÍMICO

### SALINIDAD

Dependiendo de las características del sistema acuático, la salinidad puede ser una variante relevante, como sucede en los ecosistemas estuarinos, en que los cambios de este parámetro pueden condicionar la evolución de los recursos naturales asociados al agua. La salinidad de los distintos cuerpos de agua es diferente, incluso hay variaciones en una misma zona debido a factores climáticos, topográficos, aportes fluviales, etc.

### DUREZA

La dureza es también un parámetro relacionado con los anteriores. Mide la presencia de cationes  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , y en menor cantidad  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$  y otros alcalinotérreos (APHA, 1989). En la actualidad se tiende a prescindir del término “dureza” indicándose la cantidad de calcio y magnesio presente en un agua en  $\text{mg/L}$ , sin embargo se conocen:

*Dureza total:* Es la suma total de las concentraciones de sales de calcio y magnesio, se mide por volumetría de complejación con EDTA, se expresa numéricamente en forma de carbonato de calcio u óxido de calcio, pueden también utilizarse los grados hidrotimétricos ( $1^\circ$  francés= 10 mg de carbonato de calcio/L).

*Dureza temporal:* Es la que corresponde a la proporcionada por los hidrogeno carbonatos de calcio y magnesio, desaparece por ebullición pues precipitan los carbonatos.

*Dureza permanente:* Es la que existe después de la ebullición del agua, es la diferencia entre las dos anteriores.

### pH

El pH de un agua, que indica la reacción ácida y básica de la misma, es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática (tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos), la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, el potencial redox del agua, el poder desinfectante del cloro, etc (BROWN, T. 1999).

La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de hidrógenos presentes.

El agua está ionizada débilmente:



Ya que sólo cerca de  $10^{-7}$  concentraciones molares de  $[\text{H}^+]$  y  $[\text{OH}^-]$  están presentes en equilibrio,  $[\text{H}_2\text{O}]$  se puede tomar como la unidad.

Así  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K = 1.0 \times 10^{-14}$  moles/L a 25°C

Ya que esta relación debe satisfacer todas las soluciones acuosas diluidas, la naturaleza ácida o básica de la solución se puede especificar por un parámetro: la concentración de los iones hidrógeno. Esto se expresa convenientemente por la función pH.

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] = \log_{10} 1/ [\text{H}^+]$$

Lo que resulta en una escala de 0 a 14 con 7 como neutralidad, siendo ácido por debajo de 7 y alcalino por arriba de 7.

El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 6,5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución, los océanos tienen un valor medio de 8.

El pH es un parámetro irrelevante como indicadora de la calidad de las aguas marinas dada la alta capacidad tamponadora de esta. La medición de su valor complementado con la del Potencial redox (Eh), según los fines del estudio ayuda a establecer tendencias. Ocurre que en ocasiones se producen vertimientos accidentales de ácidos en grandes cantidades, lo que dependiendo de las características del evento (puntual o difuso, frecuencia, volumen e intensidad) hace que cobre relevancia el indicador pH. Influye en la actividad biológica de las especies (MARIN B, 2001).

## ALCALINIDAD

La alcalinidad de una muestra de agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio, ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ), hasta un valor de pH igual a 4,5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en la solución, y en menor grado por los boratos, fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra. En un sentido estricto las principales especies causantes de alcalinidad y su asociación con la fuente, son los siguientes: Hidróxidos,  $\text{OH}^-$  (Aguas naturales, residuales e industriales), Bicarbonatos,  $\text{HCO}_3^-$  (Aguas naturales y residuales) Carbonatos  $\text{CO}_3^{2-}$  (Aguas Naturales y residuales).

Las aguas subterráneas relativamente antiguas que discurren por estratos arenosos, constituyen una buena excepción, en donde la alcalinidad también se halla relacionada a los silicatos disueltos (BAIRD, Colin. 2001).

La alcalinidad en la mayoría de los cuerpos de aguas naturales tiene su origen en el sistema carbonato, debido a que el bióxido de carbono y los bicarbonatos forman parte del metabolismo de los organismos vivos, aeróbicos o anaeróbicos, donde quiera que halla agua, materia orgánica y unas condiciones mínimas de supervivencia (BELFORE, S., 2003).

La alcalinidad en el agua se expresa como la cantidad equivalente de  $\text{CaCO}_3$ , en mg/L. La alcalinidad, entendida como la concentración de metales alcalinotérreos, tiene importancia en la determinación de la calidad del agua para riego y es además, un factor importante en la interpretación y el control de los procesos de purificación de aguas residuales.

El sistema de alcalinidad tiene interacciones importantes con los procesos de fotosíntesis y respiración celular. Observemos en primer término las reacciones de equilibrio que describen la interacción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Equilibrio que describen la interacción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.



1era. disociación de ácido carbónico:

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]}$$



2da. disociación de ácido carbónico:

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Dado que la concentración de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) es generalmente baja, las primeras dos ecuaciones se combinan para formar el equilibrio descrito en la ecuación.

## OXÍGENO DISUELTO

El Oxígeno Disuelto se encuentra en un rango normal de 6.5 a 8 mg/L. 5mg/L es el valor mínimo de concentración para la manutención del equilibrio en los ecosistemas acuáticos. Se considera un nivel crítico a <3.0 mg/L y es un indicador de la eutrofización. A esa concentración se espera daños ecológicos a los Estuarios y Zonas Costeras (CARDENAS, F. 1999; BELFORE, S., 2003).

El oxígeno es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema. Desafortunadamente el oxígeno es poco soluble en agua.

Temperatura, °C	0	10	20	30
OD, mg/L	14.6	11.3	9.1	7.6

Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con OD, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente.

Las aguas saturadas de oxígeno tienen un sabor agradable y las aguas con deficiencia de OD son insípidas; por esa razón, si es necesario, las aguas para beber se aerean para que tengan un OD máximo. En el agua para alimentar calentadores, el OD es indeseable porque su presencia aumenta el riesgo de corrosión.

Es la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura. Por ejemplo, se dice que el agua está saturada en un 100% si contiene la cantidad máxima de oxígeno a esa temperatura. Una muestra de agua que está saturada en un 50% solamente tiene la mitad de la cantidad de oxígeno que potencialmente podría tener a esa temperatura.

A veces, el agua se supersatura con oxígeno debido a que el agua se mueve rápidamente. Esto generalmente dura un período corto de tiempo, pero puede ser dañino para los peces y otros organismos acuáticos.

Los valores del Porcentaje de Saturación del OD de 80-120% se consideran excelentes y los valores menores al 60% o superiores a 125% se consideran malos. El Porcentaje de Saturación del Oxígeno Disuelto depende de la temperatura del agua y la elevación del sitio donde se toma la muestra de agua.

La Tabla No. 8 es utilizada para corregir a partir de los datos en ella contenida el porcentaje de saturación de oxígeno; a la presión atmosférica correspondiente o la altitud equivalente en pie, se elige el factor de corrección el cual es multiplicado por el nivel de Oxígeno Disuelto (en ppm).

Tabla No. 8. Tabla para el cálculo del porcentaje de saturación

Presión Atmosférica (mmHg)	Altitud Equivalente (pies)	Factor de Corrección
775	540	1.02
760	0	1.00
745	542	.98
730	1094	.96
714	1688	.94
699	2274	.92
684	2864	.90
669	3466	.88
654	4082	.86
638	4756	.84
623	5403	.82
608	6065	.80
Presión Atmosférica (mmHg)	Altitud Equivalente (pies)	Factor de Corrección
593	6744	.78
578	7440	.76
562	8204	.74
547	8939	.72
532	9694	.70
517	10,472	.68

## SUSTANCIAS DE CARÁCTER ORGÁNICO (MATERIA ORGÁNICA)

### MATERIA ORGÁNICA: DBO Y DQO

En cuanto a la influencia en los parámetros de calidad de un agua y a las posibilidades de tratamiento de las aguas residuales, se hace una división de la materia orgánica contenida en los vertidos, en biodegradable y no biodegradable (DQO. 2000).

La contaminación por materia orgánica tiene en general tres orígenes: doméstico urbano, agrícola e industrial.

### PARÁMETROS MEDIDORES DE MATERIA ORGÁNICA

Reciben la denominación de parámetros sustitutos, pues abarcan muchos compuestos, son medidas globales de la materia orgánica. Los más importantes se basan en la cantidad de oxígeno necesario para descomponer u oxidar los productos orgánicos.

*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en 5 días (unas 3/4 partes de la DBO total):* es el parámetro que se maneja para tener una medida de la materia orgánica biodegradable. Se define como la cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición biológica aeróbica de la materia orgánica biodegradable de un agua. Se calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua después de incubar una muestra durante 5 días a 20°C. La reacción se lleva a cabo en la oscuridad, para evitar la producción de oxígeno por las algas, a dilución adecuada, y manteniendo el pH entre 7-7,5.

Las aguas industriales deben sembrarse con microorganismos. En estas condiciones de reacción en 5 días se degrada un 60-70% de la materia orgánica carbonada, la nitrificación del amoníaco producido por las proteínas comienza entre los 6 y 10 días.

Unos valores elevados de DBO5 indican una alta concentración de materia orgánica biodegradables:

Aguas muy puras  $\text{DBO}_5 < 3 \text{ ppm O}_2$   
Pureza intermedia  $\text{DBO}_5 3-5 \text{ ppm O}_2$   
Agua contaminada  $\text{DBO}_5 > 8 \text{ ppm O}_2$   
Residuales urbanas  $\text{DBO}_5 100-400 \text{ ppm O}_2$   
Industria alimentaria o semejante  $\text{DBO}_5$  hasta  $10000 \text{ ppm O}_2$

*Demanda Química de Oxígeno (DQO)*: se expresa como la cantidad de oxígeno equivalente necesaria para la oxidación química de la materia orgánica oxidable de un agua. Sus unidades, por lo tanto, son las mismas que la DBO, es decir,  $\text{mg O}_2/\text{L}$ . Entre las ventajas sobre la medida de DBO, cabe destacar el tiempo considerablemente inferior del análisis (3 h).

Mide la cantidad de materia orgánica total susceptible de oxidación química (bio y no biodegradable). En esta medida se sustituyen los microorganismos por un poderoso agente químico como el dicromato o el permanganato de potasio en medio ácido.

*Carbono orgánico total (COT)*: consiste en medir la cantidad de dióxido de carbono producido por calcinación de una micro-muestra. Según que el agua haya sido filtrada previamente o no, se obtendrá el carbono disuelto o el carbono total. La medida de COT está menos sujeta a interferencias que la medida de la DQO, particularmente en presencia de materia nitrogenada, siendo además una técnica más rápida y reproducible. Se mide en  $\text{mg C/L}$ .

*Sustancias extraíbles al cloroformo (SEC)*: determina la cantidad existente de ciertas sustancias orgánicas que pueden encontrarse en solución o pseudosolución en el agua.

## SUSTANCIAS DE CARÁCTER INORGÁNICO

La presencia de metales en las aguas puede provenir de sustancias en disolución, en cantidades traza, o como partículas en suspensión, que pueden acabar sedimentándose y acumulándose en los lechos de los ríos (IDEAM, 2001).

La persistencia en el ambiente de los metales ocasiona una problemática especial. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales no pueden degradarse ni biológicamente ni químicamente en la naturaleza. Los compuestos que contienen metales pueden alterarse, pero los metales indeseables aún permanecen. En algunos casos tales reacciones desembocan en formas más tóxicas del metal. La estabilidad de los metales permite también que sean transportados a distancias considerables, tanto por el aire como por el agua.

## OTRAS SUSTANCIAS TÓXICAS DE CARÁCTER INORGÁNICO

Los elementos y especies no metálicos considerados como tóxicos, aunque la repercusión de algunos de ellos todavía no está probada englobarían a As, Se, Sb, CN-, (MARIN B, 2001).

*CN-*: Son especialmente tóxicos a pH bajos (originan desprendimiento de HCN). Actúan impidiendo las reacciones de oxidación del fósforo, que es la que permite la respiración celular. Además algunos compuestos cianurados que se forman por reacción con determinados metales pesados, pueden ser incluso sustancias más tóxicas que los contaminantes de partida.

*Se*: Es un nutriente esencial (por su semejanza al S) y desintoxicante de ciertos metales pesados, como el Cd. En dosis excesivas es perjudicial (síntomas parecidos al As). Se encuentra preferentemente en algunas aguas subterráneas que son tóxicas.

*As*: Todos los compuestos solubles son venenosos. Es muy utilizado en pesticidas (arsenitos como herbicidas, arseniatos como insecticidas). El más peligroso para el hombre es el As inorgánico y más la forma  $\text{As}^{3+}$ .

## PARÁMETROS DE CARÁCTER RADIATIVO

Son importantes como indicadores cuando se trata de áreas utilizadas para el transporte de materiales radioactivos, disposición de esos materiales o localizadas en las cercanías de fuentes potenciales de contaminación radioactiva (MARIN B, 2003).

## **RADIACIONES ALFA ( $\alpha$ ) Y BETA ( $\beta$ ) TOTALES**

No se efectúa la medida de cada uno de los isótopos radiactivos, sino que se determina la radiación  $\alpha$  global y la radiación  $\beta$  global, midiéndola en Becquerel por Litro (Bq/L).

## **ELEMENTOS INDIVIDUALES**

Todas las aguas naturales presentan una determinada radiactividad natural, como consecuencia de la presencia de isótopos radiactivos naturales de los elementos, en especial del  $^{40}\text{K}$  y  $^{87}\text{Rb}$ . Actualmente y como consecuencia de las actividades nucleares de origen industrial (civil o militar) y farmacológico, hay un incremento de la radiactividad de las aguas que puede llegar a ser muy perjudicial. Entre los isótopos más frecuentes debe señalarse la existencia de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , (NESMEYANOV, A. 1972).

## **PARÁMETROS DE CARÁCTER MICROBIOLÓGICO**

Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos; el agua residual contiene más de 106/mL, pero los números reales presentes regularmente no se determinan. Después del tratamiento convencional del agua el efluente todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas aguas superficiales naturales (DUKES, J. 2005).

Los microorganismos más importantes que podemos encontrar en las aguas son: bacterias, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas (por ej. Las azul verdosas).

La contaminación de tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos –bacterias y virus– se encuentran en las heces, orina y sangre, y son de origen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa,...). Desde el punto de vista histórico, la prevención de las enfermedades originadas por las aguas constituyó la razón fundamental del control de la contaminación (FIGUERAS, M.J. 1996; GRANT S.B. 2001).

## **BACTERIAS INDICADORAS**

La aplicación efectiva de guías bacteriológicas para el agua de mar, desde los inicios estuvo asociada a la relación entre las densidades de coliformes y determinadas enfermedades, siendo por ello utilizados los coliformes fecales y totales como indicadores de calidad de agua marina para recreación de contacto primario. Algunos entendidos exponen que los coliformes totales no resultan ser buenos indicadores de las aguas marinas, pues la flora microbiana marina está conformada en gran medida por coliformes (SALAS, H. 2000).

Con los coliformes fecales la situación es otra, pues son “exclusivos” del sistema digestivo de mamíferos y por lo tanto indicativos de contaminación orgánica.

## **TIPOS DE MICROORGANISMOS**

Por definición, los microorganismos son aquellos organismos muy pequeños para ser vistos a simple vista; un gran número de organismos acuáticos queda comprendido en esta categoría. Los organismos superiores se identifican como plantas o animales: las plantas tienen paredes celulares rígidas, son fotosintéticas y no se mueven en forma independiente. Los animales tienen paredes celulares flexibles, requieren alimento orgánico y tienen movimiento independiente (OMS/PNUMA 1994). La aplicación de tal diferenciación para identificar a los microorganismos es difícil debido a las estructuras simples de sus células y se ha convenido denominados protistas. Los protistas se dividen a su vez en dos tipos:

Procariotas, estructuras celulares simples y pequeñas, con núcleos rudimentarios y cromosoma. Su reproducción normalmente es por fisión binaria. Se incluyen en este grupo las bacterias, los actinomicetos y las algas verdes-azules.

Eucariotas, células más grandes con una estructura más compleja y que contienen varios cromosomas. Su reproducción puede ser asexual o sexual y tienen ciclos de vida muy complejos. Se incluyen en esta clase los hongos, la mayoría de las algas y los protozoarios.

Hay un grupo adicional de microorganismos: los virus, que no pueden ser clasificados en ninguna de las dos clases anteriores y, por tanto, se consideran por separado (CAMPOS, E. 2000).

## **VIRUS**

Los virus son la forma más simple de organismo, su tamaño varía entre 0.01 a 0.3  $\mu\text{m}$  y consisten esencialmente de ácido nucleico y proteína. Todos son parasitarios y no pueden crecer fuera de otro organismo vivo. Son altamente específicos tanto en lo que concierne al organismo huésped como a la enfermedad que producen.

Las enfermedades virales humanas incluyen a la viruela, la hepatitis infecciosa, la fiebre amarilla, la poliomielitis y diferentes enfermedades gastrointestinales. Para identificación y enumeración de los virus se requieren aparatos y técnicas especiales. Los efluentes de agua residual normalmente contienen grandes cantidades de virus, que también están presentes en la mayoría de las aguas superficiales sujetas a contaminación. Por su tamaño, la remoción de virus por procesos convencionales de tratamiento de agua no es segura, aunque los procesos normales de desinfección generalmente los dejan inactivos.

## **BACTERIAS**

Son las unidades básicas de vida de las plantas; son organismos unicelulares que pueden vivir como autótrofos o como heterótrofos y aprovechar el alimento soluble. Su reproducción es por fisión binaria y el tiempo de generación en algunas especies puede tomar sólo 20 minutos, en condiciones favorables.

Las bacterias desempeñan una función vital en los procesos naturales de estabilización y se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas residuales orgánicas. Se conocen alrededor de 1500 especies que se clasifican en relación con criterios tales como; tamaño, forma y agrupamiento de células; característica de la colonia, reacción a la tinción, requerimiento; movilidad, reacciones químicas específicas, etc. Se encuentran formas aerobias, anaerobias y facultativas.

## **HONGOS**

Son plantas multicelulares aerobias que toleran más las condiciones ácidas y ambientes más secos que las bacterias.

Aprovechan casi las mismas fuentes de alimento que las bacterias en las quimiosintéticas pero, como su contenido de proteína es inferior al de las bacterias, sus requerimientos de nitrógeno son menores. Forman menos materia celular que las bacterias a partir de la misma cantidad de alimento. Son capaces de degradar compuestos altamente complejos y algunos son patógenos para el hombre. Tienen cuatro o cinco fases de vida distintas con reproducción por esporas asexuales o semillas. Existen en las aguas contaminadas y en las plantas de tratamiento biológico. Pueden ser responsables de ciertos sabores y olores en los abastecimientos de agua.

## **ACTINOMICETOS**

Tienen una apariencia similar a la de los hongos, con una estructura filamentososa y con un tamaño de célula casi igual al de las bacterias. Existen en número considerable tanto en el suelo como en el agua y casi todos son aerobios. Su importancia en el agua se debe principalmente a los problemas de sabor y olor que resultan de su presencia.

## **ALGAS**

Son todas plantas fotosintéticas, en su mayoría multicelulares, aunque algunos tipos son unicelulares. Las formas de agua dulce utilizan el pigmento de la clorofila y actúan como las principales productoras de materia orgánica en un ambiente acuático. Las algas pueden ser verdes, verde-azules, cafés o amarillas. Existen como células solas que pueden ser inmóviles o móviles, si tienen flagelos, o bien con formas filamentosas multicelulares. Las algas y las bacterias que crecen en la misma solución, no compiten por el alimento, sino que tienen una relación simbiótica en la cual las algas utilizan los productos finales de la descomposición bacteriana de la materia orgánica para producir oxígeno y mantener un sistema aerobio.

La presencia de las algas en el agua es importante debido al efecto que tienen en los niveles de OD y porque algunas especies pueden causar severos problemas de sabor y olor.

## PROTOZOARIOS

Son organismos unicelulares que se producen por fisión binaria. La mayoría son heterótrofos aerobios; su fuente principal de alimento son las células bacterianas. No pueden sintetizar todos los factores necesarios para su crecimiento y dependen de las bacterias para que se lo suministren. Abundan en el suelo y en el agua y pueden tener una participación importante en los procesos biológicos de tratamiento de desechos. Hay cuatro tipos de protozoarios: Sarcodarios, Mastigóforos, Ciliados, Esporozoarios.

## ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS CONTINENTALES Y COSTERAS

La identificación y cuantificación de las variables físicas, químicas, biológicas y sanitarias, a los efectos de describir la calidad de las aguas, revisten gran importancia debido al significativo papel que desempeñan en la evaluación y diagnóstico del estado en que se encuentran los recursos naturales que les están asociados (LERMAN A. 1981).

Varios son los factores que alteran la calidad de las aguas. En las tablas 9 y 10 se muestran las alteraciones físicas y químicas que afectan la calidad de las aguas (APHA. 1989).

En la tabla 9 se indican algunas de las alteraciones físicas que presentan los sistemas acuáticos, y como éstas se reflejan en las características de dichos sistemas.

Tabla No. 9. Alteración física de la calidad del agua.

(Tomado. Contaminación del agua. Recurso natural. Microorganismos. Desechos orgánicos e inorgánicos. Nutrientes. Sedimentos. Eutrofización. Industrialización. Accidentes ambientales)

<b>Alteraciones físicas</b>	Características y contaminación que indica
<b>Materiales en suspensión</b>	Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)
<b>Radiactividad</b>	Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.
<b>Espumas</b>	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
<b>Conductividad</b>	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.

Conjuntamente con las variables físicas, las químicas proporcionan información importante para el estudio de la calidad de los sistemas acuáticos, por ser las responsables de la ocurrencia de innumerables procesos, los cuales alteran la referida calidad (Tabla No. 10).

Tabla No. 10. Alteración química de la calidad del agua.

(Tomado. Contaminación del agua. Recurso natural. Microorganismos. Desechos orgánicos e inorgánicos. Nutrientes. Sedimentos. Eutrofización. Industrialización. Accidentes ambientales)

Aniones:	Indican salinidad
Cloruros	Indican contaminación agrícola
Nitratos	Indican actividad bacteriológica
Nitritos	Indican detergentes y fertilizantes
Fosfatos	Indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc)
Sulfuros	
Cianuros	Indican contaminación de origen industrial
Fluoruros	En algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida
Cationes:	Indican salinidad
Sodio	Están relacionados con la dureza del agua
Calcio y magnesio	Contaminación con fertilizantes y heces
Amonio	De efectos muy nocivos, se bioacumulan en la cadena trófica
Metales pesados	
Compuestos orgánicos	Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forma clorofenoles que afectan la calidad del agua, pues generan un mal olor y sabor.

## Problemas sobre la calidad del agua en el hogar

Se necesita agua de buena calidad para beber y para otros usos domésticos.

- Si su abastecimiento de agua es público, la compañía de servicios de agua debe examinar el agua regularmente para asegurarse que alcanza los estándares establecidos por Decretos y normativas.

Los dos estándares son:

- Estándares Primarios (los cuales tienen que ver con contaminantes que afectan la salud, como patógenos, elementos radioactivos y químicos tóxicos).
- Estándares Secundarios (los cuales tienen que ver con propiedades como el sabor, color, corrosividad, capacidad de hacer espuma y de manchar). El servicio de obras públicas debe tratar el agua, si es necesario, para mantener su calidad.

## NUTRIENTES

La mayoría de los nutrientes son compuestos nitrogenados y fosforados. Los compuestos nitrogenados están esencialmente presentes en cuatro formas: La de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) que es la más importante en el agua superficial, que corresponde a una forma mineral oxidada (HECKY, R. 1988). El amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) es

la forma mineral reducida, cuyo estado de equilibrio asocia al amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). El amonio se encuentra en el medio debido a la descomposición de la materia orgánica, cuya presencia en altas cantidades, implica que las aguas son de mala calidad. Los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) representan una de las formas mineral del nitrógeno.

Los cambios de la concentración del nitrógeno de nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ) por lo general están en función de los diversos procesos biológicos que se efectúan en esta columna de agua, mientras los de  $\text{N-NO}_3^-$  son motivados principalmente por el aporte proveniente de los ríos y a los cambios efectuados por los organismos fotosintéticos. Para el caso del amoníaco (realmente  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) las variaciones en la concentración pueden estar ocasionada por el proceso de regeneración que se efectúa durante cierta época climática (FAO I. 1993).

Por lo general las concentraciones del nitrógeno de nitritos y nitratos, así como la del amoníaco en aguas marinas se encuentran en los siguientes valores 3.57  $\mu\text{g-at/L}$ , 0.1-35.7  $\mu\text{g-at/L}$  y -3.57  $\mu\text{g-at/L}$ , respectivamente.

El fósforo se encuentra en forma mineral, representada como ortofosfatos y orgánica. La forma mineral puede encontrarse en forma disuelta o adsorbida sobre partículas, tales como: hidróxido ferricos o manganeso y carbonato de calcio. Se asume que el fósforo orgánico resulta de la diferencia entre el fósforo total y los ortofosfatos (RAIKE A. 2003).

La forma "más simple" de fósforo en el medio acuático es el ortofosfato inorgánico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , y  $\text{PO}_4^{3-}$  son todas formas del ortofosfato) (LEVENSPIEL 1976). Su concentración en el mar varía grandemente dependiendo del lugar, y también con la profundidad y hora del día. Las aguas superficiales carecen de fosfato comparadas con aguas profundas, debido a las actividades biológicas que ocurren en la superficie secuestrando el fosfato dentro de los organismos.

Las concentraciones establecidas del ortofosfato disuelto y del fósforo total para el agua de mar son de 0.1-2  $\mu\text{g-at P/L}$ .

El fosfato puede ser también un nutriente limitante para el crecimiento de algas. Si se permite su acumulación, el crecimiento de las algas puede ser problemático. A concentraciones por debajo de 0.03 ppm, la tasa de crecimiento de muchas especies de fitoplancton depende de la concentración de fosfato (suponiendo que no hay otra limitante, como nitrógeno o hierro).

Debe tenerse en cuenta que el ingreso de nutrientes y materia orgánica a los mares del mundo, es una forma de garantizar el flujo de materia y energía necesarios para el funcionamiento de los ambientes marinos (OLIVOS, A. 2002).

## COMPORTAMIENTO DE LOS NUTRIENTES EN LOS ESTUARIOS

Las entradas de los nutrientes a un estuario pueden provenir del aporte fluvial, y de las aguas subterráneas, también a través la atmósfera o por la entrada de agua de mar. (OZMIDOV, R.V. 1990).

- a) Aporte fluvial: los ríos transportan una carga de materia soluble y particulada que provienen de los lixiviados y escorrentías de la cuenca que drenan. Existe una fuerte correlación entre las cargas de nitrógeno y fósforo total en los ríos con el uso de la tierra, y especialmente con las prácticas agrícolas.  
Históricamente la carga de nutrientes en los ríos ha ido aumentando de forma paralela al incremento de poblaciones humanas en sus cuencas, como resultado tanto de las aguas residuales provenientes de los aportes humanos como de la de animales y al aumento de la aplicación de fertilizantes en las tierras de cultivo, con la consiguiente lixiviación al río (RAIKE A. 2003). Se conoce de trabajos realizados, que los ríos con mayor concentración de nutrientes coinciden con aquellos que drenan cuencas de agricultura intensiva. También se ha puesto en evidencia que un aumento en la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto está estrechamente relacionado con el aumento de las actividades humanas en las cuencas hidrográficas, particularmente por el uso de fertilizantes en agricultura, mientras una disminución en la carga de fosfato se produce fundamentalmente debido a la disminución de los efluentes industriales.
- b) La entrada proveniente de las aguas subterráneas es generalmente desconocida y variable por lo que no suele tenerse en cuenta. La entrada atmosférica es importante principalmente para el nitrógeno ya que para el fósforo y el silicio, las formas gaseosas de estos compuestos tienen un papel casi insignificante debido a que no han sido encontradas en cantidades significativas en el medio natural. Por el aire pueden llegar aportes, tanto en forma de partículas en suspensión, como de especies químicas

- presentes en forma gaseosa que se disuelven en el agua en contacto con esta. En el ciclo del nitrógeno además de esta deposición atmosférica hay que tener en cuenta la fijación biológica de compuestos nitrogenados.
- d) La entrada de nutrientes que aporta el mar al estuario es generalmente muy baja y suele ser como mínimo, un orden de magnitud inferior a la del río.

## **EUTROFIZACIÓN**

Se denominan eutróficos, los sistemas acuáticos en que el nivel nutritivo es particularmente alto y que se caracterizan por abundante vegetación litoral, estancamiento veraniego frecuente, con floraciones de algas y ausencia de especies de agua fría (OLIVOS, A. 2002; MARIN B, 2001; MONOGRAFIA-4).

Este proceso se produce naturalmente en todo sistema acuático, cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos. Semejante eutrofización natural, que se relaciona estrechamente con la sucesión natural, es un proceso lento de acuerdo con el criterio humano, y tarda miles de años. En cambio la descarga de aguas negras no tratadas y de residuos agrícolas o industriales, acelera el proceso considerablemente, reduciendo a menudo, los periodos en que dicho fenómeno se manifiesta.

La eutrofización o enriquecimiento en nutrientes de las aguas produce un crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los ríos, embalses o lagos, generando residuos orgánicos que, al descomponerse, consumen gran parte del oxígeno disuelto y de esta manera pueden afectar a la vida acuática y producir la muerte por asfixia de la fauna y flora. Algunas de las algas que se desarrollan anormalmente, emiten sustancias tóxicas que pueden matar a los mariscos y peces, hacer que estos no sean aptos para el consumo humano o, directamente, deteriorar la calidad del agua haciéndola inadecuada para el consumo.

El crecimiento de algas puede afectar también al uso recreativo de embalses y lagos, la circulación del agua en ríos y canales y obturar los filtros de estaciones de tratamiento del agua (KIELY, G. 1999).

## **AGUA EUTRÓFICA Y OLIGOTRÓFICA**

Cuando las aguas se enriquecen en nutrientes se denominan Aguas eutróficas. Podría parecer a primera instancia, que es bueno que las aguas estén sobrecargadas de nutrientes, pues facilitaría las condiciones de los seres vivos. Pero la situación no es tan sencilla, el problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y organismos, trayendo como consecuencia la muerte de otros organismos, con la posterior putrefacción de los mismos, llenando el agua de malos olores y de un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad (GOBERNACIÓN DE CÓRDOBA. 2003; [http://www.cordoba.gov.co/informacion/cifras\\_empalme.pdf](http://www.cordoba.gov.co/informacion/cifras_empalme.pdf)).

Situación diferente se presentan cuando las aguas son pobres en nutrientes, en este caso son llamadas *Aguas oligotróficas*. Dichas aguas son claras, la luz penetra adecuadamente y es poco el crecimiento de las algas. Las plantas y animales que se encuentran son los característicos de aguas bien oxigenadas.

## **NUTRIENTES QUE EUTROFIZAN LAS AGUAS**

Los nutrientes que más influyen en este proceso son: Los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en muchos mares el factor limitante es el nitrógeno, para la mayoría de las especies de plantas (KIELY, Gerard. 1999; APUNTES-1).

## **FUENTES DE EUTROFIZACIÓN**

En los últimos 20 o 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos mares y lagos casi se han duplicado. La mayor parte les llega por los ríos. En el caso del nitrógeno, una elevada proporción (alrededor del 30%) llega a través de la contaminación atmosférica (SATYANARAYAMA D; 1992; MONOGRAFIAS-1,4).

Las fuentes de eutrofización pueden ser:

Natural: Proceso que se va produciendo lentamente de forma natural en todos los lagos del mundo, resultado de la entrada de nutrientes.

De Origen Humano: Vertidos humanos. Detergentes y desechos orgánicos. Ganaderos y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos.

La principal vía de entrada de los abonos en las aguas superficiales es a través de la escorrentía, que los arrastra en su mayor parte junto a las partículas de suelo, y también por lavado a las aguas subterráneas que después vierten en ríos y lagos.

El contenido de fósforo y nitrógeno en el suelo es más alto en las capas más superficiales, las cuales son las más erosionadas. Además, el proceso erosivo tiende a afectar más a las partículas finas que son las que contienen la mayor parte del nitrógeno y fósforo. Debido a esto, el sedimento erosionado tiene una mayor concentración de nutrientes que el suelo del que proviene, para el fósforo es frecuente entre 2 y 6 veces más y para el nitrógeno entre 2 y 8 veces.

## MEDIDA DEL GRADO DE EUTROFIZACIÓN

El grado de eutrofización puede ser medido, determinando el contenido de clorofila de algas en la columna de agua y este valor se combina con otros parámetros como el contenido de fósforo y de nitrógeno y el valor de penetración de la luz.

Con igual fin se ha aplicado el índice de eutrofización el cual se calcula a partir de la ecuación de Kerydis (ULECIA, K; <http://www.ecoport.net/>):

$$I = C / (C - \log x) + \log A$$

Donde:

I: Índice de eutrofización por nutrientes.

C: Concentración total del nutriente durante la etapa de estudio.

X: Concentración total del nutriente durante la etapa de estudio en el punto de muestreo (mmol/L).

A: Número de puntos de muestreo.

El grado de eutrofización ocasionado por los compuestos del nitrógeno, de forma general, son expresados a través del *Índice de eutrofización* (Tabla No. 11).

## MEDIDAS PARA EVITAR LA EUTROFIZACIÓN

1. Disminuir la cantidad de fosfatos y nitratos en los vertidos.
2. Emplear la menor cantidad de detergentes posible.
3. No abonando en exceso los campos
4. Tratar las aguas residuales en estaciones depuradoras de aguas residuales que incluyan tratamientos biológicos y químicos que eliminan el fósforo y el nitrógeno
5. Almacenar adecuadamente el estiércol que se usa en agricultura.

## 4. INDICADORES (MARIN B. 2008)

Los indicadores sirven para observar, medir y verificar los cambios cuantitativos, (mayores o menores) y cualitativos (positivos/ negativos, ámbito, dimensión o aspecto) que presenta en determinado momento de tiempo, cierta variable.

Un indicador deberá tener ciertas cualidades para cumplir su función:

Objetivo: Concreto, visible  
Claro: Fácil de comprender y expresar  
Mensurable: Posible de medir en lo posible de forma cuantitativa  
Simple: Fácil de observar y medir  
Relacionado: Debe mantener un enfoque sistémico con otros indicadores.

Algunos indicadores pueden expresarse numéricamente, mientras otros emplearán conceptos de valoración calificativa, tales como:

- Excelente
- Muy bueno
- Bueno
- Regular
- Deficiente
- Nulo, etc.

La construcción de un sistema de indicadores simples o los índices –como niveles analíticos superiores– demanda la síntesis de información que en muchas ocasiones no está disponible.

Varios investigadores sostienen que generalmente el índice construido no da explicación de todos los factores que pueden describir una variable latente; sin embargo, son en todo momento una aproximación a ella.

Se ha expuesto que los índices son una herramienta cuantitativa que simplifica a través de modelos matemáticos los atributos y pesos de múltiples variables, con la intención de proporcionar una explicación más amplia de un recurso o el atributo a evaluar y gestionar.

Lo importante es que el índice garantice la medición de los cambios, siendo a esto denominado un índice consistente.

En la literatura sobre indicadores sintéticos se enfatiza que la selección del conjunto de indicadores apropiados no es una tarea fácil, dado que ello demanda el entendimiento de cómo funciona el sistema o fenómeno que se quiere explicar, y esto no siempre es posible cuando se trabaja con el medio ambiente.

Por ello, la selección de indicadores obedece no sólo a la interpretación que el científico y la sociedad hagan de una realidad, de por sí compleja, sino también a la disponibilidad de la información en un marco analítico que la interprete.

## **CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE INDICADORES SIMPLES Y SINTÉTICOS (MARIN B 2008)**

Los criterios de selección tienen que ser, por un lado, el filtro para:

- Resumir una gran cantidad de datos en un número reducido de indicadores por temas, áreas, componentes, preocupaciones sociales, etc.,
- Deben permitir dotar el sistema de indicadores de mayor calidad estadística en la información y de un método científico que delimite la frontera del análisis.

En su mayoría, los criterios empleados para la selección de indicadores coinciden en que el primer filtro lo constituye:

- Definición de componentes,
- Temas o áreas de interés de acuerdo al modelo de análisis seleccionado, ya sea basado en el enfoque de desarrollo sostenible o de un sitio o ecosistema.

El siguiente paso es:

- Definir una serie de indicadores que se pueden medir de acuerdo a su estado u otra categoría.

Por ejemplo que si el objetivo es medir la calidad ambiental, donde uno de sus componentes es el agua; un tema la calidad de las aguas de un río y una posible medida o indicador podría ser sólidos totales, propiedades organolépticas, etc.

Sin embargo, en la literatura revisada se pueden entrever unos criterios genéricos que permiten hacer una primera lista de filtros para la definición de una batería de indicadores:

- Deben describir un resultado final que atañe a la preocupación social.
- Deben describir situaciones sociales de elección pública, es decir, que sean susceptibles de mejorar mediante la gestión social.
- Deben estar referidos a un campo de aplicación temporal y espacial definido, de forma que permita la comparación intertemporal y entre regiones.
- Deben tener la posibilidad de agregación y desagregación, lo cual plantea un desarrollo que sea independiente de las instituciones que proporcionan la información.
- Deben estar integrados en sus definiciones, especificaciones, directrices estadísticas y categorías clasificatorias, con otros sistemas de estadísticas sociales, demográficas y económicas, con las cuales se puedan relacionar.
- Deben basarse en la validez científica. Es decir, el conocimiento científico de las relaciones de causalidad, sus atributos y su significado deben estar bien fundamentados.
- Debe ser sensible a cambios, en la medida que deben señalar cambios de tendencia en las situaciones que representan, preferiblemente en el corto plazo.
- Deben ser predictivos, de forma tal que brinden señales de posibles tendencias futuras de lo que miden.
- Deben tener una cobertura geográfica nacional o basarse en escalas regionales que puedan ser agregadas a ese nivel.
- Deben ser costo-eficientes. Los indicadores deben ser prácticos y realistas y su costo debe estar considerado en la selección. Esto puede llevar a *trade-offs* (*intercambio*) entre el volumen de información necesario y el costo de recolección.
- Existencia de los datos como un criterio de selección posterior a la definición de la lista amplia de indicadores.
- Representatividad de las zonas descritas, de tal forma que permita comparar las posiciones relativas.
- Se prefieren los indicadores directos del fenómeno a explicar, pero en caso de no existir, se recomienda el uso de indicadores indirectos que no generen ambigüedad en la explicación del factor que se quiere medir.
- Los indicadores deben tener una gran capacidad de discriminación del conjunto de unidades de observación para el cual se están diseñando (barrios, comunas, ciudades, países, etc.).

En general, este amplio resumen de criterios genéricos para la selección de indicadores muestra que no existe un consenso generalizado al respecto; sin embargo, son un buen “abanico” de criterios que los investigadores tienen a su alcance para definir esa primera lista de indicadores que le ayuden a sustentar las hipótesis de trabajo que se relacionan con esta primera fase de definición y recopilación de datos.

Un buen conjunto de indicadores debe ser “completo” para medir el índice, y cada uno de los indicadores debe ser una “buena” medida de los estados (u otra categoría) de la situación ambiental.

## **BREVE CONSIDERACIONES SOBRE LAS BASES QUE FUNDAMENTAN LOS INDICADORES (MARIN B. 2008)**

La medición de variables físicas resulta, en esencia, un proceso idéntico a otras. La dificultad reside en que las variables de este tipo no pueden medirse con escalas tan sencillas como las lineales y en que, por otra parte, no existen para su comparación patrones de medida universalmente definidos y aceptados. y constantes con las otras que se utilizan. En tal sentido las escalas tiene un papel importante, y se conciben como un continuo de valores ordenados correlativamente, que puede admitir un punto inicial y otro final.

Para que una escala pueda considerarse como capaz de aportar información objetiva debe reunir los dos siguientes requisitos básicos:

En tal sentido las escalas tiene un papel importante, y se conciben como un continuo de valores ordenados correlativamente, que puede admitir un punto inicial y otro final.

Para que una escala pueda considerarse como capaz de aportar información objetiva debe reunir los dos siguientes requisitos básicos:

- a) *Confiable*: se refiere a la consistencia interior de la misma, a su capacidad para discriminar en forma constante entre un valor y otro.
- b) *Validez*: indica la capacidad de la escala para medir las cualidades para las cuales ha sido construida y no otras parecidas.

A través de cada indicador se podrán obtener los datos pertinentes, que deberán ser llevados a escalas adecuadas para ordenarlos. Por cada indicador que se utilice será necesario adoptar o construir una escala adecuada, que cuantifique las observaciones.

Esta podrá ser del tipo más simple, como la escala dicotómica "si-no", "0-1", de dos valores solamente, o más compleja con varias posiciones posibles, lo que aumenta su sensibilidad o grado de discriminación frente a los fenómenos medidos.

De acuerdo a los datos obtenidos se evalúa en cada escala el comportamiento que, en el objeto de estudio, sigue cada indicador.

No obstante, ello todavía no nos permite medir claramente la variable, pues no nos entrega más que información fragmentaria, parcial, que debe ser integrada o sintetizada para llegar a un valor único, final, que exprese lo que en realidad ocurre con la variable.

Para lograrlo se requiere que los valores de los indicadores se sumen en forma ponderada, obteniéndose un valor total que se denomina *índice*, y que es el que finalmente permite una claridad sobre el problema en estudio.

De lo expuesto se evidencia que los indicadores son una herramienta de gran utilidad para identificar aquellas fuerzas que contribuyen hacia el mejoramiento o la degradación de las condiciones económicas, sociales y ambientales, permitiendo establecer metas precisas de acciones futuras para que a su vez, los gobiernos y la sociedad civil evalúen avances en sus acciones.

Los conjuntos de indicadores o índices integrados han sido utilizados en una gran variedad de disciplinas para medir conceptos complejos y multidimensionales que no se pueden observar ni medir directamente.

El poder de estos indicadores reside en su habilidad para sintetizar una gran cantidad de información en un formato simple y práctico.

La sencillez de estos índices integrados facilitan el acceso a la información al público en general y a otros usuarios potenciales.

La importancia del desarrollo de indicadores radica en tres objetivos ambientales fundamentales que permiten alcanzar el desarrollo sustentable:

- Proteger la salud humana y el bienestar general de la población
- Garantizar el aprovechamiento sustentable de los recursos
- Conservar la integridad de los ecosistemas

## **INDICADORES AMBIENTALES**

En la actualidad, numerosas organizaciones regionales, internacionales, agencias gubernamentales y grupos de científicos llevan a cabo iniciativas para desarrollar indicadores ambientales. El sistema de las Naciones Unidas cuenta con varias divisiones o agencias que están desarrollando grupos de indicadores relacionados con el ambiente, diferenciados por objetivos. En términos más específicos hay diferentes maneras de expresar el concepto de indicadores ambientales (MARIN B 2008).

El sistema de las Naciones Unidas cuenta con varias divisiones o agencias que están desarrollando grupos de indicadores relacionados con el ambiente, diferenciados por objetivos.

En términos más específicos hay diferentes maneras de expresar el concepto de indicadores ambientales. Al respecto puede acogerse la siguiente definición:

*Indicador ambiental:* es una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones. También es expresado como: Un dato que ha sido seleccionado a partir de un conjunto estadístico más amplio por poseer una significación y una representatividad particulares.

*También es expresado como:* Un dato que ha sido seleccionado a partir de un conjunto estadístico más amplio por poseer una significación y una representatividad particulares.

Los indicadores condensan la información y simplifican el acercamiento a los fenómenos medioambientales, a menudo complejos, lo que les hace muy útiles para la comunicación. Pueden ser considerados un aporte de la época posmoderna a la demanda creciente por disponer de información confiable, continua y comparable respecto al estado de la relación entre la sociedad y su entorno natural. (MARIN, B. 2001). Proporcionan información oportuna, precisa y fiable acerca del ambiente y el desarrollo sustentable a la hora de tomar decisiones. Estos poseen el potencial de constituir importantes herramientas sustentadas científicamente y técnicamente (PNUMA. 1994).

Los indicadores ambientales pueden ser considerados un aporte de la época posmoderna a la demanda creciente por disponer de información confiable, continua y comparable respecto al estado de la relación entre la sociedad y su entorno natural (MARIN, B. 2001).

Los indicadores ambientales proporcionan información oportuna, precisa y fiable acerca del ambiente y el desarrollo sustentable a la hora de tomar decisiones. Estos poseen el potencial de constituir importantes herramientas sustentadas científicamente y técnicamente (PNUMA. 1994).

Asimismo, los indicadores sirven para identificar aquellas fuerzas que contribuyen hacia el mejoramiento o la degradación de las condiciones económicas, sociales y ambientales, permitiendo establecer metas precisas de acciones futuras para que a su vez, los gobiernos y la sociedad civil evalúen avances en sus acciones. La importancia del desarrollo de indicadores radica en tres objetivos ambientales fundamentales que permiten alcanzar el desarrollo sustentable:

- Proteger la salud humana y el bienestar general de la población
- Garantizar el aprovechamiento sustentable de los recursos
- Conservar la integridad de los ecosistemas

Los indicadores ambientales:

- Se refieren siempre a problemas ambientales socialmente relevantes
- Deben comunicar y orientar la interpretación de un dato de tal modo que puedan ser útiles a los procesos de toma de decisiones.

En general, constituyen una buena base de consulta, completa y asequible, para un público amplio y no necesariamente experto.

## **ACCESO Y CALIDAD DE LOS DATOS**

Para poder realizar un análisis y seguimiento adecuados del estado del medio ambiente y de los procesos de desarrollo se requiere del acceso y disponibilidad de buenos datos ambientales y socioeconómicos.

Aunque el espectro de datos es amplio y variado bajo el concepto de desarrollo sostenible y dentro del marco conceptual definido en base a una aproximación administrativa y ecológica, la definición de temas y áreas prioritarias nos permite especificar y determinar los requerimientos en datos para el desarrollo de indicadores.

En general las instituciones se encuentran con una situación en donde la información no está accesible o las bases de datos no están aun consolidadas, dificultando el uso e intercambio de la información.

En la realidad existen mosaicos de datos que son recolectados independientemente por diversas agencias, institutos y organismos nacionales y regionales, que utilizan diferentes métodos, clasificaciones y normas para un variado rango de propósitos.

Generalmente los datos socioeconómicos son colectados con el objetivo de hacer una vigilancia estadística.

En el caso de los datos ambientales, estos son obtenidos en base de las estadísticas de los programas nacionales o regionales de monitoreo, incluyendo la interpretación en base a sensores remotos, con objetivos generalmente de inventario o sectoriales.

Sin embargo desde la perspectiva del seguimiento de los procesos de desarrollo y del estado del medio ambiente, además de los inventarios, de la aproximación sectorial y de considerar las dimensiones temporales y espaciales, se hace necesaria información sobre las interacciones entre los componentes económicos, sociales y ecológicos.

Estas limitaciones de datos e información se pueden resumir en relación con la cantidad y calidad, el acceso y distribución, la síntesis e integración y la comparabilidad.

La cantidad y calidad se refiere a la disponibilidad y confiabilidad de los datos e información.

El acceso y distribución se refiere a la facilidad de obtener los datos e información, y la síntesis e integración se relaciona con el análisis tanto de uno como del otro.

Finalmente la comparabilidad se refiere a la posibilidad de comparar las diferentes fuentes de los datos, las metodologías de elaboración de la información y los estándares de medida.

## **CRITERIOS BÁSICOS QUE DEBEN CUMPLIR**

En la bibliografía aparece un gran número de criterios que sirven para seleccionar los indicadores ambientales. A continuación se muestra una lista de los ocho criterios básicos que debe cumplir cualquier indicador.

*Validez científica:* Los indicadores deben estar basados en el conocimiento científico, siendo su significado claro e inequívoco.

*Disponibilidad y fiabilidad de los datos:* Los datos necesarios para el diseño de los indicadores deben ser accesibles y estar basados en estadísticas fiables.

*Representatividad:* Los indicadores deben estar fuertemente asociados a las propiedades que ellos mismos describen y argumentan.

*Sensibilidad a cambios:* El indicador debe responder a los cambios que se producen en el medio, reflejando las tendencias y posibilitando la predicción de situaciones futuras.

*Sencillez:* Los indicadores deben ser medibles y cuantificables con relativa facilidad. A su vez, tienen que ser claros, simples y específicos, facilitando su comprensión por no especialistas que vayan a hacer uso de los mismos.

*Relevancia y utilidad:* Los indicadores no sólo tienen que ser relevantes a nivel científico, sino también a nivel político, ya que deben ser útiles en la toma de decisiones.

*Comparabilidad:* La información que aporten los indicadores debe permitir la comparación a distintas escalas territoriales y temporales.

*Razonable relación coste/beneficio:* El coste de obtención de información debe estar compensado con la utilidad de la información obtenida.

## **INDICADORES DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS CONTINENTALES Y COSTERAS**

En los últimos años se ha venido trabajando en la elaboración de sistemas de indicadores de la calidad de las aguas continentales y costeras, considerando las características y los usos a que una y otra son sometidas (IDEAM. 2001).

El sistema de indicador o de indicadores de la calidad del agua, agrupa los parámetros más representativos dentro de un marco unificado, constituyéndose en una herramienta mediante la cual identificar el deterioro o mejora de la calidad de un cuerpo de agua.

En los últimos años se han desarrollado sistemas de indicadores de la Calidad de las Aguas, tanto continentales como marinas, denominándose en algunos casos ICA y en otros especificando que se tratan de aguas marinas, ICAM, como es el caso de Colombia.

Dicho sistema por lo general se construye, agrupando los parámetros más representativo, dentro de aquellos que respondan con mayor fiabilidad, sirviendo de instrumentos para identificar el deterioro o mejora de la calidad de un determinado cuerpo de agua.

## **INDICADORES DE CONTAMINACIÓN**

Los indicadores de contaminación calibran la calidad del ecosistema, o la condición del ambiente natural, a través de información que es monitoreada en cuerpos de agua, en cuencas atmosféricas o en suelo, y permiten identificar, dentro de un marco de calidad, el nivel de deterioro ambiental (TALLER INTERNACIONAL INDICADORES AMBIENTALES. 2002).

Los indicadores de contaminación y los bioindicadores son parámetros que permiten medir la calidad del ambiente en diferentes planos, tanto desde una perspectiva macro, como puede ser la calidad de un río o lago, como desde una perspectiva poblacional o de individuo. Asimismo, permiten monitorear el progreso de los programas de protección ambiental (CABELLI J. 1983).

## **INDICADORES EN COLOMBIA**

Los indicadores ambientales de Colombia, elaborados en forma preliminar por el Ideam, se sitúan dentro de la versión ampliada del modelo PER (presión-estado-respuesta), desarrollado por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD) e implementado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas para la construcción de indicadores ambientales y de sostenibilidad (1996).

En el caso de Colombia, su adaptación se realizó en 1998 a través del convenio entre el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y según los modelos desarrollados por el Ideam para el conocimiento de las relaciones hombre-naturaleza.

El Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), ha establecido una línea base para el seguimiento de los indicadores de desarrollo sostenible del decreto 1200 de 2004 (MAVDT 2006).

## **BIOINDICADORES**

Dentro de las estrategias de evaluación de la calidad ambiental no solo se utilizan los indicadores ambientales simples y sintéticos, sino también los indicadores biológicos (MARIN B. 2008).

Los métodos tradicionales de muestreos de aguas y sedimentos y el análisis de sus composiciones, han sido complementados por el empleo de indicadores biológicos, en gran medida por la confianza y ventaja que estos organismos presentan.

El empleo de bioindicadores es una técnica ecológica que se sustenta en la medición de la diversidad y presencia o ausencia de organismos específicos.

Los bioindicadores son medidas múltiples de la salud:

- a. de un organismo o
- b. de diversos niveles de organización biológica en múltiples escalas de tiempo de respuesta.

Los bioindicadores pueden tener un rango de respuesta desde el nivel biomolecular al poblacional y de comunidad.

Generalmente se usan para evaluar los efectos de estresores ambientales sobre la salud de los organismos dentro del proceso de Evaluación de Riesgo Ecológico.

Un contaminante o cualquier otro evento particular que perturbe las condiciones iniciales de un sistema acuático provocarán una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza. La acción puede ser indirecta (cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación) (MARIN B 2008).

Los efectos sobre la fauna acuática cuando es sometida a la descarga de una sustancia tóxica; a medida que transcurre el tiempo se pasa de respuestas individuales (bioquímicas y fisiológicas) a respuestas poblacionales, comunitarias y ecosistémicas.

Entonces un indicador biológico será aquel que logre soportar los efectos ocasionados por el elemento perturbante, es decir, que muestre algún tipo de respuesta compensatoria o tolerante. Estas respuestas significan para la especie mantener el funcionamiento normal a expensas de un gran gasto metabólico.

## **USOS DE BIOINDICADORES**

Los bioindicadores pueden ser utilizados en programas de monitoreo ambiental, por:

- Indicar niveles de biodisponibilidad de ciertos metales debido a la bioacumulación en sus cuerpos, e identificar nuevos contaminantes en los ambientes acuáticos.
- Alertar el posible daño inmediato que puede sufrir el ambiente debido a condiciones que en él existen. Su versatilidad y amplia variedad les permiten adaptarse a todo tipo de programas en los que se les requiera (previo estudio de su biología).
- Definir cambios temporales de la contaminación y establecer tendencias espaciales de ella.
- Proteger las pesquerías comerciales y otros aspectos biológicos de los ecosistemas o de la salud pública.
- Investigar los efectos e impactos ambientales específicos de proyectos diversos, sobre la salud humana u otros parámetros considerados.
- Estudiar las fuentes de origen, trayectorias de transporte y resumideros de contaminantes en el medio marino.

Entre los organismos que pueden ser usados como bioindicadores están los moluscos, insectos, anélidos hirudíneos, peces y el plancton, también es importante considerar la abundancia con que se les encuentra y la época del año.

## **VENTAJAS DEL USO DE BIOINDICADORES**

Las ventajas del uso de bioindicadores como herramienta para determinar la calidad del agua e implementar acciones sobre la recuperación son variadas:

1. La colecta y registro de información biológica puede realizarse por personas ajenas a la biología, ya que existen manuales que señalan métodos establecidos.
2. Las comunidades biológicas reflejan las condiciones del sistema (física, química, biológica y ecológica)
3. El biomonitoreo permanente de las comunidades resulta ser económico comparado con los análisis fisicoquímicos.
4. La información resultante puede expresarse por medio de Índices Bióticos que expresan la calidad del agua mediante escalas numéricas.

En conclusión, los indicadores de contaminación y los bioindicadores son parámetros que permiten medir la calidad del ambiente en diferentes planos, tanto desde una perspectiva macro, como puede ser la calidad de un río o lago, como desde una perspectiva poblacional o de individuo. Asimismo, permiten monitorear el progreso de los programas de protección ambiental.



# CONTAMINACIÓN QUÍMICA Y SANITARIA DE LAS AGUAS CONTINENTALES Y COSTERAS





El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que puede ser no útil para un determinado uso, sino más bien nociva.

De la bibliografía podemos señalar lo siguiente: por un lado, en general no hay información explícita encontrada, sobre lo que se puede entender como "agua natural" en el caso de aguas continentales, ya que puede decirse que el "agua natural" de una hoya hidrográfica, depende de su geomorfología y más precisamente de las características de los suelos que la componen, de tal manera que puede existir, y de hecho existen, por ejemplo, cuencas con aguas muy ricas en arsénico en condición natural, de la cual erradamente se puede calificar como "agua contaminada" (BARBA HO, 1989; OZMIDOV, R.V. 1990; ALLOWAY, B.J. 1993).

Cuando se descargan aguas negras en aguas no contaminadas, se produce un incremento del nutriente orgánico, pudiendo ser este transportado por las corrientes, y en caso de que los niveles de concentración se mantengan altos, producir la disminución de oxígeno disuelto, incluso hasta su desaparición.

Un factor importante a considerar en el momento de evaluar el impacto de contaminantes en la calidad de las aguas, son sus propiedades toxicológicas.

Según su toxicidad, las sustancias químicas se pueden clasificar como sustancias no tóxicas y en sustancias con toxicidad ligera, moderada o severa y de acuerdo a su persistencia pueden ser clasificadas como no persistentes, persistentes, algo persistentes y altamente persistentes.

## **1. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, SUBTERRÁNEAS Y COSTERAS**

La hidrosfera terrestre sufre continuamente impactos ambientales debido a la intervención humana, modificando así las características del medio acuático, que más tarde repercutirá en la salud y el bienestar de las personas, al igual que en la conservación de los ecosistemas, paisajes y procesos ecológicos (ALLOWAY, B.J. 1993; APUNTES-1).

Los efectos negativos de los impactos pueden evitarse, en muchos casos, con medidas de prevención y mecanismos legales, aunque esto dependerá de cada país, ya que son aquellos países que se encuentran en vías de desarrollo los que pueden sufrir efectos devastadores debido a la inexistencia de medidas.

### **CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES**

Se tiene información de que el 72% de los ríos, lago y arroyos del mundo están contaminados por vertidos urbanos e industriales, cuyas aguas son las transmisoras de la mitad de las infecciones contagiosas, provocando millones de muertes en países en vías de desarrollo, como ocurre en la India, donde las aguas residuales se vierten directamente al Ganges y otros ríos. La población usa esta misma agua para beber, cocinar, lavarse y realizar ceremonias sagradas, como echar al río las cenizas de los difuntos o sumergirse en un baño purificador. En consecuencia, algunas enfermedades transmitidas por el agua se extienden rápidamente (BARBA HO, 1989; GARZON-FERREIRA, J. 1998; KIELY, G. 1999).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la contaminación de las aguas dulces de la siguiente manera: *"Debe considerarse que un agua está contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilidades a las que se hubiera destinado en su estado natural"* (SALAS, H. 2000).

De acuerdo a la anterior definición, la contaminación debe considerarse tanto a las modificaciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, que pueden hacer perder a ésta su potabilidad para el consumo diario o su utilización para actividades domésticas, industriales, agrícolas, etc., y de igual forma a los cambios de temperatura provocados por emisiones de agua caliente (contaminación térmica).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido, también, los límites máximos para la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo humano (Tabla No. 12).

Tabla No. 12. Límites establecidos por la OMS para la presencia de sustancias nocivas en el agua para consumo humano.

Sustancias	Concentración Máxima
mg/L	
Sales totales	2000
Cloruros	600
Sulfatos	300
Nitratos	45
Nitritos	No debe haber
Amoniaco	0,5
Materia Orgánica	3
Calcio	80
Magnesio	50
Arsénico	0,05
Cadmio	0,01
Cianuros	0,05
Plomo	0,1
Mercurio	0,001
Selenio	0,01
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,0002
Biocidas	No hay datos

## CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN

De acuerdo a la Figura 9, sobre la contaminación de aguas fluviales pueden tener efecto las siguientes actividades o procesos (ALLOWAY, B.J. 1993; CARDENAS, F. 1999; ESCOBAR J, 2002; MONOGRAFIA-4):

- 1 Efecto de deforestación.
- 2 Erosión antrópica.
- 3 Construcción de embalses.
- 4 La canalización de ríos.
- 5 El relleno de zonas húmedas.
- 6 La agricultura tradicional.
- 7 El tratamiento individual de aguas servidas.
- 8 La agricultura industrializada.
- 9 El riego masivo.
- 10 Las aguas residuales industriales con o sin tratamiento.
- 11 Contaminación atmosférica debido a la actividad industrial.
- 12 Contaminación atmosférica debido a la actividad urbana.
- 13 Contaminación atmosférica debido a vehículos de combustión interna.
- 14 Las aguas residuales urbanas con o sin tratamiento.
- 15 La contaminación de aguas subterráneas por actividad urbana e industrial.
- 16 Las aguas residuales de actividades mineras con o sin tratamiento.
- 17 La contaminación de aguas subterráneas por actividad minera.
- 18 Las aguas residuales urbanas con o sin tratamiento de centrales nucleares.
- 19 La contaminación atmosférica de múltiples orígenes vía precipitación pluvial.
- 20 Eutrofización de lagos y embalses.
- 21 Eutrofización de ríos.

- 22 Aguas pluviales de las ciudades.
- 23 Accidentes en transporte de productos peligrosos.

Los números anteriores corresponden a los presentados en la Figura No. 8.

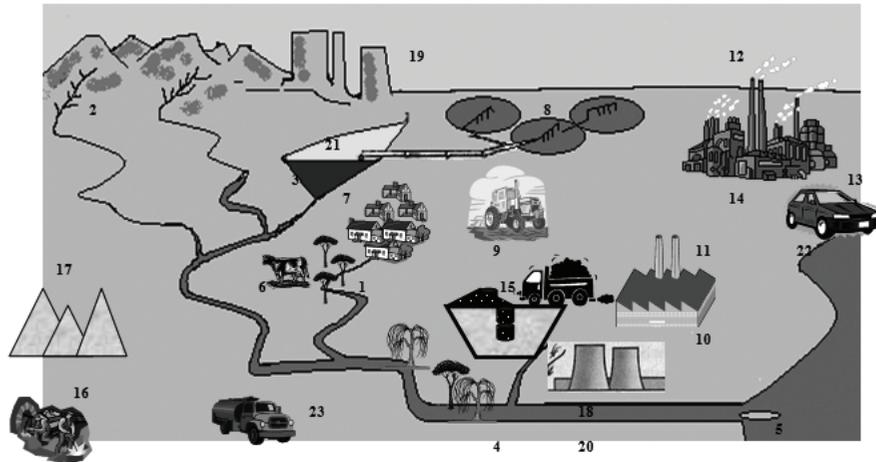


Figura No. 8. Representación de las actividades que influyen en la contaminación de aguas fluviales (Vargas Baecheler, Universidad de Concepción Chile)

A continuación se indican los vertidos que inciden en mayor medida en el deterioro de la calidad de las aguas.

*Vertidos de aguas residuales urbanas*, cuya composición será variada pero con gran cantidad de microorganismos, nutrientes, detergentes, etc. Estas aguas se diferencian en: domiciliarias (jabones, restos de cocina, grasas...), negras, procedentes de la defecación de las personas, de limpieza diaria y riego, y aguas de lluvia.

*Vertidos industriales*, generando aguas con residuos químicos, cianuros, álcalis que aumentan el pH, detergentes, así como también los vertidos de algunas industrias, como químicas o farmacéuticas los cuales pueden llegar a emitir metales pesados y materiales biológicos.

*Vertidos de las explotaciones ganaderas*, aportando estiércol y purines al agua, así como sólidos en suspensión, materia orgánica, nitrógeno y fósforo.

*Vertidos de aguas residuales agrícolas*, que llevan al agua abonos, plaguicidas y sales.

*Otros*, como explotaciones mineras que vierten compuestos tan destructivos como el cobre, cadmio y plomo, las presas y el uso de embarcaciones que alteran el plancton debido a la presencia de hidrocarburos.

#### CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y los "difusos" que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal (Figura No. 9).

Actividades que suelen provocar contaminación puntual son:

- Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Lixiviados de vertederos industriales, derrubios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.
- Pozos sépticos y acumulaciones de purines procedentes de las granjas.

Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarnos. La dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de forma muy importante en determinar en

que lugares los pozos tendrán agua contaminada y en cuales no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente subterránea aleja el contaminante de ese lugar, y al revés (ALLOWAY, B.J. 1993; APUNTES-1; MONOGRAFIA-4).

Por su parte la contaminación difusa suele estar dada por:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

La mencionada contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas.

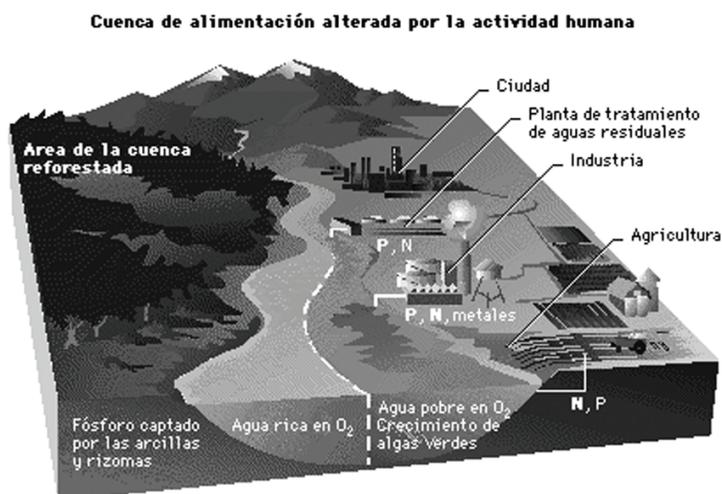


Figura No. 9. Fuentes puntuales y difusas de contaminación de las aguas subterráneas

## ALGUNOS ELEMENTOS QUE CONTAMINAN LAS AGUAS SUBTERRANEAS

**Arsénico.** El Arsénico (As) es un elemento común en las rocas de la corteza terrestre, en el suelo, en todas fuentes naturales de exposición, o pueden encontrarse en las aguas salobres profundas usadas para la producción de aceite y gas natural.

Fuentes ambientales de arsénico, son debidas al uso continuo de compuestos químicos y pesticidas, liberación intencionada en las actividades de minería para la extracción de oro y plomo y por la combustión de carbón con alto contenido de arsénico.

Las fuentes externas de arsénico son debido al uso continuado de compuestos y pesticidas, la liberación no intencionada en actividades de minería de oro y plomo y, por supuesto, a la combustión del carbón. Los efluentes industriales también contribuyen a la liberación de arsénico en el agua en ciertas áreas. Se piensa que el arsénico que se libera de manera natural se disuelve en ciertas formaciones rocosas cuando el nivel de agua subterránea cae significativamente. Los contaminantes superficiales de arsénico entran los sistemas de aguas subterráneas cuando se va moviendo con el flujo de las lluvias, derretimiento de nieve, etc. El agua potable, especialmente agua subterránea, es uno de las mayores fuentes de consumo de arsénico para la mayoría de las personas.

El arsénico inorgánico se produce en el ambiente de varias formas, pero en las aguas naturales, y por lo tanto en el agua potable, se encuentra mas frecuentemente como arsénico trivalente (As(III)) o arseniato pentavalente (As (V)).

Nitratos: Los niveles naturales de en las aguas subterráneas son generalmente muy bajas (típicamente menor de 10 mg/L  $\text{NO}_3$ ), pero los niveles de concentración de nitratos crecen a causa de las actividades humanas, como la agricultura, la industria, efluentes domésticos y emisiones de motores de combustión.

Los nitratos generalmente se mueven lentamente en el suelo y las aguas subterráneas: existe un lapso de tiempo de aproximadamente 20 años entre la actividad de contaminación y la detención de contaminantes en el subsuelo y aguas subterráneas.

Las fuentes de contaminación por nitratos en las aguas subterráneas son:

- Cultivos en áreas donde la capa de suelo es relativamente fina, o tiene poca capacidad de nutrientes o cuando existen cambios en los usos de las tierras;
- Exceso de fertilización de cultivos por actividades agrícolas intensivas;
- Extensión de cultivos que requieren altas dosis de fertilización debido a que el suelo es utilizado durante largos periodos (ejemplo: maíz, tabaco y verduras);
- Sistemas de drenaje que provocan el drenaje de fertilizantes;
- Ciclos de agricultura intensiva de rotación caracterizados por frecuentes arados y áreas extensivas de suelos desnudos durante los inviernos;
- Fertilizantes orgánicos para explotación de pastos;
- Aumento de la urbanización.

Hierro: en los suministros de aguas procedentes del subsuelo en zonas rurales es muy frecuente: los niveles de concentración van entre rangos de 0 a 50mg/L, mientras la OMS recomienda niveles de <0.3mg/L.

El hierro ocurre de manera natural en acuíferos pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja y provoca el destiño en las ropas lavadas, y además tienen un sabor desagradable, que se puede notar en el agua y en la cocina.

El hierro que es disuelto en las aguas subterráneas se reduce a su forma hierro II. Esta forma es soluble y normalmente no causa ningún problema por si misma. El hierro II se oxida a formas de hierro III que son hidróxidos insolubles en agua. Estos son compuestos rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de pantallas, bombas, tuberías y sistemas de recirculación, etc. La presencia de bacterias de hierro puede venir indicada por sustancias limosas corrosivas dentro de lugares de distribución, la reducción del flujo del agua, olor desagradable del agua bombeada del agujero, depósitos limosos y pegajosos que bloquean líneas de distribución principales y laterales, manchas en el pavimento, caída de paredes.

La eliminación de hierro biológico significa la eliminación del hierro de las aguas subterráneas dentro de filtros de aguas.

Mecanismos de contaminación de las aguas subterráneas

Es importante considerar la contaminación de aguas subterráneas como un fenómeno relativo, puesto que todos los acuíferos en mayor o menor grado están contaminados con alguna sustancia indeseable. Más aún, se debe considerar al subsuelo no solamente como una reserva para explotación, sino como un almacenamiento de aguas sobrantes y como medio purificador de las aguas, al infiltrarse a través de él.

Para evaluar el grado de contaminación de aguas subterráneas, se deben tener en cuenta, la ley de Darcy y la ley de conservación de la masa líquida en un medio poroso; a partir de las cuales se obtiene la ecuación de movimiento para flujo bidimensional y saturado, que permite establecer las condiciones del flujo del agua (o solvente, en el caso de la contaminación) en el medio. Además se requiere introducir la ecuación de dispersión hidrodinámica o de transporte de contaminante en el medio.

## **CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS COSTERAS**

De acuerdo al GESAMP (Group of Experts on the Scientifics Aspects of Marine Pollution), la definición de contaminación es: "Introducción por el hombre en el ambiente acuático de sustancias o energía que

puedan causar o causen, efectos dañinos o tóxicos que perjudiquen los recursos vivos, constituyan un peligro para la salud humana, obstaculicen las actividades marítimas, comprendida la pesca, menoscaben la calidad del agua y disminuyan los valores estéticos o de recreación", de tal forma, que lo que pueda causar es contaminación y lo que cause es polución, introduciendo el concepto de "capacidad asimilativa", que hace la diferencia entre ambos términos (PNUMA. 1995; PNUMA 1999; GARAY, J . 2004).

## **CONTAMINANTES DEL AGUA Y SUS EFECTOS**

El agua es contaminada por:

- Agentes patógenos. Bacterias, virus, protozoarios, parásitos provenientes de desechos orgánicos.
- Desechos que requieren oxígeno. Los desechos orgánicos pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua, matando así las formas de vida acuáticas.
- Sustancias químicas inorgánicas. Ácidos, compuestos de metales tóxicos (Mercurio, Plomo), envenenan el agua.
- Los nutrientes vegetales pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y de este modo causan la muerte de las especies marinas (zona muerta).
- Sustancias químicas orgánicas. Petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes que amenazan la vida.
- Sedimentos o materia suspendida. Partículas insolubles de suelo que enturbian el agua, y que son la mayor fuente de contaminación.
- Sustancias radiactivas que pueden causar defectos congénitos y cáncer.
- Calor. Ingresos de agua caliente que disminuyen el contenido de oxígeno y hace a los organismos acuáticos muy vulnerables.

La acumulación de contaminantes en los lagos, ríos y mares provoca diferentes efectos en sus características físicas, químicas y biológicas de diferente manera, en casos como los de partículas sedimentables, sus efectos de colores sus efectos son limitados o de pocas consecuencias y en otros casos como el cambio de temperatura o putrefacción de materia orgánica causa efectos dañinos transitorios pero severos. Dicha putrefacción produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la de la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno; DBO) que causa daños a la flora y la fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción.

La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO) que causa graves daños a la flora y fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción.

La contaminación provocada por las actividades del hombre y se le llama contaminación antropogénica

Entre los efectos nocivos para organismos, poblaciones y ecosistemas destacan los siguientes:

- Perjuicios a la salud humana (intoxicaciones, enfermedades infecciosas y crónicas, muerte)
- Daños a la flora y fauna (eutrofización, enfermedad y muerte).
- Alteraciones de ecosistemas (erosión, eutrofización, acumulación de compuestos dañinos persistentes, destrucción).
- Molestias estéticas (malos olores, sabores y apariencia desagradable).

## **CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA**

Contaminantes biológicos incluyen hongos, bacterias y virus, que provocan enfermedades (Tabla No. 13). Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua. Ciertas bacterias descomponen sustancias orgánicas.

Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación de los virus que se transportan en el agua es un trabajo muy difícil y costoso.

Tabla No. 13. Enfermedades relacionadas con el agua.

Forma de transmisión	Agentes infecciosos	Enfermedades
Empleo de agua contaminada para beber, lavarse o regar.	Las sustancias tóxicas o microorganismos patógenos presentes en el agua contaminada	Tifus, cólera, disentería y diarrea.
Los insectos que proliferan en las aguas estancadas.	Los gérmenes patógenos que se transmiten a través de la picadura de éstos insectos.	La malaria que transmiten los mosquitos del género Anopheles.
Consumo de animales asociados a zonas húmedas, como moluscos, crustáceos, etc.	Los parásitos que viven en el interior de éstos animales.	La esquistosomiasis transmitida a través de caracoles.
Empleo de aguas contaminadas con materias fecales, debido a la escasez de agua para los servicios sanitarios y de higiene personal.	Los organismos patógenos presentes en las aguas fecales, que ven facilitada su dispersión debido a una higiene deficiente.	Lepra, sarna y conjuntivitis. Lombrices intestinales, cuyos huevos se excretan con las heces.

## CONTAMINACIÓN ORGÁNICA

La contaminación orgánica incluye los excrementos, los papeles, los restos de comida y los residuos vegetales, que mediante la acción de las bacterias aerobias son eliminados por el proceso de la biodegradación. Los indicadores de contaminación orgánica que más se emplean como más adelante se indica, son la cantidad de oxígeno disuelto (OD), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO), el cual señala cantidad de oxígeno necesaria para oxidar los compuestos sin la intervención de organismos vivos.

## 2. FUENTES DE CONTAMINACIÓN

La introducción por el hombre en el medio ambiente acuático, de sustancias y energías productoras de efectos nocivos a los recursos vivientes, riesgos a la salud humana, obstáculos a las actividades acuáticas, incluida la pesca, deterioro de la calidad del agua de consumo y reducción de los medios de recreo, es resultado del aporte de contaminantes por diferentes fuentes (PNUMA. 1995; CANTER, L. 1988; PNUMA 1999; GARAY, J . 2004).

Para la caracterización de las fuentes de contaminación, es necesario:

1. El inventario y una evaluación cualitativa y cuantitativa de las principales fuentes de contaminación de origen terrestre y marítimo que afectan las zonas marino costeras.
2. La identificación, localización georeferenciación y descripción de las principales fuentes de origen doméstico, industriales, agroindustriales (abonos, fertilizantes y plaguicidas), mineras y residuos oleosos provenientes de los buques.
3. Establecer las vías de entrada de contaminantes y sus respectivas cargas:
  - a) Identificar las principales vías de entrada de los contaminantes al mar, como son los ríos, los cuales representan la conexión entre las fuentes generadoras de contaminación (cuencas hidrográficas) y las aguas marinos costera.
  - b) Estimar las cargas de contaminantes de las fuentes puntuales y difusas.

## FUENTES PUNTUALES Y NO PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías y alcantarillas. Ej: Fábricas, plantas de tratamiento de aguas negras, minas, pozos petroleros, etc (PNUMA. 1994; GLYNN, H. 1996).

Las fuentes no puntuales son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua sobre una región extensa. Ej: Vertimiento de sustancias químicas, tierras de cultivo, lotes para pastar ganado, construcciones, tanques sépticos (PNUMA. 1994; GLYNN, H. 1996).

Considerando la temporalidad de las descargas, cada tipo de fuente se puede clasificar, a su vez, en:

- a) Actual: Se considera Actual cuando la fuente de contaminación se encuentra presente durante la evaluación de las mismas, y afecta la calidad sanitaria del agua.

- b) Potencial: Se considera Potencial cuando la fuente de contaminación, aunque pueda encontrarse presente durante la evaluación, sólo extraordinariamente puede afectar la calidad sanitaria del agua.

## **FUENTES ANTROPOGÉNICAS (RAMÍREZ, G. 2006)**

- a) Aguas residuales (SALAS, A. 2003).
- Incluye las aguas crudas y/o tratadas de tipo doméstico, municipal, industrial, agrícola o pecuario.
  - Indicar el tipo de agua que se descarga (aguas grises, tratadas, etc.)
  - Para aguas de origen industrial, se debe cuantificar la cantidad promedio diaria de agua descargada, y describir el tipo de proceso en la cual fue utilizada.
  - Para aguas de actividades pecuarias (operaciones de granjas, procesadores de alimentos y de rastros), se debe hacer una evaluación del tipo y número de animales de granja.
  - Se deben evaluar todos los canales de desagüe que lleguen al área.
- b) Residuos Sólidos.
- Incluye los de origen doméstico, municipal, pesquero y/o industrial.
- c) Sanitarios
- Incluye letrinas, fosas sépticas y/o sanitarias ecológicas
- d) Asentamientos Humanos.
- Incluye poblaciones y/o campamentos pesqueros
- e) Marinas y/o muelles y/o áreas de embarque.
- Indicar el calado máximo que puede recibir la instalación.
  - Dar información sobre el manejo de las aguas de desecho o residuales de las embarcaciones.
  - Toda marina o muelle debe ser evaluada de acuerdo a lo establecido en la guía ambiental.

## **FUENTES NATURALES DE ALTERACIÓN DE LA CALIDAD (VILLEGAS, F. 1999).**

- a) Hidrología
- Incluye ríos y arroyos que vierten al cuerpo de agua.
- b) Fenómenos Naturales
- Referir información relacionada con eventos de marea roja, huracanes, tormentas tropicales, inundaciones y otros, que se hayan presentado (en el periodo de tiempo que abarca el estudio sanitario) en el área o sus alrededores y los efectos que pudieron provocar.
- c) Fauna
- Incluir información relacionada tanto con la fauna silvestre como la doméstica (incluyendo la presente por actividad pecuaria).
  - Se debe registrar el número estimado de aves acuáticas y mamíferos marinos observados en el área de cosecha o en el cuerpo de agua. También se deben notificar las poblaciones de otros tipos de animales silvestres que se considere puedan tener un impacto en la calidad del agua o producto.

Todas las fuentes de contaminación puntual y/o no puntual deben ser examinadas, y evaluar el impacto que tienen sobre la calidad del agua. Esta información deberá estar contenida en el estudio sanitario.

## **3. FACTORES QUÍMICOS QUE AFECTAN EL DESTINO Y TRANSPORTE DE LOS CONTAMINANTES**

A continuación se relacionan los factores de naturaleza química que podrían influir en el transporte del contaminante, algunos de ellos se discuten en los siguientes párrafos (ALLOWAY, B.J. 1993; MONOGRAFIA-1,3,4).

### **SOLUBILIDAD EN AGUA**

Los compuestos muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad a los suelos. Por lo tanto, son rápidamente transportados desde el suelo contaminado hasta los cuerpos de agua superficial y/o profunda. La solubilidad

también afecta la volatilidad desde el agua. Por ejemplo, los compuestos muy solubles en agua tienden a ser menos volátiles y también muy biodegradables.

### CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY (H)

Cuando la presión de vapor es alta con respecto a su solubilidad en agua, la constante de la ley de Henry también es alta y el compuesto preferentemente se evaporará en el aire (GLASSTONE S 1968). Un alto valor para la constante de la ley de Henry de un contaminante, podría sugerir que la inhalación sería la vía de exposición (Tabla No. 14).

Tabla No. 14. Rangos de la constante de la Ley de Henry

Volatilidad	Rangos del valor (atm m <sup>3</sup> /mol)
No volátil	Menor que 3 x 10 <sup>-7</sup>
Baja volatilidad	3 x 10 <sup>-7</sup> a 1 x 10 <sup>-5</sup>
Volatilidad moderada	10 <sup>-5</sup> a 1 x 10 <sup>-3</sup>
Alta volatilidad	Mayor que 1 x 10 <sup>-3</sup>

### COEFICIENTE DE PARTICIÓN DE CARBONO ORGÁNICO (Koc)

Coefficiente de partición del carbono orgánico (Koc): Medida de la tendencia de las sustancias orgánicas para ser absorbidas por el suelo y los sedimentos.

Se expresa como:  
(mg sustancia absorbida)/(kg carbono orgánico)

$Koc = (\text{mg sustancia disuelta})/(\text{litro de disolución})$ .

La Koc es específica de la sustancia y en gran medida independiente de las propiedades del suelo

Un "Koc" alto indica que el compuesto orgánico se fija con firmeza a la materia orgánica en el suelo, por lo que es arrastrada poca cantidad del compuesto a las aguas superficiales o acuíferos (Tabla No. 15). Un bajo "Koc" sugiere la posibilidad de que el compuesto pueda transportarse a los cuerpos de agua.

Tabla No 15. Rangos de Koc ((ml/g carbono orgánico)

Adsorción a suelo	Valores del coeficiente
Muy	< a 10
Débil	10 a 100
Moderada	100 a 1000
De moderada a fuerte	1000 a 10,000
Fuerte	10 mil a 100,000
Muy fuerte	> a 100,000

## **COEFICIENTE DE PARTICIÓN OCTANOL/AGUA (Kow)**

Los compuestos químicos con valores altos de "Kow" tienden a acumularse en las porciones lipídicas de los organismos y a concentrarse en suelos y sedimentos (compuestos con un "LogKow" > 3 ó > 1000). Además, esta clase de compuestos se pueden transferir a los humanos a través de la cadena alimentaria. Por el contrario, los compuestos con bajos "Kow" tienden a distribuirse en el agua o aire.

## **FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN (FBC)**

Este factor se determina dividiendo la concentración al equilibrio de un compuesto químico en un organismo o tejido (como el de un pescado) entre la concentración del mismo compuesto en un medio externo (como el agua donde habitaba dicho pescado). En general, los compuestos que tienen un alto valor de "Kow" tienen un alto FBC. Sin embargo, algunos compuestos como los hidrocarburos aromáticos no se acumulan en peces y vertebrados a pesar de su alto "Kow". Esto se debe a que los peces tienen la habilidad de metabolizar rápidamente dichos compuestos. Por otro lado, la biomagnificación es un concepto que se utiliza cuando un organismo en un nivel trófico superior es capaz de acumular mayor cantidad de contaminante que un organismo de la misma cadena alimentaria ubicado en un nivel trófico inferior.

## **VELOCIDAD DE TRANSFORMACIÓN Y DEGRADACIÓN**

Este factor toma en cuenta los cambios físicos, químicos y biológicos de un contaminante a través del tiempo. La transformación es influenciada por la hidrólisis, la oxidación, la fotólisis y la degradación microbiana. En tanto la biodegradación es la ruptura de compuestos orgánicos por la actividad biológica, la mayoría de las veces por actividad microbiana. Es difícil calcular con precisión las velocidades de transformación química y degradación. Su aplicación también se dificulta, ya que todo ello depende de variables físicas y biológicas específicas del sitio de estudio.

## **FACTORES DEL SITIO DE ESTUDIO QUE INFLUYEN EN EL DESTINO Y TRANSPORTE DE LOS CONTAMINANTES (ALLOWAY, B.J. 1993; MONOGRAFÍA-1,3,4)**

Cuando se están identificando las posibles rutas de transporte, el evaluador debe considerar también los factores específicos del sitio de estudio que pudieran influir en el transporte de los contaminantes. Cada sitio es único y debe ser evaluado a fin de determinar las características que podrían incrementar o disminuir la migración de los contaminantes de importancia. Muchos de los factores que afectan el transporte dependen de las condiciones climáticas y de las características físicas del sitio. Algunos de estos factores son discutidos en los siguientes párrafos.

### **ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ANUAL**

Este dato puede ser muy útil para determinar la cantidad de arrastre de suelo por corrientes superficiales, los promedios de recarga de acuífero y/o el contenido de humedad en suelos. Un alto índice anual de precipitación en un sitio contaminado con un compuesto muy hidrosoluble ocasionaría una importante migración. Además la precipitación es un fenómeno de atenuación para el aire, ya que remueve las partículas y vapores presentes de la atmósfera.

### **CONDICIONES DE TEMPERATURA**

Afectan el índice de volatilidad de los contaminantes. Además la temperatura terrestre también afecta el movimiento de los contaminantes; por ejemplo, una zona congelada retarda el movimiento.

### **VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS**

Influyen en el índice de generación de polvos fugitivos. Durante los periodos de estabilidad atmosférica, la sedimentación gravitacional actuará para depositar de nuevo las partículas o gotas suspendidas.

## **CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS**

Estas características pueden jugar un papel muy importante en la velocidad de las corrientes de agua, así como en el volumen y en el índice de arrastre de suelo por corrientes superficiales o por fenómenos de erosión. Los terrenos sobre piedras calizas pueden incrementar las conexiones hidrológicas entre cuerpos de agua superficiales y acuíferos.

Los tipos y la localización de acuíferos son importantes para determinar el peligro que el sitio representa para las fuentes de agua potable.

Los canales y sus crecidas cerca del sitio también pueden afectar la magnitud de la migración de los contaminantes.

## **CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

Se deben considerar los siguientes parámetros: configuración, composición, porosidad, permeabilidad, capacidad de intercambio catiónico y cubierta vegetal. Estos parámetros influyen en los índices de percolación, recarga de acuíferos, lixiviado de contaminantes y transporte. Para delimitar la zona contaminada, se necesita contar con la información de los niveles basales de metales, compuestos orgánicos y pH en suelos del área.

Flora y fauna: El hombre puede usar la flora y fauna como fuente alimenticia con lo cual se facilitaría la exposición humana.

Obras públicas: Las alcantarillas o los canales de drenaje pueden facilitar el movimiento de contaminantes. Asimismo un pozo mal construido puede causar contaminación entre acuíferos.

## **4. PRINCIPALES CONTAMINANTES, BACTERIOLÓGICA, COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (CO Ps; PETRÓLEO Y PLAGUICIDAS) Y METALES PESADOS**

### **MICROORGANISMOS**

Patógenos, son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua (SALAS, H. 2000; SALAS, A. 2003).

### **DESECHOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS**

El conjunto de residuos orgánicos son los producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Biológica de oxígeno) (ROLDAN, G. 1992; ALLOWAY, B.J. 1993; DQO. 2000).

Las sustancias químicas inorgánicas incluye ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua (MMA/PNUMA/UCR/CAR. GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY-GEF. 2000).

## **PETRÓLEO Y PLAGUICIDAS**

Muchas de las sustancias que llegan al agua de ríos, embalses y costas son Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs). Estos compuestos constituyen un peligro invisible y permanente para la biodiversidad del planeta. Determinados COPs, como los organoclorados, producen diversos efectos sobre la vida silvestre, desde la supresión de la fotosíntesis y del fitoplancton, hasta la depresión del sistema inmunológico y reproductivo de aves y mamíferos marinos, pasando por un aumento de la mortalidad y malformaciones en alevines de peces. Evidentemente, los COPs también afectan al ser humano (UNESCO, 1984; TEJADA, C.2003).

### **PETRÓLEO**

Los hidrocarburos contaminantes poseen toxicidad aguda, aunque varía de un compuesto a otro, pero en todos los casos tienen una acción sobre las funciones alimentarias o respiratorias de la flora y de la fauna bentónica y efectos sinérgicos para la acción tóxica de los compuestos organoclorados que son insolubles en agua, pero solubles en los productos petrolíferos (MARRUGO, A.J. 1999;).

El porcentaje vertido por accidentes es de alrededor de un 5% y, aunque en proporción no es la mayor fuente de contaminación, los desastres ambientales que originan son muy importantes, porque producen vertidos de masas de petróleo muy concentradas y forman manchas de gran extensión. En algunos accidentes se han llegado a derramar más de 400 000 toneladas, como en la rotura de una plataforma marina en el Golfo de México, en 1979.

### **PLAGUICIDAS**

La FAO/OMS define el término plaguicida como “cualquier sustancia o mezcla de ellas utilizada para prevenir o controlar plantas o animales indeseables e incluso aquellas otras destinadas a utilizarse como regulador del crecimiento de la planta, defoliante o desecante”.

Los pesticidas son sustancias químicas destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que puede administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otra plaga sobre sus cuerpos. Su uso en la agricultura hacen que no sean constituyente habitual de las aguas residuales urbanas (MMA/PNUMA/UCR/CAR. GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY-GEF. 2000).

Atendiendo a su estructura química existe una gran variedad, pudiéndose clasificar como:

1. Insecticidas y acaricidas:

- Organoclorados: Derivados ciclodienicos (aldrin, dieldrin, endosulfan, mirex), y otros derivados.
- Organofosforados
- Organosulfurados
- Carbamatos

2. Herbicidas:

- Inorgánicos (sulfamato amónico, boratos)
- Orgánicos: Aceites derivados del petróleo, derivados organoarsenicales (DSMA, MSMA)

3. Fungicidas

- Inorgánicos: Azufre, cobre, mercurio
- Orgánicos: Ditiocarbamatos

Los plaguicidas de primera generación (compuestos organoclorados), que presentan una elevada persistencia, acumulación y toxicidad han sido sustituidos por otros compuestos como son los organofosforados y carbamatos, que presentan la ventaja de una menor persistencia, no ocurriendo lo mismo con su toxicidad.

## DISPERSIÓN DE COMPUESTOS ORGANOCOLORADOS EN EL MEDIO AMBIENTE

El continuo incremento en el uso de compuestos orgánicos artificiales y su introducción en el medio ambiente hace importante el estudio de su dispersión y su efecto sobre los organismos. Entre estas sustancias existe un grupo de compuestos, los hidrocarburos aromáticos organoclorados, que son difíciles de degradar y que por la citada razón y su toxicidad son causa de gran preocupación; de acuerdo con su aplicación estos compuestos se pueden dividir en dos grupos, los utilizados como insecticidas, DDT, DDE, Dieldrin, etcétera y los denominados BPC's que son utilizados por la industria principalmente como plastificantes (BONILLA, J. 2000).

La mayoría de los plaguicidas químicos son sustancias de bajo peso molecular y poco solubles en agua (son más solubles los iónicos que los no iónicos, y más los catiónicos que los aniónicos).

Así pues, los compuestos organoclorados son poco solubles en agua debido a su carácter apolar, los organofosforados son, en general, más solubles y los herbicidas ácidos son los menos solubles.

La mencionada característica esta relacionada con: *Factores que influyen en la solubilidad y por tanto en el transporte de sustancias.*

Las dos características más importantes que controlan la migración de plaguicidas en aguas y suelos son:

- Su movilidad y persistencia.

Los plaguicidas deben ser suficientemente móviles como para alcanzar su objetivo y suficientemente persistentes como para eliminar el organismo

Más adelante se muestra la forma en que pueden los plaguicidas penetrar en el medio ambiente (Figura No. 10).

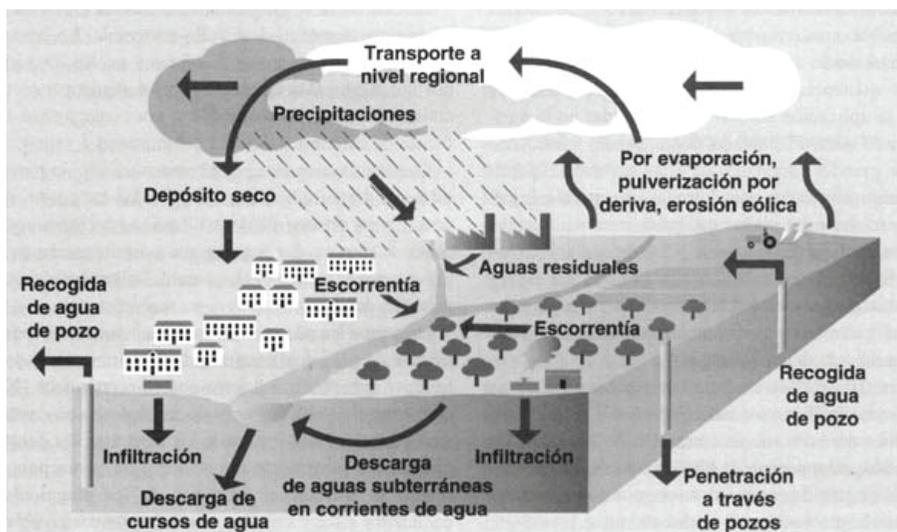


Figura No. 10. Modos de penetración de los plaguicidas en el medio ambiente

La presencia de estos compuestos en el medio ambiente marino, ha sido reportada en numerosos trabajos científicos, es de especial interés su dispersión en zonas estuarinas y costeras, donde se desarrollan numerosas especies de valor ecológico y comercial. Los organismos acuáticos pueden acumular los compuestos organoclorados directamente del agua y a través del alimento, donde estos compuestos están preconcentrados.

Actualmente existe la necesidad de establecer criterios de control de estos compuestos, reconociendo que dichos criterios son esenciales para el desarrollo de vigilancia en zonas costeras y estuarinas afectadas por la presencia de compuestos organoclorados.

Cuando los insecticidas organoclorados llegan al medio acuático, son rápidamente absorbidos por los sedimentos en suspensión, plancton, algas, invertebrados acuáticos, vegetación acuática y peces.

Las especies acuáticas son especialmente sensibles a este tipo de compuestos, el mecanismo a través del cual respiran muchas de ellas hace que grandes cantidades de agua sean filtradas a través de su organismo, debido a la baja polaridad de los compuestos organoclorados, éstos tienen muy poca solubilidad en agua y una alta solubilidad en los lípidos, por lo que son rápidamente removidos del agua por material biológico y concentrados en grasas y ceras llegando a acumularse altos niveles de estos compuestos en los organismos; otro mecanismo de ingestión de insecticidas de peces e invertebrados acuáticos es a través de alimentos contaminados.

La toxicidad de los plaguicidas organoclorados sobre las especies acuáticas es, por lo general, muy superior a la de los insecticidas fosforados, carbamatos y herbicidas, pudiendo considerarse alguno de ellos, como el aldrin, como veneno específico de los peces. Los peces son altamente susceptibles a la intoxicación por DDT, se ha encontrado que concentraciones de partes por billón de este compuesto en el agua generan alteraciones en la conducta, reproducción, y mortalidad en truchas. Los peces intoxicados muestran signos de problemas respiratorios (GARAY, J. 1993b)

## **METALES PESADOS**

Los metales están de forma natural en el medio ambiente, son aportados a los suelos y al ciclo hidrológico durante la erosión de rocas ígneas y metamórficas por la acción atmosférica física y química. Los metales de transición (Fe, Mn, Mo, Co....) se denominan también metales pesados debido a su densidad (ALLOWAY, B.J. 1993; GARAY, J. 2003).

El término “metales pesados” es ampliamente usado por científicos medioambientales, se incluye en esta definición a los metales que en la tabla periódica están en el rectángulo que forman Ti, Hf, As y Bi en sus esquinas, y además a dos elementos no metálicos: Se y Te.

En general la expresión “metales pesados” se usa cuando hay una connotación de toxicidad. Los metales pesados más comunes por sus efectos tóxicos y porque son fácilmente medibles en muestras marinas son plomo, cadmio, mercurio, arsénico, bario, zinc, cobre, hierro y manganeso.

De los elementos que integran los metales pesados, el hierro, cobre, cinc y molibdeno, son considerados metales esenciales para el organismo humano. El resto de metales no esenciales tienen efectos tóxicos sobre los organismos. De igual forma tienden a comportarse los metales esenciales cuando sobrepasan determinadas concentraciones (MARÍN B. 2005).

Formando parte del grupo de las sustancias esenciales se encuentran los oligoelementos entre los que se encuentran hierro, cobre, yodo, manganeso, selenio, zinc, cromo, cobalto, fluor, litio, níquel y silicio, considerados como los importantes. Estos elementos son necesarios para la vida de las personas. Intervienen en las funciones respiratoria, digestiva, neurovegetativa y muscular, como reguladores y equilibrantes.

El comportamiento ambiental de los metales pesados, reviste gran interés, pues a diferencia de otros contaminantes, como los Compuestos Orgánicos Persistentes, no son biodegradables y sufren un ciclo global. En aguas salinas esos metales, debido a la variación de la concentración de iones en el medio, se comportan de manera diferente a cuando están presentes en agua dulce, siendo más intensos los procesos químico-físicos en la medida que aumenta el efecto salino, lo cual trae consigo una serie de procesos, como la floculación y coprecipitación (PNUMA -PRODUCTOS QUÍMICOS. 2002).

Los metales pesados en el agua de mar se encuentran en forma de catión y reaccionan formando complejos pocos solubles, tales como: cloruros, carbonatos y sulfatos. De igual manera con la materia orgánica particulada. Dicha formación procede cuando la concentración de ligandos libres es superior a la concentración de los metales. El cromo es la excepción al estar presente como Cr (III), pues forma hidróxidos y limita la interacción con los ligandos orgánicos.

La presencia de trazas metálicas en sistemas acuáticos naturales, es originada por las interacciones entre el agua, sedimento y la atmósfera, con los cuales el agua está en contacto. Las concentraciones de metales pesados en el agua, fluctúa como resultado de las fuerzas hidrodinámicas, biológicas y químicas.

Los ríos constituyen las principales vías de transporte de los metales pesados hacia el medio marino, aunque las deposiciones atmosféricas en cierto grado, contribuyen en forma de partículas, hacia las cuencas lacustres y ríos. Una vez dentro del sistema, la distribución de ellos va a depender de varios procesos, tales como:

- Flocculación química
- Absorción y desorción de las partículas en suspensión
- Procesos biológicos de asimilación, bioturbación, bioacumulación, además de otros parámetros y condiciones fisicoquímicas, como son: pH, temperatura, contenido de oxígeno disuelto, salinidad, fuerza iónica y otras.

Las mayores fuentes que aportan metales al ambiente son:

- a) Fundición y minería,
- b) Materiales para la agricultura,
- c) Lodos de alcantarillado,
- d) Quema de combustible fósiles,
- e) Industrias metalúrgicas, química, manufactureras y otras,
- f) Actividades náuticas (caza y pesca) y
- g) Actividades militares.

Los metales pesados considerados como materiales tóxicos, por su efecto adverso sobre la salud, impactan las aguas marinas y costeras provenientes de diferentes fuentes: la industria, la agricultura, la minería y el transporte. Algunos elementos del denominado grupo de metales pesados, son considerados esenciales ya que cumplen funciones metabólicas importantes, pero existen otros menos benéficos para la salud. En este último grupo están comprendidos elementos como el Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Mercurio (Hg), entre otros. Por otra parte es conocido que varios elementos entre ellos el Zinc (Zn) y el cobre (Cu), son requeridos como nutrientes y en determinadas circunstancias actúan como contaminantes ambientales (MARIN B. 2001).

En cada región existe un régimen de lluvias que incide en los cambios de las variables fisicoquímicas; como la salinidad, pH y potencial redox entre otros. Estas variables tienen una marcada influencia en el comportamiento de los metales pesados.

Es importante conocer la solubilidad de los metales pesados en el agua de mar, para estimar la concentración de los metales disueltos, las rutas de la toma biológica de los metales por los organismos marinos, su bioacumulación y su toxicidad. La solubilidad de metales pesados en agua de mar está controlada por varios factores como pH, temperatura, salinidad, naturaleza de los aniones, etc.

En la tabla 16 se muestran las constantes de solubilidad de varias sales de elementos del grupo de metales pesados en agua de mar (ALLOWAY, B.J. 1993; MONOGRAFIA-1,3,4).

La reactividad de los elementos que conforman el grupo de los metales pesados y sus impactos en la vida acuática, varía en dependencia a la especiación del metal, en la que la forma química en que se encuentre tiene un papel preponderante:

- Fracción del metal intercambiable
- Enlace metal-carbonato
- Enlace (Fe y Mn)-(hidr)óxidos
- Enlace metal-materia orgánica

Tabla No. 16. Producto de Solubilidad de varios compuestos metálicos.

COMPUESTO METÁLICO	KSP A 25° C
CdCO <sub>3</sub>	6,18 x 10 <sup>-12</sup>
Cu <sub>2</sub> S	2,26 x 10 <sup>-48</sup>
CuS	1,27 x 10 <sup>-36</sup>
FeCO <sub>3</sub>	3,07 x 10 <sup>-11</sup>
Fe(OH) <sub>2</sub>	4,87 x 10 <sup>-17</sup>
FeS	1,59 x 10 <sup>-10</sup>
Fe(OH) <sub>3</sub>	2,64 x 10 <sup>-39</sup>
PbCO <sub>3</sub>	1,46 x 10 <sup>-13</sup>
PbSO <sub>4</sub>	1,82 x 10 <sup>-8</sup>
PbS	9,04 x 10 <sup>-29</sup>
MnCO <sub>3</sub>	2,24 x 10 <sup>-11</sup>
MnS	4,65 x 10 <sup>-14</sup>
Hg <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3,67 x 10 <sup>-17</sup>
Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7,99 x 10 <sup>-7</sup>
HgS	6,44 x 10 <sup>-53</sup>
NiCO <sub>3</sub>	1,42 x 10 <sup>-7</sup>
NiS	1,07 x 10 <sup>-21</sup>
Sn(OH) <sub>2</sub>	5,45 x 10 <sup>-27</sup>
SnS	3,25 x 10 <sup>-28</sup>
ZnCO <sub>3</sub>	1,19 x 10 <sup>-10</sup>
Zn(OH) <sub>2</sub>	6,86 x 10 <sup>-17</sup>
ZnS	2,93 x 10 <sup>-25</sup>

En los ecosistemas acuáticos los metales pesados se presentan en diferentes formas, pero únicamente una fracción de su concentración total, esta parcialmente disponible para los organismos. Esta fracción depende de sus propiedades bioquímicas, características fisicoquímicas del medio, comportamiento fisiológico y estrategias de acumulación del organismo.

En estudios realizados se han evidenciado divergencias en el comportamiento y distribución de los metales pesados entre un estuario y otro, asumiéndose que eso esta en función de las condiciones hidrodinámicas del estuario, de la granulometría, niveles de carbonato de calcio, composición mineralógica y contenido de materia orgánica en el sedimento.

Los sedimentos acuáticos están formados por diferentes fases geoquímicas que actúan como reservorios de diferentes tipos de compuestos, incluyendo los metales trazas. Los metales también se asocian a material orgánico descompuesto o en proceso de descomposición, la materia orgánica forma complejos con los óxidos de hierro y manganeso, con las arcillas, etc.

En 1974 fue adoptada la “Convención de París” sobre prevención de la contaminación del medio marino, donde los metales fueron asignados a dos tipos de listas: “la negra” y “la gris”, las cuales fueron aceptadas por la Comunidad Económica Europea (CCE) y catalogados como potencialmente tóxicos al tener en cuenta que pueden llegar al medio acuático a través de efluentes industriales.

- La llamada lista negra, incluye todas aquellas sustancias, que por su persistencia, toxicidad o facilidad para bioacumularse sean tan peligrosas, que no puedan ser introducidas en ningún sistema. Dentro de estos se incluyen los compuestos organohalogenados, sustancias que contienen mercurio y cadmio, entre otros.

- La lista gris, incluye sustancias que pueden ser descargadas en el medio acuático, pero con extremas medidas de seguridad; para este caso tenemos: los compuestos organofosforados, compuestos de zinc, hidrocarburos, compuestos de arsénico, cromo, cobre y níquel. Elementos como el Fe y el Mn, no aparecen en ninguna de las listas, debido a que son consideradas elementos mayores, sus formas oxido-hidróxido actúan como eficientes transportadores de metales pesados, por tanto pueden influenciar su partición y concentración tanto en la fase acuosa como sedimentaria.

Atendiendo a la contaminación que causan en el medio ambiente, existen diferentes factores que influyen en la toxicidad de los metales pesados, siendo clasificados como sigue:

- No tóxicos (Fe, Mn, Al)
- Tóxicos pero insolubles o muy raros (Ti, Os, W)
- Muy tóxicos y accesibles (Co, Cr, Pb, Hg, Cd)

Para que los metales pesados produzcan efectos tóxicos agudos, se necesitan dosis muy elevadas, aun para los más tóxicos, sin embargo su importancia ambiental se debe a la toxicidad crónica que puede ocurrir después de una larga exposición a dosis relativamente pequeñas, las cuales para varios metales son dependientes de la acumulación progresiva dentro del organismo ((PNUMA. 1995; PNUMA 1999; MARIN B, 2001; GARAY, J . 2004; ).

En la Tabla No. 17 se muestran los principales contaminantes y procesos que afectan negativamente la calidad del agua.

Tabla No. 17. Contaminantes y procesos que afectan la calidad del agua.

CONTAMINANTES Y PROCESOS	DESCRIPCIÓN	FUENTES
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (E. coli, protistos, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como químicos disruptores endocrinos, cianotoxinas, compuestos órgano estánicos de pinturas antinscrustantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Químicos traza y compuestos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos.	Industria química y farmacia.

## 5. ESTRATEGIAS PARA COMBATIR LA CONTAMINACIÓN

- Estudio de las repercusiones de la actividad humana. Identificación y estimación de las presiones, evaluación de los impactos.
- Protección de aguas potables y otras zonas protegidas. Registro de zonas protegidas y control y protección de las masas de agua utilizadas para la captación de agua potable.
- Programas de vigilancia y control. Se establecerán programas de seguimiento del estado de las aguas.
- Enfoque combinado para el control de vertidos.
- Programa de medidas básicas y complementarias.

## 6. MEDIDORES DE MATERIA ORGÁNICA: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO), DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO), DEMANDA DE OXÍGENO Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

### PARÁMETROS MEDIDORES DE MATERIA ORGÁNICA

Reciben la denominación de parámetros sustitutos pues abarcan muchos compuestos, son medidas globales de la materia orgánica. Se basan en la cantidad de oxígeno necesario para descomponer u oxidar los compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, 40-60%, hidratos de carbono, 25-50%, y grasas y aceites, 10%. (APHA, 1989; BARBA HO. 1989; BAIRD, C. 2001; MONOGRAFIA-1,3,4).

Para poder evaluar el daño que pueden llegar a producir las aguas residuales, se emplean diversas técnicas. Para aguas negras, que tienen una composición más o menos constante, se emplea la cantidad de carbono presente en las mismas, ya sea directamente, midiendo el carbono orgánico total, COT, o TOC en inglés, o indirectamente, midiendo la capacidad reductora del carbono existente en dichas aguas. Estas últimas son la Demanda Química de Oxígeno, DQO, y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO. Así, con estas técnicas podemos determinar la cantidad de materia orgánica putrescibles que están en el agua contaminada. En principio, entre ellas, no hay relación en cuanto a los resultados, ya que los efectos que se producen en el agua varían al aplicar cada técnica, de unas aguas contaminadas a otras. Para el mismo fin se emplea a veces otro parámetro, la Oxidabilidad al Permanganato.

Las técnicas basadas en el consumo de oxígeno son la demanda química de oxígeno, DQO, la demanda bioquímica del oxígeno (DBO) y el carbono orgánico total, COT o TOC.

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (unas  $\frac{3}{4}$  partes de la DBO total): es el parámetro que se utiliza para tener una medida de la materia orgánica biodegradable. Se define como la cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición biológica aeróbica de la materia orgánica biodegradable contenida en el agua (DBO 2000). Se calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua, después de incubar una muestra durante 5 días a 20°C. La reacción se lleva a cabo en la oscuridad para evitar la producción de oxígeno por las algas, a dilución adecuada y manteniendo el pH entre 7-7,5.

Las aguas industriales deben sembrarse con microorganismos. En estas condiciones de reacción en 5 días se degrada un 60-70% de la materia orgánica carbonada, la nitrificación del amoníaco producido por las proteínas comienza entre los 6 y 10 días.

Valores elevados de DBO5 indican una alta concentración de materia orgánica biodegradable (Tabla 18).

Tabla No. 18. Valores de DBO5 indican la calidad de las aguas.

Aguas muy puras  $DBO_5 < 3$  ppm  $O_2$   
Pureza intermedia  $DBO_5$  3-5 ppm  $O_2$   
Agua contaminada  $DBO_5 > 8$  ppm  $O_2$   
Residuales urbanas  $DBO_5$  100-400 ppm  $O_2$   
Industria alimentaria o semejante  $DBO_5$  hasta 10000 ppm  $O_2$

El test de la DBO fue propuesto por el hecho de que en Inglaterra ningún curso de agua demora más de 5 días en desaguar (desde nacimiento a desembocadura). Así la DBO es la demanda máxima de oxígeno que podrá ser necesario para un curso de agua inglés (DBO 2000).

La principal molestia que resulta de las condiciones experimentales, es el contenido inicial en  $O_2$ , limitado por su solubilidad en el agua de 9.17 mg/L a 20° C. Esto significa que será imposible de medir los consumos de oxígeno que exceden de este valor sin pasar por una dilución previa, de ahí el nombre "Por dilución".

Para efectuar las determinaciones de DBO, hace falta un material muy simple: recipientes individuales, tipo erlenmeyers con cuello esmerilado, para asegurar un cierre hermético, siendo, en este sentido, el más cómodo el pontenciométrico, utilizando el electrodo.

A fin de asegurar la asimilación de la materia orgánica, se debe vigilar que el medio no esté desprovisto de oligo-elementos (Mg -Ca- Fe) ni de nutrientes nitrogenados y fosforados (sales de amonio y fosfatos). En definitiva, el hecho de que la muestra sea sembrada con una población de microorganismos que contengan gérmenes aerobios. De todos los factores, dada la naturaleza y la concentración de este inóculo, es éste el más difícil de normalizar (BARBA HO, 1989; GRENBERG, A. 1998).

No obstante, los criterios exigidos para la elección del inóculo, son: necesidad de una población heterogénea, compuesta por gérmenes variables que puedan alternativamente asimilar los productos orgánicos muy diversificados, susceptibles de presentarse en las aguas a analizar, posibilidad de conseguir un inóculo de composición relativamente constante en el tiempo, a fin de asegurar la reducibilidad de los resultados.

Atendiendo a que estos criterios son muy difíciles de respetar, se estima que las poblaciones microbianas pueden obtenerse de: colectores principales de cloacas, de un agua de río, hasta de una muestra de mantillo podrido.

La normalización del test de la  $DBO_5$  prevé también los componentes de los nutrientes, en agua que sirve para la dilución y al inóculo y describe en detalle las operaciones a efectuar así como también los cálculos para obtener los valores de la  $DBO_5$ .

Para el cálculo de la  $DBO_5$ , es necesario efectuar una conexión por la introducción de eventuales sustancias orgánicas consumidoras de oxígeno y provenientes del inóculo y sobre todo, de la respiración endógena del mismo, es decir, del consumo del oxígeno necesario para mantener la viabilidad de las células en ausencia de alimentos externos y que se traduce por la combustión de las reservas intracelulares. También es necesario introducir un testigo que contenga las mismas sustancias que la muestra, excepto el agua contaminada.

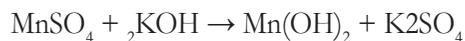
El hecho de no conocer en forma anticipada el consumo de la muestra en oxígeno, obliga a efectuar múltiples diluciones por medio de las cuales se podrá determinar aquella que corresponda a un consumo de  $O_2$  de 40 a 60% de la cantidad de oxígeno saturante (9,17 mg% a 20°C). También una estimación previa y sumaria de las  $DBO_5$  es de gran utilidad, ya que ello permite reducir el número de diluciones para una misma muestra.

Esta estimación puede efectuarse sobre la base de una determinación química de la DQO, que traduce la cantidad necesaria de  $O_2$  para la oxidación química de la materia orgánica en  $CO_2$  y  $H_2O$ .

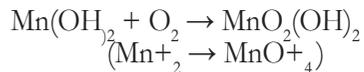
## **MECANISMO DE LA DBO**

El conocimiento de la cinética del consumo de oxígeno en un frasco de DBO, nos enseña cuando en detalle se hace un análisis detallado del mismo:

1. El sulfato manganoso agregado a una muestra con el hidróxido potasio (integrante de una solución fuertemente alcalina de ioduro potasio) reacciona produciendo un precipitado floculento de hidróxido manganoso.



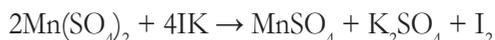
2. Si el precipitado permanece blanco, se debe a que no contiene oxígeno disuelto (OD). Si el precipitado es pardo oscuro, señala la existencia de OD que ha reaccionado con el hidróxido manganoso, oxidándolo.



3. Agregando ácido sulfúrico hasta que el precipitado se disuelva, formándose sulfato mangánico.



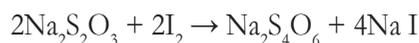
4. Reacciona inmediatamente este sulfato, fuertemente oxidante con el yoduro de potasio, presente en la solución según 1) fuertemente reductor, liberándose yodo, que da color característico a la muestra.



Como se ve, el yodo liberado es equivalente a la masa de oxígeno presente en la muestra, de donde:

$$\begin{array}{l} 8 \text{ g de O}_2 = 127 \text{ g de I} \\ 1 \text{ eq O} = 1 \text{ eq I} \end{array}$$

5. El yodo liberado se titula con una solución valorada de biosulfato de sodio, en presencia de engrudo de almidón como indicador.



de donde:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol de Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ----- } 1 \text{ mol de I} \\ 248,2 \text{ g ----- } 127 \text{ g} \end{array}$$

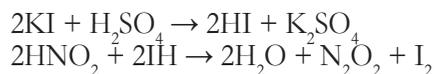
La solución de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  se prepara de manera que un ml. equivale a 0,2 mg de  $\text{O}_2$ , de donde:

$$N = \frac{0,2 \text{ mg/L}}{8 \text{ mg}} = 0,025 \text{ N.}$$

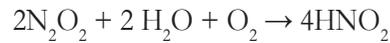
1mL de una solución 0,025 N de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , equivale a 0,2 mg.de  $\text{O}_2$ .

Este resultado permite interpretar como, a través de la valoración del  $\text{I}_2$  con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , se está determinando el oxígeno disuelto en la muestra.

Si en la muestra se encuentra nitritos, al acidular la muestra con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ésta reacciona con el KI liberando I, que al ser titulado con el  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  aparecerá como Oxígeno Disuelto (OD).

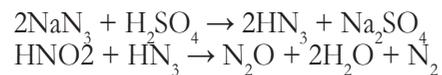


Si la reacción terminara aquí, el error con bajos contenidos de nitritos en la muestra sería poco significativo, pero la muestra expuesta al aire disuelve oxígeno que reacciona con el  $N_2O_2$ , produciendo otra vez  $NO_2$  que sigue liberando más iodo.



Por eso el error se disminuye valorando de inmediato y rápidamente la muestra a fin de que el ciclo se repita la menor cantidad de veces.

Si se agrega acida sódica que se incorpora a la solución alcalina de yoduros, se elimina la acción de los nitritos.



En la modificación de Rideal - Steward, los nitritos, el hierro y la materia orgánica se eliminan oxidando la muestra con  $K_2MnO_4$ , y el exceso se destruye con oxálico. Este no debe ser excesivo pues induce a error en el resultado final.

De lo expuesto se reafirma que la DBO cuantifica el valor de la contaminación de un efluente ya que mide el consumo de oxígeno por parte de las bacterias aerobias para su desarrollo utilizando la materia orgánica como alimento. Las reacciones de oxidación, mediante las cuales las bacterias degradan la materia orgánica a medida que la asimilan, transformando dicha materia orgánica en mineral, con lo cual el C y N de la materia carbonosa y de las proteicas, tienden a pasar a  $CO_2$  y a nitratos.

El período requerido para la oxidación biológica completa es teóricamente muy grande, pero a los efectos prácticos la oxidación se considera completa en 20 días. Bien es cierto que la velocidad inicial del proceso es muy grande por eso se considera suficiente 5 días, aclarando que la misma no es total sino parcial y representa del 70 al 80% de la demanda total.

## DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La Demanda Química de Oxígeno, DQO, es la cantidad de oxígeno en mg/L consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato potásico. Entre las ventajas sobre la medida de DBO, cabe destacar el tiempo considerablemente inferior del análisis (3 h). Tal y como se ha mencionado, el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En dicho ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse.

La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (APHA, 1989; CARDENAS, F. 1999; GARAY, J. 2003).

Mide la cantidad de materia orgánica total susceptible de oxidación química (bio y no biodegradable). En esta medida se sustituyen los microorganismos por un poderoso agente químico como el dicromato o el permanganato de potasio en medio ácido.

La oxidabilidad al permanganato es otra característica del agua a tener en cuenta.

El agua se trata con permanganato potásico,  $KMnO_4$ , que oxida a las sustancias de origen orgánico del agua. Después se determina la cantidad de permanganato. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

## DEMANDA DE OXÍGENO

La demanda de oxígeno de un agua residual es la cantidad de oxígeno que es consumido por las sustancias contaminantes que están en esa agua durante un cierto tiempo, ya sean sustancias contaminantes orgánicas o inorgánicas.

## SUSTANCIAS EXTRAÍBLES AL CLOROFORMO (SEC)

Determina la cantidad existente de ciertas sustancias orgánicas que pueden encontrarse en solución o pseudosolución en el agua.

## CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

Para medir el TOC o COT, Carbono Orgánico Total, se emplean aparatos que usan la oxidación en fase gaseosa. Se inyecta una cantidad conocida de muestra en un horno de alta temperatura. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, la producción de la cual se mide cuantitativamente con un analizador de infrarrojos. La aireación y la acidificación de la muestra antes del análisis eliminan los posibles errores debidos a la presencia de carbono inorgánico. Si se conoce la presencia de compuestos orgánicos volátiles en la muestra, se suprime la aireación para evitar su separación. La prueba puede realizarse en muy poco tiempo, y su uso se está extendiendo muy rápidamente. No obstante, algunos compuestos orgánicos presentes pueden no oxidarse, lo cual conducirá a valores medidos del COT ligeramente inferiores a las cantidades realmente presentes en la muestra.

## CONSIDERACIONES ACERCA DE LA DBO Y DQO

Teniendo en cuenta los argumentos antes expuestos, se debe remarcar que la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos es una medida por defecto de la cantidad de materia carbonada tomada de la solución. Una parte no despreciable de esta materia, ha sido en parte efectivamente sustraída de la solución y transformada en materia constitutiva de las células nuevas formadas y su oxidación es momentáneamente suspendida. La masa celular formada, representa, en efecto, una polución potencial y la medida de esta masa es importante ya que se transformará en materia orgánica a la muerte de estas células. Por otra parte, esta masa celular continuará consumiendo oxígeno hasta su muerte, para su supervivencia: respiración endógena sobre las reservas celulares acumuladas mientras la alimentación sea abundante (DBO 2000; MONOGRAFIA-1,3,4).

Queda definido que el valor de la DBO, representa una fracción de sustancia carbonada completamente degradada en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , a través de las vías catabólicas y el canal respiratorio.

Es evidente, que la DBO no puede representar la carga contaminante total, dado que ciertas moléculas pueden ser difíciles o imposible de ser asimiladas por los microorganismos utilizados o porque el tiempo de incubación ha sido insuficiente y no ha podido cumplirse la oxidación total aún cuando la carga contaminante sea esencialmente asimilable

Es por ello, que toda expresión de DBO debe ir acompañada de una determinación de DQO (expresada igualmente en mg/L de  $\text{O}_2$ ) y que representa la cantidad de  $\text{O}_2$  necesario para oxidar la materia orgánica disuelta en la fase líquida. Este valor expresa el equivalente oxígeno la cantidad de materia orgánica presente. Su comparación con el valor de la DBO, es muy ventajoso en la estimación de la biodegradabilidad.

A modo de ejemplo: una solución con un valor bajo de DBO en relación a la DQO, será considerado como no biodegradable, en cambio si el valor es cercano a la DQO, podrá considerarse como perfectamente biodegradable.

Es prácticamente imposible que el valor de la DBO pueda superar al de la DQO por las razones antes mencionadas.

De manera que se ha establecido que:

$\text{DBO}/\text{DQO} = \frac{1}{2}$  denota un grado satisfactorio de biodegradabilidad

DBO/DQO < 1/2 indica presencia de sustancias tóxicas que retardan o inhiben la biodegradabilidad (cianuros, cloro, etc.) aún en presencia de sustancias carbonadas, resistentes ellas mismas a la descomposición biológica.

Pero siempre se deberá cumplir que la relación DQO/DBO será mayor que 1.

Las numerosas causas de error, hacen de la DBO un método poco preciso. La causa principal es su carácter de test biológico. Las causas de error provienen de que errores de lectura en el instrumento utilizado, son amplificados por la dilución. Ciertas normas, recomiendan no usar DBO en aquellas aguas que necesitan una dilución superior a 1.000 veces. Es frecuente en las aguas provenientes de la industria alimentaria, encontrar valores que pueden llegar a 40.000 mg/L.

Las pruebas de DBO se aplica para calcular el efecto que producen los efluentes domésticos o industriales, sobre el contenido de oxígeno en los cuerpos de agua receptoras y evaluar su capacidad para asimilar descargas.

Los datos de DBO son usados como criterios de ingeniería en proyectos, así como en el control de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Se han desarrollado diversas técnicas para la determinación de DBO, una de ellas utiliza el método Winkler, otros electrodos de membrana sensibles al oxígeno



# COMPUESTOS INORGÁNICOS





En el agua pueden estar presentes sustancias inorgánicas, como el cloruro sódico que saliniza el agua, y los carbonatos de calcio que causan dureza al agua. Si el contenido en sales es abundante, son las llamadas aguas duras, si es insignificante entonces serán denominadas aguas blandas. También se encuentran otro grupo de sustancias químicas especiales, como los metales pesados (mercurio, plomo, cobalto...), cuyas propiedades y dependiendo de sus niveles de concentración, pueden causar efectos nocivos para la salud humana y ambiental (MONOGRAFIA-1,3,4; GLYNN, H. 1996).

## 1. SULFATOS

El sulfato ( $\text{SO}_4$ ) se encuentra en casi todas las aguas naturales. La mayor parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos, y la existencia de residuos industriales. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia (<http://www.lenntech.com/español/sulfatos.htm#>).

Una alta concentración de sulfato en agua potable tiene un efecto laxativo cuando se combina con calcio y magnesio, los dos componentes más comunes de la dureza del agua.

Las bacterias, que atacan y reducen los sulfatos, hacen que se forme sulfuro de hidrógeno gas ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

El nivel máximo de sulfato sugerido por la organización Mundial de la Salud (OMS) en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, establecidas en Génova, 1993, es de 500 mg/L. Las directrices de la Unión Europea son más recientes, 1998, completas y estrictas que las de la OMS, sugiriendo un máximo de 250 mg/L de sulfato en el agua destinada al consumo humano (GRAY, N.F. 1996).

Al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas.

Algunos minerales que contienen sulfato incluyen el sulfato de magnesio (sal de Epsom), sulfato de sodio (sal de Glauber), y el sulfato de calcio (yeso) (Figura No. 11).

Las personas que no están acostumbradas a beber agua con niveles elevados de sulfato pueden experimentar diarrea y deshidratación. Los niños son a menudo más sensibles al sulfato que los adultos. Como precaución, aguas con un nivel de sulfatos superior a 400 mg/L no deben ser usadas en la preparación de alimentos para niños. Niños mayores y adultos se acostumbran a los niveles altos de sulfato después de unos días.



Sulfato de magnesio  
(sal de Epsom)



Sulfato de sodio  
(sal de Glauber)



Sulfato de calcio  
(sal de yeso)

Figura No. 11. Diferentes compuestos de sulfato.

Los animales también son sensibles a altos niveles de sulfato. En animales jóvenes, altos niveles pueden estar asociados con diarrea crónica y grave, y en algunos casos, la muerte. Como ocurre en los humanos, los animales tienden a acostumbrarse al sulfato con el tiempo. Diluir agua de alta concentración de sulfatos con agua de baja concentración de sulfatos puede ayudar a evitar problemas de diarrea y deshidratación en animales jóvenes y animales no acostumbrados a beber agua con muchos sulfatos. La proporción de agua de elevada concentración de sulfatos/agua de baja concentración de sulfatos puede incrementarse gradualmente hasta que los animales puedan tolerar el agua de elevada concentración de sulfato ((MONOGRAFIA-1,3,4; GLYNN, H. 1996).

Si el sulfato en el agua supera los 250 mg/L, un sabor amargo o medicinal puede hacer que sea desagradable beber esa agua.

Los altos niveles de sulfato pueden también corroer tuberías, particularmente las de cobre. En áreas con altos niveles de sulfato, normalmente se utilizan materiales más resistentes a la corrosión para las tuberías, tales como tubos de plástico.

### **ELIMINACIÓN DE LOS SULFATOS**

Tres tipos de sistemas de tratamiento pueden eliminar el sulfato del agua potable: ósmosis inversa, destilación, o intercambio iónico. Los ablandadores del agua, los filtros de carbón, y los filtros de sedimentación no eliminan el sulfato (METCALF E 1995). Los ablandadores del agua simplemente cambian el sulfato de calcio o de magnesio por el sulfato de sodio, que es algo más laxante.

La ósmosis inversa (RO) es un sistema de tratamiento de agua que elimina la mayor parte de las sustancias disueltas en el agua, tales como el sulfato, forzándola a través de una hoja de plástico parecida al celofán conocida como "membrana semipermeable. Esto puede quitar típicamente entre el 93 y el 99 por ciento del sulfato en el agua potable según el tipo de equipo de ósmosis. Un pequeño equipo de RO producirá aproximadamente 12 litros de agua por día (<http://www.lenntech.com/español/sulfatos.htm#>).

La destilación es un sistema de tratamiento de agua que consiste en hervir el agua, y luego enfriar el vapor hasta que condensa en un contenedor separado.

Las sustancias disueltas, como el sulfato, permanecen en la olla de agua hirviendo. Con un funcionamiento adecuado, los equipos de destilación pueden eliminar casi el 100% del sulfato. Los equipos de destilación tardan aproximadamente cuatro horas en producir 3,8 litros de agua, así que este tipo de tratamiento consume una cantidad considerable de energía en su funcionamiento.

El intercambio iónico es el método más usado para eliminar grandes cantidades de sulfato del agua para suministros comerciales, ganaderos y públicos, pero normalmente no se usa el tratamiento de agua en casas particulares. Es un proceso donde un elemento o producto químico es sustituido por otro. Muchas personas están familiarizadas con el ablandamiento de agua, un tipo común de sistema de intercambio iónico. El ablandamiento de agua se realiza pasando agua dura –agua con calcio y magnesio- a través de un tanque relleno con una resina especial saturada con iones de sodio.

Los minerales responsables de la dureza se pegan a la resina, y el sodio es disuelto en el agua. Los sistemas de intercambio iónico para el retiro del sulfato trabajan de manera similar, pero usan un tipo diferente de resina. Los iones sulfato en el agua se intercambian con otros iones, por lo general cloruro, que está en la resina.

Cuando la resina está llena de sulfato en toda su capacidad, debe ser "regenerada" con una solución salina. Los ablandadores del agua para la eliminación de la dureza no eliminan el sulfato, y los sistemas de eliminación de sulfato no eliminan la dureza, aunque algunos equipos comerciales contienen ambas resinas y pueden así eliminar tanto la dureza como el sulfato. Si se usan tanto un ablandador del agua como un sistema de eliminación de sulfato, el ablandador del agua se coloca por lo general antes del sistema de eliminación de sulfato.

Si se usan tanto un ablandador del agua como un sistema de eliminación de sulfato, el ablandador del agua se coloca por lo general antes del sistema de eliminación de sulfato.

Cualquier sistema de tratamiento de agua requiere un manejo y mantenimiento adecuados para asegurar que continúe funcionando correctamente.

Cloro residual, demanda de cloro, cloro libre y cloro combinado

Propiedades del cloro

Color: Amarillo verdoso.

Olor: Sofocante.

Peso atómico: 35,457.

Peso molecular: 70,914.

Número atómico: 17.

Densidad del gas respecto del aire: 2,49.

Un litro de cloro gas (0 °C, 1 atm) pesa: 3,214 g.

Un kg de cloro gas (0 °C, 1 atm) ocupa: 311 l.

Un volumen de cloro líquido al vaporizarse origina: 457,6 volúmenes de gas.

Temperatura de ebullición (1 atm): - 34,1 °C.

Temperatura de congelación (1 atm): - 101,0 °C.

Viscosidad del gas a 20 °C: 0,013 centipoises.

Viscosidad del líquido a 20 °C: 0,34 centipoises.

Calor específico:

Gas (a 1 atm, 0 °C-100 °C):

Cp: 0,124 kcal/kg. °C.

Cv: 0,092 kcal/kg. °C.

Líquido (0 °C-24 °C) 0,226 kcal/kg. °C.

Algunas anotaciones sobre el cloro y su relación con el agua, han sido publicadas lo cual facilita la comprensión de los diferentes procesos en los que se encuentra el cloro en el agua (<http://www.cloro.info/>).

El «cloro seco» (entendiendo por tal el que contiene menos de 100 mg de agua por metro cúbico) es relativamente estable. A temperatura inferior a 100 °C no ataca al cobre, hierro, plomo, níquel, platino, plata, acero y tántalo (<http://www.cloro.info/>).

El «cloro húmedo», por el contrario, es muy reactivo. Prácticamente ataca a todos los metales usuales. No así al oro, platino, plata y titanio. A temperaturas inferiores a 149 °C el tántalo es inerte al cloro, bien sea seco o húmedo. Lo resisten bien algunas aleaciones de ferrosilicio.

#### REACCIONES DEL CLORO EN EL AGUA

Las reacciones que tienen lugar entre el cloro y el agua, aunque en principio parecen muy simples, no siempre lo son, ya que el agua objeto de la cloración no sólo es H<sub>2</sub>O, sino que en ella hay diversas sales y materias orgánicas en solución y suspensión. Pero trataremos en principio sólo de las reacciones de equilibrio que tienen lugar al reaccionar el cloro con el agua, que son reacciones de hidrólisis, se originan ácidos hipocloroso y clorhídrico (<http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/cloracion1.htm#>; KIELY, Gerard. 1999):



El ácido clorhídrico es neutralizado por la alcalinidad del agua y el ácido hipocloroso se ioniza, descomponiéndose en iones hidrógeno e iones hipoclorito:



La constante de ionización del anterior equilibrio es:



La constante de ionización  $K_i$  varía con la temperatura como se indica en la Tabla No. 19.

Tabla No. 19. Variación de la constante de ionización  $K_i$  con la temperatura

Temper. °C	0	5	10	15	20	25
(Moles/L) $K_i$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$

La constante de hidrólisis de la reacción (1) es de tal orden que no existe en el agua una concentración apreciable de  $\text{Cl}_2$  a no ser que la concentración de  $\text{H}^+$  sea elevada, es decir, que el pH del agua sea bajo, menor de 3, y haya una concentración total de cloruros mayor de 1.000 mg/L.

A las temperaturas ordinarias del agua, la hidrólisis del cloro es prácticamente completa en algunos segundos y la ionización del ácido hipocloroso es una reacción reversible instantánea. El sentido de esta reacción, es fácil ver que se encuentra dirigido por la concentración de iones hidrógeno, es decir del pH. Por tanto, se puede decir que según sea el pH del agua, se obtendrán unos porcentajes diversos de  $\text{ClOH}$  y  $\text{ClO}^-$ , porcentajes que pueden calcularse mediante la ecuación (3) y la tabla anterior en la que se muestran los valores de  $K_i$  partiendo de la relación:

$$\frac{[\text{ClOH}]}{[\text{ClOH}] + [\text{ClO}^-]} = 1 / (1 + [\text{ClO}^-]/[\text{ClOH}]) \quad (4)$$

Y deduciendo de la ecuación (3) que:  $[\text{ClO}^-]/[\text{ClOH}] = K_i / [\text{H}^+]$

sustituyendo en (4), resulta :  $[\text{ClOH}] / ([\text{ClOH}] + [\text{ClO}^-]) = 1 / (1 + K_i / [\text{H}^+]) \quad (5)$

Por ejemplo a 20 ° C y pH = 7 , el porcentaje de  $\text{ClOH}$  será según (5) :

$$1 / [1 + (2,5 \times 10^{-8} / 10^{-7})]; \text{ de donde } \text{ClOH} = 80 \%$$

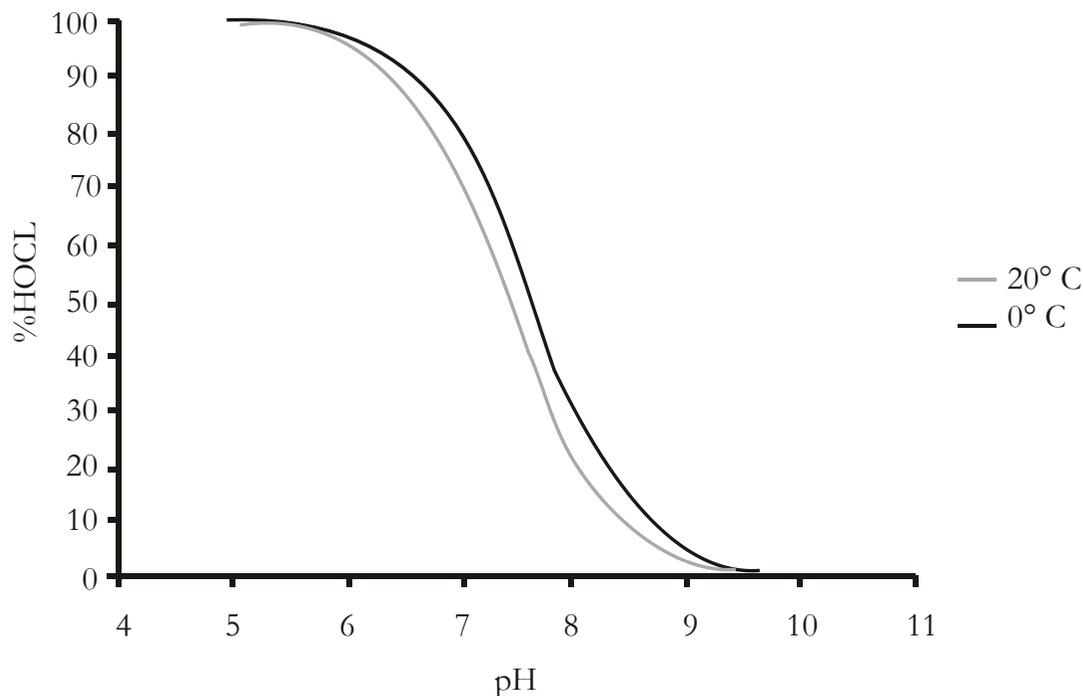


Figura No. 12. Variación de la concentración de  $\text{ClOH}$  con el pH a 0°C y 20°C

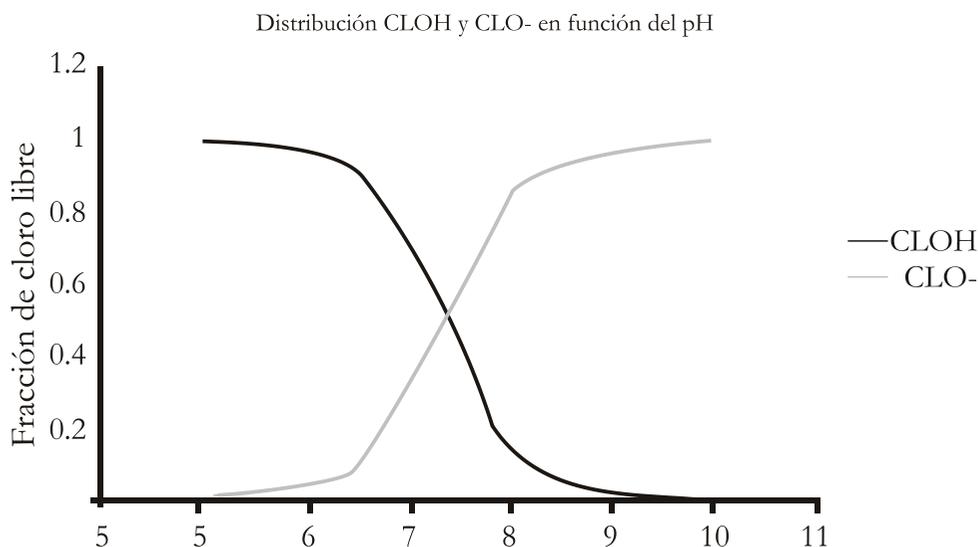


Figura No. 13. Distribución del  $\text{ClOH}$  y  $\text{ClO}^-$  en función del pH

### DISTRIBUCIÓN DEL $\text{ClOH}$ Y $\text{ClO}^-$ EN FUNCIÓN DEL pH

En las Figuras 12 y 13 se muestran los porcentajes de distribución de  $\text{ClOH}$  y  $\text{ClO}^-$ , o sus fracciones expresadas en cloro libre, a varios pH calculados como en el ejemplo anterior. Entre pH 6 y pH 9.5, hay equilibrio entre el ácido hipocloroso sin disociar y disociado. Para pH mayor de 9.5, está prácticamente todo el ácido hipocloroso disociado en ión hipoclorito (<http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/cloracion1.htm#>).

El ácido hipocloroso tiene mayor poder oxidante y bactericida que el ión hipoclorito, razón esta que es muy importante tener en cuenta, pues como se ha visto, la proporción de ácido hipocloroso e ión hipoclorito es función del pH, debiendo operarse, a ser posible, al pH más idóneo para lograr una más eficiente desinfección.

### DEMANDA DE CLORO Y BREAK POINT

La cantidad de cloro que debe utilizarse para la desinfección del agua, se determina generalmente mediante el método de la demanda de cloro y el de breakpoint.

Al incorporar el cloro al agua, reacciona con las sustancias que ésta contiene, quedando menos cloro en disposición de actuar como desinfectante. Entre estas sustancias destacan el manganeso, hierro, nitritos, sulfhídrico y diferentes materias orgánicas, las cuales, además de consumir cloro, producen compuestos orgánicos clorados que pueden ser la causa de olores y sabores desagradables. Otra sustancia presente, a veces en el agua y que reacciona de una forma muy particular con el cloro es el amoníaco. En este caso se forman compuestos denominados cloraminas, las cuales poseen poder desinfectante, aunque en menor grado que el cloro (<http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/cloracion1.htm#>).

Si se continúa añadiendo cloro en exceso, de manera que reaccione con todas las sustancias presentes, llegará un momento en que el cloro sobrante aparecerá como cloro residual libre, que es el que realmente actúa ahora como agente desinfectante.

La demanda de cloro es la diferencia entre la dosis de cloro añadida y el contenido de cloro residual al cabo de un tiempo de contacto suficiente para completar las reacciones antes expuestas.

El control perfecto de la desinfección, se efectúa mediante los correspondientes exámenes bacteriológicos del agua, pero para un control más rápido del contenido en cloro libre y combinado de un agua tratada, se determina la concentración de cloro residual mediante el método del DPD, o bien por yodometría y valoración con tiosulfato sódico; también, en instalaciones importantes suelen emplearse instrumentos automáticos de medida permanente, mediante determinaciones colorimétricas o determinaciones amperométricas.

El cloro presente en el agua tratada que se conoce como «cloro residual», puede presentarse como «cloro residual libre» o como «cloro residual combinado».

El cloro residual libre está constituido esencialmente por el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito; y el cloro residual combinado lo forman generalmente las cloraminas.

Para que el cloro residual libre esté presente en un agua tratada con cloro después del suficiente tiempo de contacto, es necesario que la cloración se lleve a cabo mediante una dosis lo suficientemente elevada de cloro, hecho conocido como «dosificación con cloro sobrante», «cloración por el punto crítico» o «cloración al breakpoint», con lo cual el cloro oxidará todas las sustancias que estén en disposición de ser oxidadas, se combinará, destruirá y eliminará otras, como por ejemplo las cloraminas, y después de todo esto aún quedará un exceso de cloro libre residual. La dosis de cloro a la cual comienza a aparecer el cloro libre residual es la llamada dosis de breakpoint. Indicaremos ahora, y después ampliaremos, que algunas de las sustancias orgánicas cloradas formadas con el cloro libre son causa de preocupación desde el punto de vista sanitario.

Teóricamente, en un agua totalmente pura, al ir adicionando cloro, la concentración residual medida del mismo sería igual al cloro incorporado. Pero esto no ocurre así en aguas que no son completamente puras, que es el caso general. Entonces, al ir adicionando cloro y después de haberse oxidado las diversas sustancias que fueron indicadas y formado las cloraminas, si había presente amoníaco y otros compuestos clorados de adición, si es medido el cloro residual, se observará que éste no corresponde al añadido, sino que es menor, llegando incluso a un punto, en que en lugar de ir aumentando la concentración de cloro residual ésta disminuye. La explicación de este descenso se justifica por el hecho de que una vez formados los diversos derivados orgánicos del cloro y las cloraminas, llegan a destruirse mediante la adición de más cloro, formándose otros compuestos que no suministran cloro residual. Cuando se han destruido estos compuestos clorados, comienza a aparecer el cloro residual libre, ya medida que se añade cloro al agua aumenta la concentración de cloro residual libre, pudiendo subsistir a la vez una pequeña concentración de cloro residual combinado, debido a compuestos que no han sido destruidos totalmente. Se considera que cuando el 85 % ó más del cloro residual del agua está en forma libre, la desinfección se ha realizado al breakpoint.

En la Figura No. 14 queda mostrado de forma gráfica lo anteriormente expuesto. El breakpoint es la dosis correspondiente al mínimo de la curva. Este punto no lo presentan claramente las aguas con poca materia orgánica o compuestos nitrogenados.

Cuando se realiza una cloración al breakpoint, no sólo es el ClOH que persiste al terminar las reacciones (cloro residual libre) el que se utiliza para la desinfección, sino que también se está utilizando, en parte, para la desinfección, el ClOH que existe durante el desarrollo y consecución del breakpoint. Esta disponibilidad temporal de ClOH es función del pH, temperatura y concentración de cloro y amoníaco (<http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/cloracion1.htm#>).

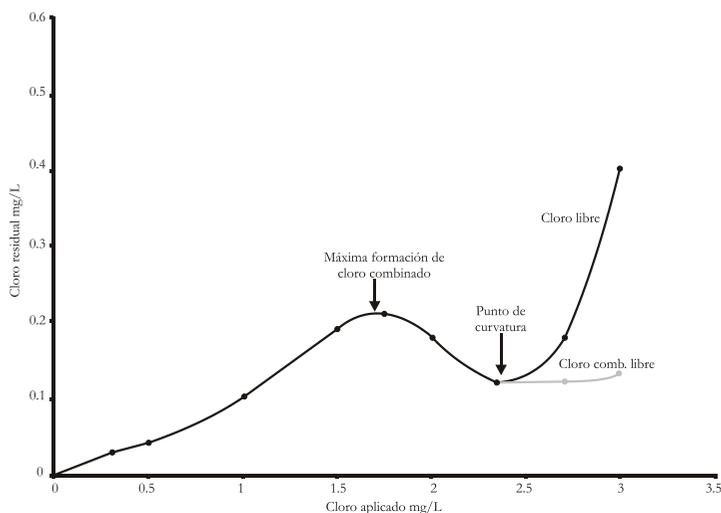


Figura No. 14. Representación del breakpoint

## 2. CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El consumo de cloro en el agua de una red de distribución se debe, por una parte, al consumo del cloro por la propia agua (sustancias presentes en ella y otras condiciones físicas) y por otra, al consumo que se produce en la interfase con las paredes de las conducciones (<http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/cloracion1.htm#>).

En el agua, el consumo depende principalmente de la temperatura y del contenido en materias orgánicas disueltas (COT).

En la interfase con las paredes, el consumo de cloro se produce por la interacción con los productos de corrosión y por los depósitos y biomasa fijada en las paredes.

La disminución del cloro residual en una masa de agua, viene expresada por la ecuación exponencial siguiente:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$$

$C_t^{(t)}$  = Concentración de cloro (mg/L) en el tiempo t.  
 $C_0$  = Concentración inicial de cloro (mg/L)  
t = Tiempo de reacción.

Es decir, hay una disminución exponencial de cloro residual con el tiempo.

La constante K puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\ln(C_0/C_t)}{t}$$

Un tiempo de exposición mínimo es necesario para que la concentración de cloro aplicado garantice la desinfección.

Para un agua correctamente pretratada, se debe mantener un  $C_t$  del orden de 15 (mg.min/L), por ejemplo 0,5 mg/L de cloro libre durante 30 minutos, ó 0,25 mg/L durante 1 hora.

A título de ejemplo comparativo, se muestran valores C.t para diversos desinfectantes:

Cloro = 15 (0,25 mg/L durante 60 minutos)  
Ozono = 1,6 (0,40 mg/L durante 4 minutos)  
Monocloramina = 100 (0,80 mg/L durante 120 minutos)

En la Figura No. 15 se representa un esquema de la cinética de la disminución del cloro en el agua de una vasija inerte y en una canalización (red).

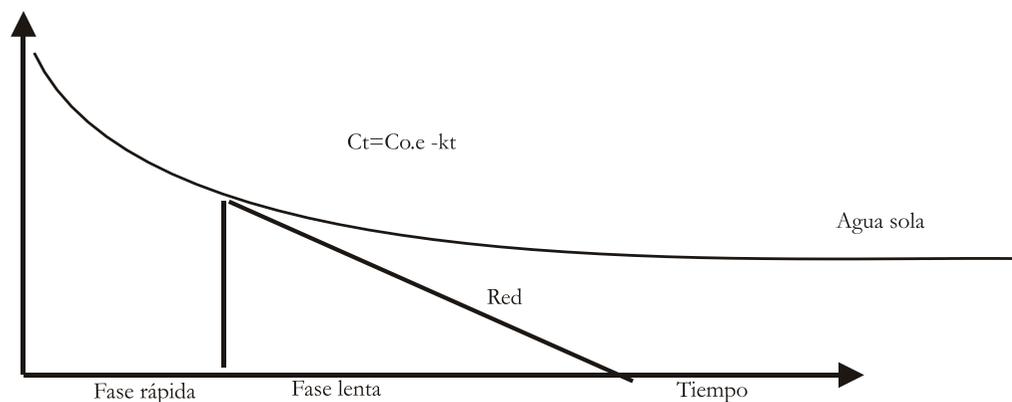


Figura No. 15. Cinética de la disminución del cloro en el agua



# **CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS CONTINENTALES Y COSTERAS**





## 1. ACCIONES RELATIVAS AL MEDIO AMBIENTE

Las acciones requeridas relativas al medio ambiente y su entorno se denominan gestión ambiental, conjunto de diligencias conducentes al manejo del sistema ambiental, siendo uno de sus componentes el agua.

La gestión ambiental responde al "cómo hay que hacer" para que haga cumplir las directrices dirigidas a lograr un desarrollo sostenible, es decir, para conseguir un equilibrio adecuado para el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos y protección y conservación del ambiente. Abarca un concepto integrador superior al del manejo ambiental: de esta forma no solo están las acciones a ejecutarse por la parte operativa, sino también las resoluciones, lineamientos y políticas formuladas desde los entes rectores, cuya finalidad es el uso racional de los recursos, implicando esto su protección y conservación. Las áreas normativas y legales que involucran la gestión ambiental son:

1. La política ambiental: relacionada con la dirección pública o privada de los asuntos ambientales internacionales, regionales, nacionales y locales.
2. Ordenamiento territorial: entendido como la distribución de los usos del territorio de acuerdo con sus características.
3. Evaluación del impacto ambiental: conjunto de acciones que permiten establecer los efectos de proyectos, planes o programas sobre el medio ambiente y elaborar medidas correctivas, compensatorias y protectoras de los potenciales efectos adversos.
4. Contaminación: estudio, control, y tratamiento de los efectos provocados por la adición de sustancias y formas de energía al medio ambiente.
5. Vida Silvestre: estudio y conservación de los seres vivos en su medio y de sus relaciones, con el objeto de conservar la biodiversidad.
6. Educación ambiental: cambio de las actitudes del hombre frente a su medio biofísico, y hacia una mejor comprensión y solución de los problemas ambientales.
7. Paisaje: interrelación de los factores bióticos, estéticos y culturales sobre el medio ambiente.

Los estudios relacionados con la calidad de las aguas continentales y costeras, están encaminados a establecer el estado en que estas se encuentran, a través de la medición y determinación de los parámetros que indican dicha calidad.

La realización de lo expuesto requiere disponer de sistemas de referencia los cuales sean utilizados como base para evaluar el grado de deterioro que presentan las mencionadas aguas, siendo responsabilidad de cada país establecer dichas referencias, es decir las respectivas normas y decretos (MARIN B, 2001).

## 2. NORMAS Y DECRETOS

Un aspecto esencial de los programas de conservación de los recursos acuáticos, es la preservación de sus valores estéticos y de calidad del agua, así como el reconocimiento e identificación de los niveles de contaminación que pueden causar su deterioro (MARIN B. 2001; Decreto No. 1594).

La implementación de esos programas suelen enfrentar en muchos casos, como sucede en Colombia en lo que respecta al medio marino, que no dispone de sistemas de referencia para evaluar el estado de la calidad de las aguas.

Tal situación ha impuesto la necesidad de buscar y aplicar alternativas para solventar los problemas que genera la carencia de normas adecuadas

Se presenta como tendencia en la implementación de sistemas de referencia por parte de los países de la región incluida Colombia, utilizar como basamento las normas de la Environment Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, dado el aval científico y tecnológico que los sustentan, siendo las características del medio ambiente de cada país, de conjunto con su situación socioeconómica, lo que suscita la adecuación de esas normas.

### NORMAS

Las normas de calidad ambiental expresan básicamente la calidad del cuerpo de agua que la sociedad quiere que se proteja, mantenga o recupere, de manera que se salvaguarde el aprovechamiento del recurso y la protección y conservación de las comunidades acuáticas propias de cada cuerpo o curso de agua (MARIN B, 2001; WHO. 2003; Decreto No. 1594).

Uno de los criterios generalizados por los especialistas en el tema de Calidad del Agua, es que las normas deben ser definidas de acuerdo con las características dinámicas del cuerpo receptor.

Las normas deben precisar los recursos acuíferos que necesitan ser protegidos de los efectos de la contaminación y en consecuencia de la degradación, deben a su vez propender el uso sostenible del recurso, manteniendo su calidad en función del desarrollo económico y social.

Los valores a considerar para la elaboración de las normas secundarias de calidad tendrán por objetivo general proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales, las marinas y costeras de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y ambientales (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2002; WHO. 2003; Decreto No. 1594).

Los valores comprendidos en las normas de calidad tienen como objetivo específico:

- a) Proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas destinadas a la producción de agua potable.
- b) Proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas para proteger y conservar las comunidades acuáticas.
- c) Proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas para la conservación de especies hidrobiológicas de importancia para la pesca deportiva y recreativa y para la acuicultura.
- d) Proteger la calidad de las aguas para la bebida de animales sea que vivan en estado silvestre o bajo el cuidado y dependencia del hombre.
- e) Proteger la calidad de las aguas para riego de manera de conservar los suelos y las especies vegetales.
- f) Mantener o recuperar el estado trófico de los cuerpos lacustres.
- g) Proteger cuerpos o cursos de agua de extraordinaria calidad como componentes únicos del patrimonio ambiental.

## **NORMATIVA DE CALIDAD DE AGUAS SEGÚN SUS USOS**

La relación entre calidad de aguas y sus usos, exige que se establezcan estándares y criterios de calidad específicos que definan los requisitos que ha de reunir un determinado agua para un fin concreto, requisitos que, generalmente, vienen expresados como rangos cuantitativos de determinadas características fisicoquímicas y biológicas.

Una vez establecidos estos criterios de calidad en función del uso, se promulgan leyes y se desarrollan programas orientados a garantizar el cumplimiento de dichos criterios (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2002; WHO. 2003; Decreto No. 1594).

## **NORMATIVA EN FUNCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA ACTIVIDAD HUMANA**

La consideración de los efectos de la actividad humana en las aguas naturales se puede contemplar desde diferentes puntos de vista, en función del medio que recibe el efluente (aguas subterráneas, continentales o litorales) y del origen de los vertidos (directos e indirectos) (CABELLI J. 1983; Decreto No. 1594; WHO. 2003).

Se establecen niveles de calidad para la evacuación de vertidos en sistemas acuáticos naturales, lo cual supone un avance con respecto al concepto de calidad tradicional, ligado al uso, y constituyen una medida de protección para estos sistemas.

## **NORMATIVA PARA CONSEGUIR EL BUEN ESTADO DE LAS AGUAS**

La calidad ambiental o calidad ecológica de las aguas, viene dado por las características que definen un ecosistema sano, que es aquel que posee un alto nivel de biodiversidad, productividad y habitabilidad y que se pone de manifiesto por una serie de indicadores concretos, propios de cada ecosistema.

Establecer los criterios e indicadores de calidad de un sistema natural no es fácil, y el objetivo de los mismos es proporcionar una herramienta que permita clasificar los ecosistemas según su grado de deterioro ambiental. Esta clasificación ha de servir para tomar las medidas necesarias y diseñar un plan estratégico de recuperación de los mismos.

El estado de una masa de agua natural viene dado por su estado ecológico y su estado químico. Se considera que las aguas se encuentran en un buen estado cuando su estado ecológico y su estado químico sean buenos.

El estado ecológico de un agua sería una expresión de la calidad de la estructura y del funcionamiento del ecosistema y cuyos criterios de clasificación (muy bueno, bueno y aceptable), en función del tipo de ecosistema acuático de que se trate, se recogen en los anexos de la directiva.

El buen estado químico de un agua será el necesario para cumplir los objetivos medioambientales que se definan.

## **DECRETOS Y GUÍAS NACIONALES**

*El Decreto 1594 del Ministerio de Agricultura de Colombia de 1984 establece los diferentes usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas, estuarinas y servidas.*

En el citado decreto se señalan las sustancias de interés sanitario y los criterios de calidad para la destinación del recurso según su uso, no estando en todos los casos contenidos valores permisibles que permitan evaluar el grado de contaminación, que produce determinado nivel de concentración del agente utilizado como indicador de la calidad química y sanitaria de las aguas estuarinas, siendo expresados dichos en su mayoría valores como dosis letal media ( $CL_{96}^{50}$ ) en el caso de la destinación del agua para preservación de flora y fauna.

*El Decreto 1575 de 2007 por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano en su artículo 35 deroga expresamente el Decreto 475 de 1998 y el artículo 52 del Decreto 1594 de 1984, con excepción de lo referente al uso agrícola de aguas servidas.*

El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por el consumo, exceptuando el agua envasada.

Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.

El citado Decreto contiene diferentes artículos además de los capítulos mencionados (Vigilancia de la calidad del agua potable, Información y registro, así como Medidas de emergencia), y las tablas relativas a los valores establecidos como criterio de calidad de los diferentes tipos de agua (Agua potable y Agua segura).

## **NORMAS INTERNACIONALES SOBRE GESTIÓN AMBIENTAL**

Las Normas Internacionales sobre gestión medioambiental tienen como finalidad proporcionar a las organizaciones los elementos de un sistema de gestión medioambiental efectivo, que puede ser integrado con otros requisitos de gestión, para ayudar a las organizaciones a conseguir objetivos medioambientales y económicos. (<http://www.monografia.com/trabajos25/normas-iso/normas-iso.shtml#>)

El éxito del sistema depende del compromiso de todos los niveles y funciones, especialmente de la alta dirección. Un sistema de este tipo capacita a una organización para establecer y evaluar la efectividad de los procedimientos para implantar una política y unos objetivos medioambientales, conseguir conformidad con ellos y demostrar tal conformidad a terceros.

La base de este enfoque se muestra en la siguiente Figura No. 16.

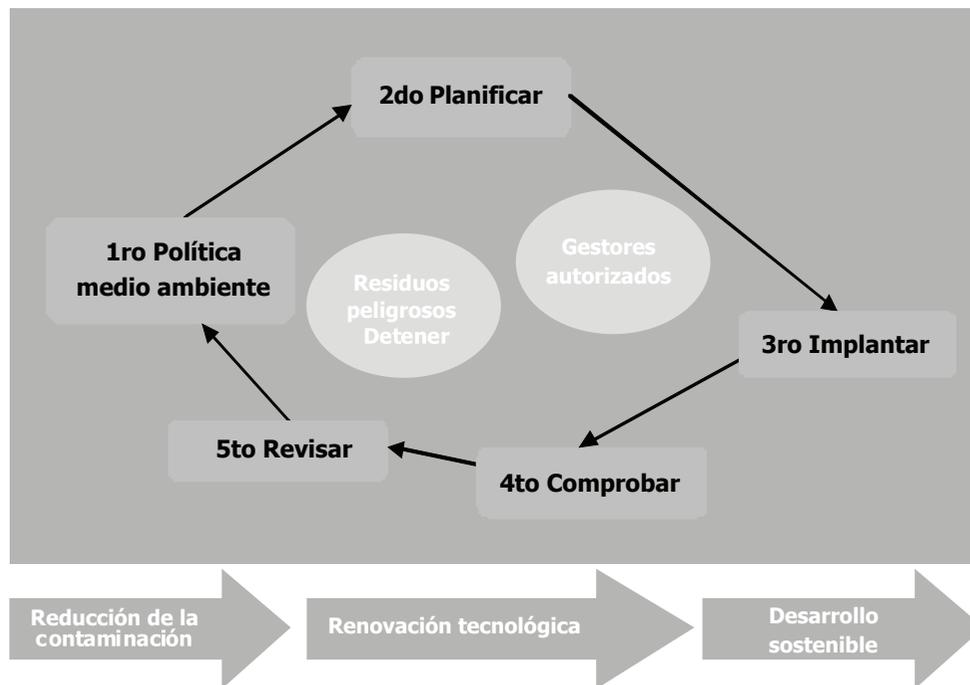


Figura No. 16. Interrelación de los diferentes factores que propician la gestión ambiental.

## NORMAS DE LA SERIE ISO 14000

ISO (International Standard Organization) es una institución internacional no gubernamental que se organiza en comités técnicos, los cuales son los encargados de elaborar las Normas ISO (normas de cumplimiento voluntario por parte de las empresas) (<http://www.monografia.com/trabajos25/normas-iso/normas-iso.shtml#>).

El propósito de la ISO es promover el desarrollo de la estandarización y de las actividades relacionadas del mundo para facilitar el intercambio internacional de mercancías y de servicios, y para desarrollar la cooperación en actividad intelectual, científica, tecnológica y económica. Los resultados del trabajo técnico de la ISO se publican como estándares internacionales. Los estándares discutidos aquí son un resultado de este proceso.

La serie 14000 de las Normas ISO corresponden a la temática de la gestión medioambiental y se elaboran por el comité técnico ISO/TC 207. Las Normas de la serie ISO 14000 establecen herramientas y sistemas para la gestión de numerosas obligaciones ambientales y para la evaluación de productos.

Las Normas de la serie ISO 14000 se pueden clasificar en dos grandes grupos: Normas de evaluación de la organización y Normas de evaluación del producto.

## 3. ESCALA INDICATIVA DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN

La necesidad de contar con sistemas de referencias para el disponer de valores numéricos y criterios para evaluar la calidad de las aguas, se pone de manifiesto en la misma medida que se intensifican los estudios ambientales, en particular los relacionados con el medio marino, dada lo complejo que resultan las zonas costeras, en las que acontecen múltiples actividades caracterizadas por una significativa intervención del hombre, influyendo estas por lo general en la calidad química y sanitaria de las aguas marinas y costeras, lo cual compromete el buen estado de los ecosistemas y de igual forma la calidad de vida de la población (PNUMA. 1995; MINAMBIENTE. 2000; GARAY, J. 2004).

En Colombia la realización de estudios sobre la calidad de las aguas marinas y costeras, ha aportado importantes argumentos para su conservación y protección, o al menos para el conocimiento del estado en que éstos se encuentran, resaltando el hecho de que la evaluación de dicha calidad depende en alto grado de las referencias que se utilicen.

Tal situación hizo necesaria la formulación y aplicación de sistemas de referencias unificados que faciliten el análisis e interpretación de los estudios sobre el medio marino colombiano, por lo que el autor del presente manual, con la participación de otros investigadores, elaboró la *Escala conceptual indicativa del grado de contaminación* (MARIN 2001; 2003).

Dicha escala en la que están contenidos los valores indicativos del grado de contaminación para las aguas marinas del país, sin pretender ser un estándar o una norma de calidad, lo cual sólo es establecido por ley, constituye una guía para la elaboración y expedición de una normativa o reglamento, que referencie los límites permisibles de los parámetros indicadores de la calidad de las aguas de las aguas marinas y costeras de Colombia.

La escala conceptual indicativa del grado de contaminación fue formulada y desarrollada considerando tres aspectos principales, los cuales se enuncian a continuación (MARIN 2001; 2003):

- 1) Selección de los parámetros indicadores para evaluar la calidad química y sanitaria de las aguas marinas y costeras y de igual forma los recursos naturales que le están asociados (sedimentos y organismos), escogiendo de ese conjunto los parámetros más representativos según el uso del cuerpo de agua, siendo relevante para tal propósito la información recopilada y procesada, y una encuesta realizada con la finalidad de precisar y validar los parámetros prestablecidos, atendiendo a lo expresado por los investigadores y funcionarios nacionales, así como investigadores extranjeros participantes en la encuesta.
- 2) Establecimiento de los niveles de concentración de los respectivos parámetros indicadores de la calidad de las aguas marinas y costeras: sanitarios (coliformes fecales y totales) y tóxicos químicos (metales pesados, hidrocarburos del petróleo y plaguicidas organoclorados), los cuales conforman la escala.
- 3) Elaboración de la escala indicativa del grado de contaminación, concebida a partir de los diversos criterios aplicados para caracterizar la calidad de esas aguas. La recopilación y procesamiento de la información, dio lugar al establecimiento de cuatro categorías para la clasificación de la calidad de las aguas marinas colombianas.

La escala como se muestra en la tabla 20, califica el grado de contaminación y en relación directa con este, el nivel de riesgo al que está expuesto el medio, y en consecuencia las posibles medidas a adoptar, asignando a cada categoría un color que representa la magnitud de dicha contaminación, y de igual forman el nivel de riesgo.

Con base a esta escala conceptual, una vez conocidos los niveles de concentración de coliformes fecales y totales, metales pesados, hidrocarburos del petróleo y plaguicidas organoclorados se construyeron los correspondientes a cada uno de los parámetros indicadores.

Tabla No. 20. Escala conceptual de valores indicativos del grado de contaminación

Valoración	Código	Color	Nivel de riesgo	Medida a adoptar
No Contaminado	NC	Verde	No hay	Caracterización/Diagnostico/Verificación. Anual
Contaminación Baja	CB	Amarillo	Bajo	Monitoreo/Evaluación Variables físico-químicas. Trimestral Tóxicos Semestral
Contaminación Media	CM	Anaranjado	Medio	Monitoreo/Bioensayos/Evaluación/Plan de contingencia/ Medidas de control y vigilancia. Variables físico-químicas. Mensual. Tóxicos Trimestral
Contaminación Alta	CA	Rojo	Alto	Monitoreo/Bioensayos/Evaluación/Plan de contingencia/ Aplicación de medidas de choques.

## USO DE LA ESCALA

La escala no crea nuevos valores permisibles sino utiliza los reportados por las diferentes fuentes (Decretos, normas, referencias, etc.), los cuales como fue mencionado, el procesamiento de los mismos, dio lugar a escalas de valores para cada grupo de contaminantes (Compuestos Orgánicos Persistentes; COPs, metales pesados y coliformes). Su aplicación se basa en utilizar los valores indicativos contenidos en las tablas para cada tipo de contaminante, y compararlos con los niveles de concentración determinados, y resultado de ello, valorar el grado de contaminación y el nivel de riesgo correspondiente (MARIN 2001; 2003).

El uso de la escala facilita la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras, así como la representación de los mismos, lo cual viabiliza la interpretación de los resultados obtenidos, para aquellos que sin ser especialista en el tema de la contaminación, requieren de información para accionar en función del mejor manejo de ese recurso.

Las Figuras 17 y 18 son ejemplos del uso de la escala en la evaluación de la calidad microbiológica de las aguas de la zona costera de Santa Marta.

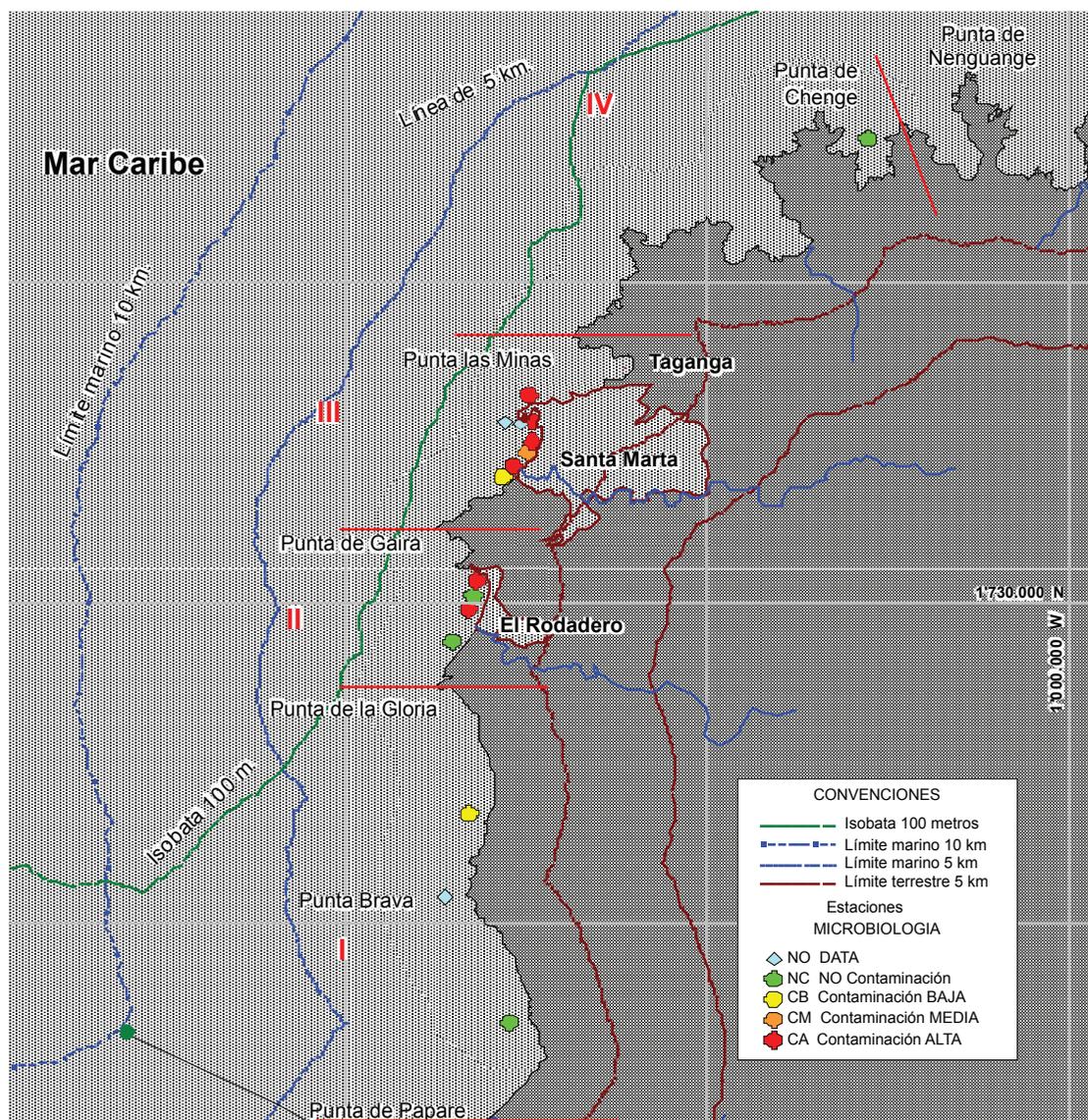


Figura No. 17. Nivel de coliformes en estaciones de muestreo, localizadas en las aguas costeras de Santa Marta. Interpolación de los valores (2002).

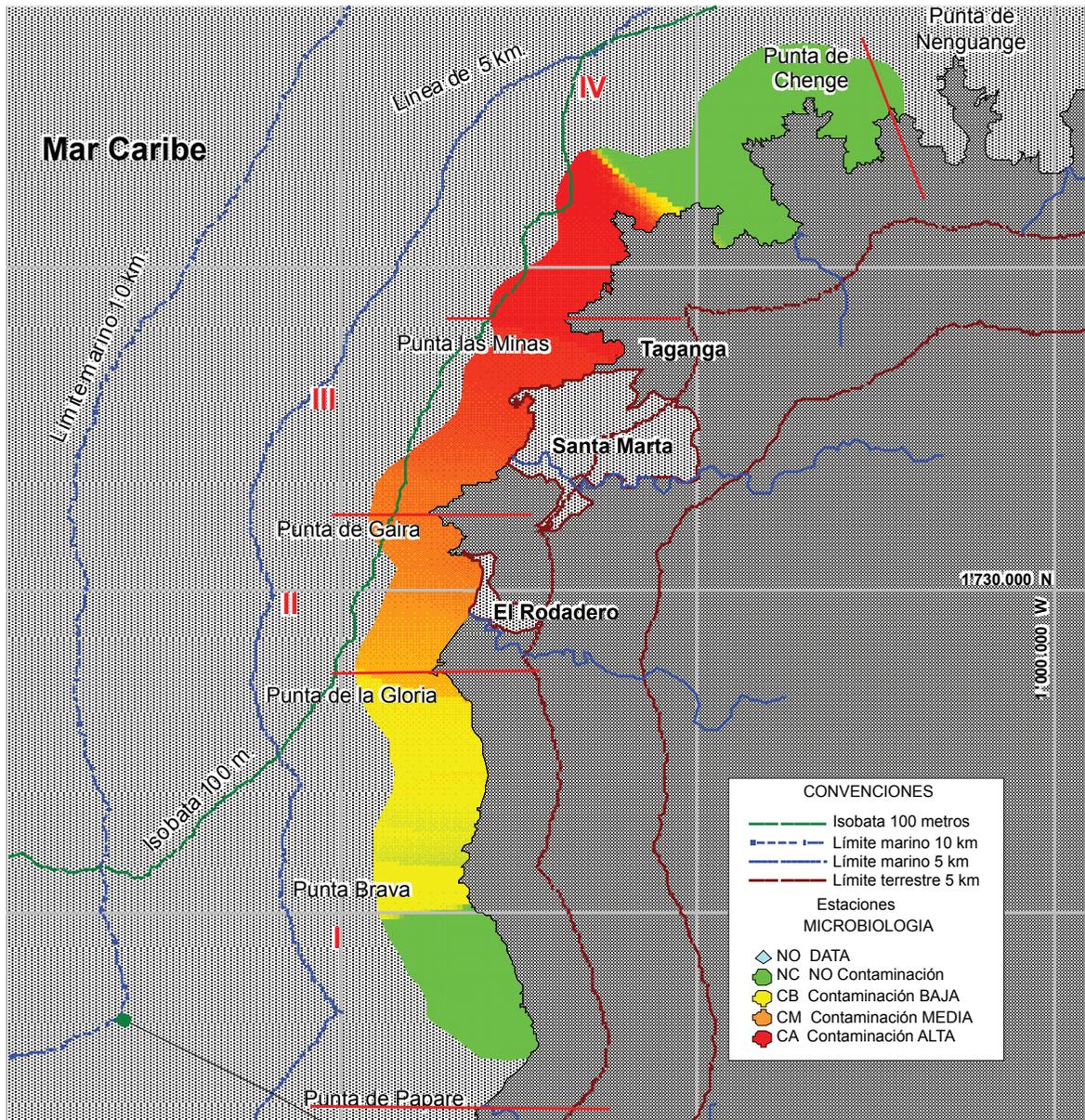


Figura No. 18. Nivel de coliformes en estaciones de muestreos, localizadas en las aguas costeras de Santa Marta. Interpolación de los valores (2002).

Lo anterior posibilita cuando se realiza un monitoreo y se cuenta con una red de muestreo, si esta está conformada por pocas estaciones, o se encuentran muy distantes unas de las otras, representar el grado de contaminación como se muestra en la Figura No. 17. De contar con una red de estaciones que permita interpolar los valores, los resultados podrán ser mostrados según se muestra en la Figura No. 18.



# PROGRAMAS DE MONITOREO





# 1. DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREOS

En la actualidad, el monitoreo ambiental recurre a una terna de técnicas de diagnóstico, complementarias entre sí, que se indican a continuación: a) monitoreo de efectos biológicos con ensayos de toxicidad, b) monitoreo biológico de campo, y c) medición de parámetros químicos convencionales en descargas y cuerpos receptores (CANTER L 1998; GARAY J. 2001; INVEMAR 2001; MARIN B. 2004).

Los niveles guía de calidad ambiental representan concentraciones máximas permitidas en el ambiente de sustancias individuales a las cuales se considera la inexistencia de efectos adversos significativos. Estos niveles pueden ser utilizados para determinar estándares (límites legales) u objetivos que pueden ser medidos o evaluados en el ambiente. El monitoreo es retrospectivo, pero los niveles guía pueden ser utilizados de manera predictiva, preventiva o reglamentaria.

Dada la variabilidad inherente a los procedimientos bioanalíticos o analíticos convencionales y a los procedimientos de muestreo, una sola muestra es insuficiente para alcanzar un nivel razonable de confianza para la caracterización de un sistema en estudio. Definida una desviación estándar general (por ejemplo, combinada para el muestreo y el análisis), el número de muestras requerido para una matriz móvil como el agua, puede ser estimada de la siguiente manera (MONTAÑO , M; 1995):

$$N \geq (t \cdot s / U)^2$$

Donde:

$N$  = número de muestras.

$t$  =  $t$  de Student para un intervalo de confianza dado.

$s$  = desviación estándar general.

$U$  = nivel aceptable de incertidumbre.

Un programa de monitoreo debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Preguntas de investigación.
- Definición del objetivo del monitoreo en relación con la pregunta.
- Métodos para la toma de muestra y metodologías analíticas o de diagnóstico. Materiales y equipos, personal, métodos de campo, formatos de registro de datos.
- Frecuencia para la colecta de los datos.
- Variables a medir.
- Sistema de referencias como criterio de evaluación (Normas, decretos, indicadores).
- Sistema de gestión de datos e información (bases de datos).
- Sistemas para el procesamiento de datos (cálculos y tratamiento estadístico).
- Informes periódicos y publicación de resultados (incluyendo recomendaciones de manejo).
- Uso de la información obtenida: Decisiones de manejo, como sustento teórico para gestión de recursos y nuevas investigaciones.

Dicho programa debe ser:

Viable de ejecutar.

Garantizar la confiabilidad de los datos que se colecten.

Debe prestar atención a:

- Los componentes que respondan a las principales interrogantes, cuyas respuestas permitan implementar acciones para la preservación y/o conservación de la calidad ambiental.
- Establecer planes de manejo a partir de los conocimientos obtenidos del diagnóstico y la evaluación, pudiendo comprender el estudio, uno o varios de los aspectos antes señalados.

El diseño de un programa de monitoreo debe seguir el siguiente flujo metodológico:

- Selección de épocas de muestreo
- Determinación del conjunto inicial de puntos de muestreo
- Establecimiento de la estructura de correlación espacial de cada variable
- Diseño de redes de muestreo

Tres razones básicas por las cuales puede ser necesario hacer un monitoreo:

- Legislación o control: Para asegurar el mantenimiento de una condición deseable (normas preestablecidas) o facilitar el progreso hacia esta condición. Relacionado con normas de conservación (ej. para prevención de contaminación).
- Regulación: Para evaluar el desempeño de un ambiente o comunidad. Utilizado para propósitos de manejo en sitios afectados por algún factor de estrés (ej. ruido, contaminación, radioactividad, cuidado médico o ambientes con actividades humanas), o para determinar los rangos o variación de un parámetro dado.
- Detección de cambios incipientes: Relacionado directamente con el área de ecología y conservación; este tipo de monitoreo está orientado a definir y evaluar los tipos de cambios que pueden presentarse en la naturaleza (estocásticos: Ej. una epidemia, sucesionales: Ej. efecto de calentamiento o recuperación de un ambiente luego de perturbación y cíclicos).

## **TIPOS DE MONITOREOS EN RELACIÓN CON LA METODOLOGÍA Y EL OBJETIVO**

Por lo general se clasifican los tipos de monitoreo atendiendo a los objetivos que con ellos se persiguen:

- De inspección (survey). El objetivo es la búsqueda de conocimiento, con muestreos extensivos donde se hacen observaciones tanto cualitativas como cuantitativas siguiendo un estándar y con periodos de tiempo restringido.
- De seguimiento (surveillance). Son programas de inspección extendidos en el tiempo, cuyo fin es determinar la dinámica temporal del sistema bajo estudio.
- Monitoreo (monitoring). Son programas de seguimiento intermitentes que buscan cambios de las condiciones prevaletientes. El objetivo es confirmar variaciones con respecto a un estándar o condición inicial, y los muestreos son intensivos y localizados.

Para hacer efectivo el control del estado de la calidad ambiental y en particular de los recursos hídricos, se utilizan dos modelos analíticos básicos.

1. Modelo 1. Incluye varios parámetros:
  - a) Los relacionados con los objetivos de calidad según los usos a los que va destinada el agua.
  - b) La frecuencia es mensual.
2. Modelo 2. Incluye parámetros de difícil ejecución
  - a) La mayor parte relacionados con sustancias tóxicas y peligrosas o prioritarias.
  - b) La frecuencia con la que se aplica se establecerá en función del grado de influencia antrópica que recibe el punto controlado.

El programa de monitoreo debe dar respuesta a algunos de los aspectos fundamentales que a continuación se exponen.

- Identificar las sustancias presentes en el medio ambiente, las fuentes que las aportan, los tipos de contaminantes y sus niveles de concentración.
- Evaluar el comportamiento espacial y temporal de las sustancias en el medio ambiente, sus tendencias y efectos que provocan.
- Diagnosticar y evaluar la calidad de las aguas según el uso a que se encuentren destinadas.
- Controlar el cumplimiento de las regulaciones vigentes, referentes a emisiones y vertimientos de contaminantes.

## **MUESTREO**

El objetivo general de un programa de muestreo es coleccionar una porción de material que represente la composición verdadera de la muestra; por tanto, la calidad de los datos dependerá de las siguientes actividades ([www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm](http://www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm); MONTAÑO, M; 1995).

- Formular los objetivos particulares del programa de muestreo.
- Colectar muestras representativas.
- Desarrollar un adecuado manejo y preservación de las muestras.
- Llevar a cabo un adecuado programa de análisis.

Estas actividades son de primordial importancia para asegurar que los datos ambientales tengan validez y calidad. Teniendo en cuenta lo anterior, el diseño del muestreo dependerá de los objetivos específicos y de si este programa es de:

- Rutina.
- Caracterización.
- Intensivo.
- Establecimiento de una estación de monitoreo.
- Parte de una red de monitoreo.
- Especial.

Cuando se diseña un programa de muestreo es fundamental que se especifique claramente su objetivo, por ejemplo, estimar concentraciones máximas o medias, detectar cambios o tendencias, estimar percentiles o tener una base para cobrar por cada efluente industrial. También se debe especificar el margen de error tolerable; y también es necesario tener en mente los recursos disponibles para la toma de muestras y el análisis, pues se puede encontrar que reducir la incertidumbre de los resultados podría requerir doble número de muestras, lo que haría costoso el análisis. Por tanto, es importante establecer un nivel práctico y aceptable en las variaciones de los resultados en base al uso deseado ([www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm](http://www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm); MONTAÑO, M; 1995; GRAY, N.F. 1996).

En forma ideal, todos los análisis de deben practicar inmediatamente después de la recolección de las muestras, ya que entre más rápido se hagan, es más probable que los resultados sean una evaluación verdadera de la naturaleza real del líquido in situ. Con características inestables, como gases disueltos, constituyentes oxidables o reducibles, etc., los análisis deben efectuarse en el campo o tratar la muestra adecuadamente para fijar las concentraciones de los materiales inestables. Los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo en la composición de una muestra se puede retardar si se almacena a baja temperatura (4oC); también se recomienda no exponerla a la luz. Entre más contaminada esté el agua es más corto el tiempo disponible para la toma de muestras y el análisis si se quieren evitar errores significativos.

## TIPOS DE MUESTRAS

### PUNTUAL O SIMPLE

Muestra recolectada en un sitio específico durante un periodo corto, de minutos a segundos. Representa un instante en el tiempo y un punto en el espacio del área de muestreo. Las muestras *puntuales discretas* son aquellas que corresponden a un sitio seleccionado, a una profundidad y tiempo definidos. Una muestra *puntual integrada en profundidad* corresponde a la que es recolectada a profundidades definidas de la columna de agua, en un sitio y tiempo seleccionados. El diseño del muestreo deberá tener en consideración descargas cíclicas o temporales del cuerpo receptor en estudio.

### COMPUESTA O INTEGRADA O BALANCEADA

Provee un muestreo representativo de matrices heterogéneas, en la cual la concentración del o los analito (s) de interés pueden variar su concentración en el espacio o el tiempo (MONTAÑO, M; 1995; GRAY, N.F. 1996; GARAY, J. 2003).

Las muestras compuestas pueden combinar porciones de varias muestras simples o las provenientes de sistemas automáticos de extracción. Las muestras integradas en el tiempo recurren a muestreadores con bombeo a un flujo continuo constante de muestra o la mezcla de volúmenes iguales recolectados a intervalos regulares.

Existen muestreadores continuos que permiten recolectar submuestras variando el caudal de bombeo en función de las variaciones de flujo del cuerpo o conducto de agua. Hay sistemas automáticos comerciales provistos con control de temperatura para la preservación de la muestra durante el periodo de muestreo. Su utilización deberá tener en cuenta un cuidadoso diseño en función del propósito del estudio y características del sistema de muestreo empleado.

## TIPOS DE MÉTODO DE RECOLECCIÓN

**Manual:** este método de recolección es el más simple e involucra equipamiento mínimo. Sin embargo, puede resultar laborioso en programas de muestreo extendidos en el espacio o el tiempo.

**Automático:** existen diversos sistemas automáticos de extracción de muestra. Su utilización depende de la disponibilidad de dichos sistemas y de su posible localización en el campo de manera segura.

**Matrices sorbentes de muestreo (membranas o cartuchos):** ofrecen alternativas de interés que dependen del analito en estudio.

## OBTENCIÓN DE MUESTRAS, TRASLADO Y CONSERVACIÓN

Un aspecto de gran importancia a tener en cuenta en los ensayos biológicos es el traslado, la conservación, la preparación de las muestras de agua y el tratamiento durante el ensayo, especialmente cuando se realizan pruebas con aguas y aguas residuales que contengan compuestos inestables o fácilmente removibles. Consideraciones asociadas con el manejo de problemas que surjan de la naturaleza y disponibilidad de los compuestos en la muestra, y de la conveniencia del diseño de ensayo seleccionado son fundamentales para una correcta evaluación de los efectos de compuestos tóxicos presentes (ISO 5667-16).

Si se han tomado varias muestras (por ejemplo, en diferentes lugares o en momentos distintos), éstas pueden combinarse para obtener una mayor representatividad. Dichas muestras deben mezclarse muy bien y, si es necesario, dividir las en submuestras. Para obtener submuestras de igual calidad se debe asegurar que el conjunto de muestras mantenga homogeneidad durante el proceso de submuestreo, por medio de técnicas de mezclado o agitación continua. Esto se aplica particularmente para el caso de mezclas de dos fases. Cuando se cuenta con infraestructura adecuada, se recomienda el uso de sistemas de muestreo integrado en el tiempo con equipos refrigerados.

El volumen, forma y material de los recipientes de recolección y almacenamiento de muestra dependen de la naturaleza de la misma, del número de réplicas, del volumen requerido para los ensayos y de la necesidad de preservar y/o almacenar las muestras antes de su procesamiento. Cuando se hace necesario el congelamiento de muestra, el tiempo requerido para congelar y descongelar debe minimizarse reduciendo el volumen de la misma; por ejemplo, el tamaño del recipiente. En general, el uso de recipientes de un litro para congelar es adecuado. Para ensayos que requieren mayores volúmenes, la muestra debe ser dividida en recipientes que contengan no más de diez litros. El volumen total extraído debe ser suficiente para la realización de ensayos suplementarios y réplicas.

El material de los envases debe ser químicamente inerte, fácil de lavar, resistente al calor y al congelamiento.

Se recomienda el uso de recipientes de vidrio, polivinilo, polietileno, polipropileno u otros polímeros inertes. Debe decidirse previamente si los recipientes serán llenados completamente hasta el borde o parcialmente (dejando un espacio de aire), teniendo en cuenta el tipo de muestra, la forma de preservación y el ensayo biológico que se realizará. Sin embargo, el llenado parcial de recipientes puede ocasionar agitación durante el transporte, provocando desagregación de partículas, arrastre de componentes gaseosos, oxidación, etcétera. Contrariamente, el llenado total de recipientes puede ocasionar agotamiento del oxígeno disuelto, acompañado de una descomposición de materia orgánica anaeróbica, conduciendo a la formación de metabolitos tóxicos.

Los recipientes de muestreo, especialmente los de vidrio, cuando se congelan con vistas a su preservación, no deben llenarse completamente para permitir la expansión del volumen.

Durante el transporte, las muestras recolectadas deben ser protegidas de posibles roturas y del aumento de temperatura. Para evitar confusión en la identificación, se deben utilizar etiquetas y marcadores a prueba de agua.

## **ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

No existe ningún método que permita conservar de manera perfecta la integridad de las muestras, sean éstas aguas residuales, naturales o sedimentos. Es prácticamente imposible mantener la estabilidad de todos sus constituyentes. Las técnicas recomendadas para su conservación tratan de retardar los cambios producidos por agentes químicos, físicos o biológicos, que inevitablemente ocurren luego de la extracción de la muestra. Debido a que las muestras serán ensayadas con pruebas biológicas, las metodologías de estabilización corriente para análisis químico, tales como la disminución del pH, agregado de conservantes químicos específicos para determinados componentes, u otras, no pueden ser consideradas, ya que podrían incorporar toxicidad a la muestra (IDEAM. 1998; GARAY, J. 2003).

La norma ISO 5667-16 recomienda considerar la duración del periodo de almacenamiento y la eficiencia de los modos de conservación, aspectos que dependerán de la naturaleza de la muestra y, en especial, de su actividad biológica. Las aguas potables y aguas subterráneas generalmente son poco susceptibles a las reacciones químicas y biológicas, a diferencia de las aguas superficiales y aguas servidas, tratadas o crudas. Una vez recolectadas, las muestras para bioensayo deben ser procesadas preferentemente sin demora para evitar cambios en su composición original como resultado de reacciones físicas o químicas, y/o procesos biológicos. La duración máxima del almacenamiento no debe exceder las 12 horas a temperatura ambiente (máxima 25°C). Las muestras deben conservarse en oscuridad para evitar el desarrollo de algas. Si no es posible realizar el ensayo inmediatamente después del muestreo, se recomienda enfriar o congelar.

El modo más común y recomendado para preservar muestras de aguas servidas es enfriar entre 0 y 5°C. Cuando se enfría a estas temperaturas y se almacena en la oscuridad, las muestras, en su mayoría son estables hasta por 24 horas. El enfriamiento debe comenzar inmediatamente después del muestreo. Se puede hacer uso en el campo de recipientes con hielo. El enfriado por debajo de -20°C permite un aumento del periodo de conservación, que puede variar desde pocas semanas hasta dos meses, dependiendo de la estabilidad de las muestras. La experiencia ha demostrado que la calidad de las aguas servidas puede ser afectada tanto durante el congelamiento como en el descongelamiento.

Las muestras que se almacenan congeladas deben descongelarse inmediatamente antes del uso. Se recomienda utilizar agua corriente o un baño de agua a temperatura que no exceda los 30°C, agitando suavemente para evitar el sobrecalentamiento local. Es esencial que el descongelado sea completo antes del uso, ya que el proceso de congelado puede afectar la concentración de algunos componentes en la parte interna de la muestra, que es la que se congela al último. No se recomienda el tratamiento en microondas.

Luego del descongelamiento se debe asegurar una distribución homogénea de todos los componentes. Para ello se puede aplicar agitación suave o vigorosa, tratamiento ultrasónico o dispersión mecánica a alta velocidad; ello según la naturaleza de la muestra. Especial atención se debe prestar a la potencial pérdida de compuestos volátiles. De manera general, hay que tener cuidado para que el estado original de la muestra sea restaurado o, en su defecto, alterado lo menos posible.

## **ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

En general, los bioensayos se llevan a cabo con la muestra original. En algunos casos una excesiva cantidad de material particulado, lodos o sedimentos interfieren con el comportamiento de los organismos utilizados en las pruebas (por ejemplo: deterioro de los filtros de alimentación de *Daphnia*, limitación de la entrada de luz a cultivos de algas). Para evitar que ese tipo de efectos se vea reflejado en los resultados en la prueba hay que tratar de eliminar estas interferencias. Sin embargo, la aplicación de métodos de filtración, sedimentación o centrifugación, entre otros, puede involucrar riesgos de pérdida de componentes asociados con partículas.

Cuando los ensayos se realizan en presencia de material particulado, se recomienda dejar sedimentar la muestra de treinta minutos a dos horas, o efectuar una filtración gruesa (>50 mm), separando solamente

las partículas grandes. La masa de partículas así obtenida puede ser evaluada por separado. Algunos métodos de ensayo ofrecen la posibilidad de determinar un factor de corrección para parámetros, como la turbiedad. Las aguas ricas en bacterias pueden también producir interferencias con algunas pruebas. Sin embargo, existen soluciones parciales en casos como la filtración con fibra de vidrio (cuando corresponda) o la centrifugación (ejemplo: diez minutos a 4 500x g). Esta segunda alternativa es, en general, preferible a la filtración (RODIER, J. 1989; IDEAM. 1998; GARAY, J. 2003).

### **AJUSTE DE PH**

La selección del valor de pH al que se ajusta la muestra está determinada por el objetivo del ensayo. Por lo general, el ajuste de pH se realiza en el intervalo entre 6 y 9 (el cual es generalmente tolerable para la biota acuática). Las muestras con valores de pH extremos, que excedan los límites de tolerancia de los organismos de prueba, deben ser neutralizadas. La neutralización debe ser omitida, si se desea evaluar el efecto del pH o si se observan modificaciones físicas o químicas debido al ajuste. El agente neutralizante no debe reaccionar con los componentes de la muestra, lo cual podría, por ejemplo, conducir a la precipitación o a la formación de complejos. Tampoco debe influir sobre el organismo de ensayo provocando estimulación o inhibición. Los agentes neutralizantes de pH más usados son soluciones de ácido clorhídrico o hidróxido de sodio (RODIER, J. 1989; RUIZ, R. 1998; GARAY, J. 2003).

### **PRECONCENTRACIÓN**

El alcance del presente manual no incluye el análisis y discusión de alternativas de concentración de las sustancias nocivas para la posterior evaluación de efectos biológicos por medio de bioensayos. Cabe aclarar que, si bien existen algunas alternativas de concentración utilizando sistemas de extracción líquido/líquido con solventes orgánicos, la extracción en fase sólida favoreciendo la sorción de sustancias hidrofóbicas, la evaporación o liofilización, la ultrafiltración, etcétera, presenta limitaciones de aplicación. Los ensayos de toxicidad con muestras preconcentradas generalmente tienen menos significado y no se las recomienda. En todos los casos, los resultados obtenidos de los ensayos con muestras de agua preconcentradas deben interpretarse con extrema precaución (RODIER, J. 1989; RUIZ, R. 1998; GARAY, J. 2003).

### **ELIMINACIÓN DE CLORO**

Cuando se realizan ensayos de toxicidad de agua clorada, sea por tratamiento convencional de agua potable, o efluentes de aguas servidas, se debe neutralizar el cloro previo al ensayo de la muestra. La forma más simple para su eliminación es dejar reposar la muestra en el envase destapado durante la noche a 4°C. También se pueden utilizar métodos químicos de neutralización, como el agregado de tiosulfato de sodio (una solución de 3,6 mg/L de tiosulfato de sodio preparado a partir de la sal anhidra reduce 1,0 mg/L de cloro). Cuando se efectúa este tipo de eliminación se requiere llevar a cabo blancos en las pruebas de toxicidad.

Existen varias guías que establecen los principios de un programa de monitoreo. La ISO 5667 provee lineamientos para dicho programa: técnicas de muestreo, manipulación y preservación de muestras de agua aportadas por mareas (por ejemplo en estuarios, aportes marinos, aguas costeras y mar abierto). No puede ser aplicada a la colección de muestras para exámenes microbiológicos y biológicos. La guía general para propósitos biológicos se da en ISO8199.

En la referida guía se hace referencia a las diferentes enfoques de un programa de monitoreo.

## **2. MEDICIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS**

Las mediciones de variaciones en una distribución espacial y tendencias temporales en la calidad del agua para establecer los efectos del clima, la actividad biológica, los movimientos del agua y las influencias del hombre, y también para asistir en la determinación de magnitud y consecuencias de cambios futuros (RODIER, J. 1989; RUIZ, R. 1998; GARAY, J. 2003).

Mediciones de control de calidad: Las mediciones de calidad de agua sobre un largo periodo de tiempo en uno o más lugares para establecer cuando la calidad del agua, una vez caracterizada, permanece adecuada para usos definidos tales como baño, protección de la vida acuática, desmineralización o enfriamiento, y para establecer cuando los cambios observados son inaceptables (STOKER, S.H. 1980; RODIER, J. 1989; RUIZ, R. 1998; GARAY, J. 2003).

Mediciones por razones específicas: Asesoramientos de causa, magnitud y efecto de variaciones significativas en la calidad del agua e investigación de fuentes y destino subsiguiente de los contaminantes descargados en las aguas.

### **3. LÍNEA BASE AMBIENTAL PARA PROYECTOS DE OBRA O ACTIVIDADES**

El estudio de la línea de base consiste en un diagnóstico situacional que se realiza para determinar las condiciones ambientales de un área geográfica antes de ejecutarse el proyecto, incluye todos los aspectos bióticos, abióticos y socio-culturales del ecosistema (MARIN B. 2008).

Es la fotografía de la situación ambiental imperante, considerando todas las variables ambientales, en el momento que se ejecuta el estudio. Se consideran todos los elementos que intervienen en una EIA, reseñando actividad humana actual, estado y situación de la Biomasa vegetal y animal, clima, suelos etc.

A partir de esta situación se evalúa, en las etapas posteriores del estudio de impacto ambiental (EIA), las modificaciones, positivas y negativas de las intervenciones en examen, considerando también, en todos los casos, la denominada variante cero, alternativa cero, proyecto cero, o en otras palabras la opción de no hacer nada.

#### **INTERRELACIÓN DE LOS ELEMENTOS AMBIENTALES**

La línea de base debe tener en cuenta la interrelación de los distintos componentes del ambiente. El ambiente se divide en sus componentes constituyentes – los componentes del "aire", la "masa terrestre", el "cuerpo de agua" y el "agua subterránea". Las mediciones de línea de base definen el equilibrio entre los distintos elementos de la siguiente manera ([www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm](http://www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm); MONTAÑO, M; 1995; GRAY, N.F. 1996):

- El equilibrio entre "la masa terrestre y el cuerpo de agua" se define mediante el agua de superficie y los parámetros climatológicos, así como por la fisiografía, la geomorfología y la cubierta vegetal de la cuenca de captación puesto que controla la división entre la infiltración de la precipitación y el escurrimiento.
- El equilibrio entre "la masa terrestre y el agua subterránea" se define mediante parámetros hidrogeológicos y geológicos.
- El equilibrio entre "el agua subterránea y el cuerpo de agua" también se define mediante parámetros hidrogeológicos y geológicos.
- El equilibrio entre "la masa terrestre y el aire" se define mediante los parámetros climatológicos.
- El equilibrio entre "el aire y el cuerpo de agua" también se define mediante los parámetros climatológicos.

Las actividades de los animales en el aire, los cuerpos de agua y la masa terrestre responderán a modificaciones significativas en estos equilibrios. De igual manera, las actividades humanas industriales, agrícolas y mineras pueden alterar los equilibrios entre los diferentes componentes.

Durante la fase operativa, el ciclo del agua es afectado por diversas actividades relacionadas con las operaciones mineras y de procesamiento. Entre ellas se encuentran:

- La creación de depósitos superficiales
- Los cambios en la cantidad de infiltración de la precipitación debido a los cambios en las propiedades de la superficie del lugar debido a la remoción del manto de recubrimiento, la deforestación, la compactación debido al tránsito pesado, las operaciones a cielo abierto, el uso de lugares para la deposición de residuos, etc.
- El desvío de las aguas superficiales o subterráneas para realizar operaciones mineras y de tratamiento de los minerales
- Los cambios en los niveles freáticos local y regional debido al desagüe de la mina
- Los desvíos de las corrientes para circunvalarlas, convirtiéndose así en rutas potenciales de los contaminantes
- El almacenamiento de agua en los espacios intersticiales de las colas eliminadas.

## GENERALIDADES DE LA LÍNEA BASE

Los estudios de línea de base describen el estado de un ambiente, y tienen alcance multidisciplinario, estos abarcan diversas disciplinas, tales como la hidrología, la biología, la química, la hidrogeología y la ingeniería civil, la estadística, la economía y la sociología. El producto final de las actividades de línea de base es de naturaleza muy práctica (THURSTON, R.V 1979; UNESCO, 1984; GARAY, J. 2004).

Los estudios de línea de base no constituyen una actividad académica que abarca todos los aspectos posibles. El lapso durante el cual se deben adquirir o generar y analizar los datos, normalmente es demasiado breve como para realizar una investigación rigurosa; además, el alcance de los estudios es demasiado amplio. Se basan en ciencia documentada y, cuando corresponde, recurren a estudios académicos, informes de empresas, documento del gobierno y cualquier otra fuente disponible de información al respecto.

En este estudio deben tocarse tres aspectos fundamentales que son: La historia de las transformaciones ambientales del territorio, el inventario ambiental con la descripción de las alteraciones ecológicas o ambientales claves y la valoración del estado actual del medio ambiente (SAWYER, C. 2001).

La historia de las transformaciones ambientales se elabora a partir de numerosas informaciones que permite determinar la dinámica de los cambios de los componentes del medio, en el espacio y en el tiempo producto de la actividad del hombre. Esta situación conlleva la idea prioritaria de concebir un inventario de aquella información que sea lo más representativa posible del territorio afectado. Es la fase de búsqueda de información y diagnóstico, consistente en la recogida de la información necesaria y suficiente para comprender el funcionamiento del medio sin proyecto, las causas históricas que lo ha producido y la evolución previsible si no se actúa.

Esta situación conlleva la idea prioritaria de concebir un inventario de aquella información que sea lo más representativa posible del territorio afectado. Es la fase de búsqueda de información y diagnóstico, consistente en la recogida de la información necesaria y suficiente para comprender el funcionamiento del medio sin proyecto, las causas históricas que lo ha producido y la evolución previsible si no se actúa.

Los estudios de línea de base reúnen datos en comparación con los cuales se pueden medir los posteriores cambios producidos en el ambiente. En la industria, las líneas de base incluyen:

- La selección de parámetros fundamentales necesarios para describir el estado de un elemento ambiental en particular (por ejemplo, calidad del agua, caudal del agua subterránea, etc.) en el momento elegido.
- Parámetros cuidadosamente seleccionados para sustentar el plan de monitoreo operativo.
- Parámetros en comparación con los cuales se realiza la planificación y el monitoreo de la rehabilitación final.

La profundidad y la amplitud del estudio y descripción en la Línea Base ambiental de los factores ambientales dependen de la carga ambiental previsible, de la sensibilidad de los bienes que se desean proteger, de la complejidad del proyecto, de los datos disponibles y de la fase de evaluación en curso. Esto indica que mucho depende de la experiencia del evaluador por lo que no siempre se evaluarán todas las componentes ambientales, ni tampoco con la misma exhaustividad o profundidad.

## DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA BASE AMBIENTAL

La elaboración y ejecución de la línea base ambiental, requiere de la definición del medio físico o natural y la respectiva caracterización del mismo. A continuación se señalan los aspectos que son objetos de estudios, describiendo los relativos a las aguas continentales y marinas (BARBA HO. 1989; APHA, 1989; GARAY, J. 2004).

1. Geología
2. Geomorfología
3. Sísmica
4. Suelos

5. Clima
6. Aire

## AGUA

### CONTINENTALES

- Disponibilidad, manejo territorial del recurso y la calidad del servicio a la población.
- Inventario y caracterización de las fuentes de las fuentes de abasto ubicadas dentro del área de influencia.
- Posibles afectaciones a los sistemas de drenaje natural y artificial.
- Superficiales: Inventario y caracterización hidrológica incluyendo calidad de las masas cercanas o que pudieran ser afectadas por el proyecto.
- Subterráneas: Inventario y caracterización de los acuíferos de las zonas que pudieron ser afectados en relación con la extracción y recarga.
- Calidad del agua: Determinación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
- Ubicación de las fuentes contaminadas y su caracterización.

Operaciones que afectan la calidad del agua:

- Reduciendo la estabilidad ecológica (por aumento del flujo de energía, explotación de recursos adyacentes, explotación de terrenos adyacentes, reducción de la estructura, explotación del recurso)
- Promoviendo la estabilidad ecológica (fotosíntesis y aireación)
- Gestión orientada a la conservación.

Parámetros significativos para valorar la calidad del agua según la OMS:

- Físico: turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad térmica, pH.
- Químicos: sustancias presentes naturales y artificiales, sustancias de carácter estable, inestables y ligeramente estable, sustancias presentes en grandes cantidades (iones disueltos), pequeñas cantidades (iones, fenoles  $O_2$  y la DQO).

Parámetros a determinar en un estudio de impacto para el agua:

- Oxígeno disuelto (DBO).
- Sólidos disueltos y sustancias en suspensión.
- Compuestos de nitrógeno, potasio, azufre, cloro.
- Dureza (carsica y magnesica).
- Turbidez.
- Elementos tóxicos.
- Microorganismos patógenos.
- Eh, pH, conductividad, alcalinidad, acidez
- Metales tales como Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, etc. según lo establecen los organismos de control y que también se indican como importantes mediante el examen de datos operativos.
- Aniones como  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $PO_4^{2-}$
- Productos significativos de las operaciones mineras e industriales como,  $SO_4^{2-}$

Línea de base de calidad de agua superficial en la minería.

El cambio ambiental se refleja inmediatamente en las aguas de superficie. La manifestación de los cambios inducidos por la actividad minera puede adoptar la forma de:

- Contaminación de la química del agua de superficie, por ej., una gota en el pH debido a la generación del drenaje ácido de la mina
- Aumento en las cargas de sedimentos de los ríos
- Cambios en la velocidad y volumen de las corrientes de agua
- Degradación del hábitat ictícola, etc.

Muchos de estos cambios están interrelacionados. No se puede hacer ningún muestreo de la calidad del agua en forma aislada. Para que el muestreo sea significativo, es necesario tener en cuenta los datos sobre el caudal de la corriente, el clima y las operaciones en la mina y en el sitio.

Los parámetros para la determinación de la línea de base son:

- Contenido de metales
- Contenido de sólidos en suspensión
- Contenido de oxígeno disuelto
- Capacidad reguladora – alcalinidad y acidez
- Nutrientes – carbono orgánico, nitrato, nitrito, amoníaco, fósforo
- Iones principales – sulfatos, cloruros, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio
- Temperatura
- Tipo de caudal (laminar, turbulento)
- Parámetros de la calidad del agua
- Carga de sólidos en suspensión
- Cantidad
- Calidad
- Turbidez

**Propiedades de la línea de base del agua subterránea** (Wikipedia, la enciclopedia libre. htm Agua subterránea).

El agua subterránea forma parte integrante del ciclo hidrológico general y debe verse en este contexto. Es muy importante como fuente de agua en las zonas áridas donde el suministro de agua de superficie es limitado. Los acuíferos también son una vía potencial para el transporte de contaminantes (APUNTES-1,6; IDEAM. 1998; RAMÍREZ, G. 2006).

En las operaciones mineras, las preguntas que podrían surgir con respecto al agua subterránea son:

- ¿Agotarán las operaciones el suministro de agua subterránea y modificarán la elevación del nivel freático en forma significativa? Esto puede suceder durante el desagüe de las minas.
- ¿Existe peligro de infiltración descendente de la contaminación y polución del agua subterránea a causa de las operaciones? Los emplazamientos de colas y el almacenamiento de minerales puede resultar preocupante en este sentido.
- ¿A qué velocidad se desplaza el agua subterránea?
- ¿Es la calidad del agua subterránea compatible con las operaciones? Por ejemplo, altas proporciones de sales disueltas pueden afectar la eficiencia de las operaciones de flotación por espuma.
- ¿Ha sido contaminada el agua subterránea corriente arriba por alguien más?

Muchas de estas preguntas sólo pueden responderse al considerar los aspectos regionales del suministro de agua subterránea.

Los parámetros espaciales importantes para la determinación de la línea de base hidrogeológica son:

- Los límites hidrogeológicos
- La distribución de las unidades hidroestratigráficas
- Las áreas primarias y las velocidades de recarga y descarga del agua subterránea
- Las direcciones generalizadas del flujo de agua subterránea
- La distribución de las elevaciones superficiales del nivel de las aguas subterráneas.

**MARINAS Y COSTERAS (GARZON-FERREIRA, J. 1998 GARZON-FERREIRA, J. 1998; INVEMAR. 2001; GARAY J 2004)**

- Características físicas, químicas y biológicas de las aguas costeras y marinas, corrientes marinas, dirección y velocidad
- Mareas, frecuencia, altura, duración y lugar hasta donde penetran en los ríos.
- Batimetría.
- Calidad del agua costera y marina.

- Caracterización de la biota marina.
- Ubicación de las fuentes contaminantes y caracterización de las mismas.

Ecosistemas marinos:

Litoral:

- a. rocoso,
- b. arenosos,
- c. sistemas estuarinos (lagunas costeras, bahías y desembocadura de ríos)

Arrecifes coralinos (manglares)

Factores principales que afectan los arrecifes coralinos:

- Sobrepesca
- Sedimentación
- Enriquecimiento de nutrientes

Actividades que afectan los ecosistemas marinos costeros

- Turismo y urbanización
- Pesquería
- Actividad minera
- Actividad forestal
- Agricultura
- Maricultivo (acuicultura)
- Construcciones portuarias
- Represamiento de ríos



# PROCESOS DE ANÁLISIS

CAPÍTULO

VII



Como ha sido mencionado en sesiones anteriores, el estudio de la Química del Agua, requiere el reconocer las propiedades del agua, la composición de los diversos tipos de agua, la clasificación de las fuentes de agua, estudiar los parámetros organolépticos y fisicoquímicos que determinan la calidad del agua, así como conocer los diversos contaminantes de origen orgánicos e inorgánicos presentes en el agua y sus efectos (GRENBERG, A. 1998).

Para obtener buenos resultados en un proceso analítico se debe prestar atención a los siguientes aspectos:

1. Definir el parámetro, límite de detección y precisión requeridas.
2. Escoger métodos analíticos con pequeñas fuentes satisfactorias de error sistemático y precisión adecuada. Cuando los métodos adecuados no están disponibles se deben desarrollar métodos mejorados.
3. Asegurar que los métodos escogidos no presenten ambigüedad, que sean específicos y que sean seguidos en la medida de lo posible por todos los laboratorios.
4. Estimar la desviación estándar de los resultados analíticos y, si fuese necesario, mejorar la precisión hasta que se obtenga el valor del blanco.
5. Establecer un gráfico de control y analizar regularmente las soluciones de la concentración conocida asegurando que la precisión permanezca adecuada.

## **1. TÉCNICAS ANALÍTICAS. TÉCNICAS, MÉTODOS, PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS (APHA, 1989; BAIRD, C. 2001; GARAY 2003; CARDENAS, F. 1999; [HTTP//WWW.FAO.ORG.PE/DOCREP/TO845S/TO845S0A.HTM#](http://www.fao.org.pe/docrep/to845s/to845s0a.htm#))**

Es necesario clarificar el significado de las palabras técnica, método, procedimiento y protocolo que se usan con frecuencia indistintamente.

*Técnica:* Es un principio físico o químico que puede usarse para extraer información. Implica el uso de un instrumento.

*Método:* Es la aplicación concreta de la técnica analítica para la determinación de un analito o mezcla en una muestra definida. Tiene un carácter específico y concreto, ya que debe aplicarse a un tipo de muestra y a un analito perfectamente definidos.

*Procedimiento:* Es el conjunto de información escrita en el que se detalla la forma de aplicar un método a una muestra concreta. Un método no conduce necesariamente a un procedimiento único, ya que distintos analistas o instituciones adaptarán dicho método a sus necesidades específicas.

*Protocolo:* Es el conjunto de instrucciones escritas estrictas, en las que se detalla el procedimiento que debe seguirse si se quiere que la institución que especifica el protocolo acepte los resultados del análisis. Estos son habituales cuando se utiliza la química analítica para apoyar o definir políticas públicas.

Las técnicas analíticas instrumentales las podemos clasificar en dos grupos:

- Técnicas totales, donde la señal es proporcional a la cantidad absoluta de analito.
- Técnicas instrumentales o de concentración, donde la señal es proporcional a la concentración del analito. Éstas las podemos clasificar en:
  - a) Técnicas ópticos.
  - b) Técnicas electroanalíticos
  - c) Técnicas cromatográficas

### **COMPONENTES BÁSICOS DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA.**

Un instrumento analítico es un dispositivo que convierte una señal, que no suele ser detectable directamente por el ser humano, en una forma que sí lo es (STOKER, S.H. 1980; SKOOG, D.1989; VARCACEL, M 1999).

Un instrumento analítico típico consta de cuatro componentes:

1. **Generador de señales:** produce una señal directamente relacionada con la presencia (y también, frecuentemente con la concentración) del analito. En ocasiones es una especie producida por el propio analito, como cuando se trata de determinar el pH, donde la señal son los iones  $H^+$ . Otras veces, el proceso de generación de la señal es más complicado, como por ejemplo, en espectrofotometría, donde, además de la propia muestra, se necesita una fuente de radiación y un monocromador (selector de longitud de onda). En ocasiones es una especie producida por el propio analito, como cuando se trata de determinar el pH, donde la señal son los iones  $H^+$ .
2. **Detector:** también llamado transductor de entrada, es un dispositivo que convierte un tipo de señal en otro. Cuando se trata de medir el pH, el detector es un electrodo de vidrio que transforma la actividad de los iones  $H^+$  en un potencial eléctrico, mientras que en espectrofotometría ultravioleta o visible, el detector es un tubo fotomultiplicador que transforma la energía radiante en una corriente eléctrica.
3. **Procesador de señales:** modifica la señal procedente del detector, adaptándose al dispositivo de lectura. En muchas ocasiones se produce simplemente una amplificación, si bien, a menudo simultáneamente las señales se filtran para reducir el ruido de fondo.
4. **Dispositivo de lectura:** transforma la señal procesada en otra señal inteligible para el observador. Ésta puede ser, por ejemplo, el desplazamiento de la aguja en una escala, una serie de números, un trazo en un papel, el ennegrecimiento en una placa fotográfica, etc.

## **2. ELECCIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO; PRINCIPALES FACTORES. CONTROL: PROPIEDADES ANALÍTICAS; SUPREMAS, BÁSICAS Y COMPLEMENTARIAS**

La elección de un método se realiza en función de su calidad analítica (conjunto de características de un método que lo hace igual, mejor o peor que otro método). La calidad analítica se materializa en unas propiedades que son indicadores de calidad, estos indicadores del grado de calidad permiten evaluar, comparar y validar diversas facetas (S.H. 1980; SKOOG, D.1989; VARCACEL, M 1999; BAIRD, C. 2001; GARAY 2003; CARDENAS, F 1999; STOKER).

Estas propiedades se dividen en tres grupos:

1. Propiedades analíticas supremas: Exactitud y Representatividad.
2. Propiedades analíticas básicas: Precisión, Sensibilidad y Selectividad.
3. Propiedades analíticas complementarias

### **PROPIEDADES ANALÍTICAS SUPREMAS: EXACTITUD Y REPRESENTATIVIDAD**

Las propiedades analíticas supremas son atribuibles directamente a los resultados generados. Así, si un resultado es exacto pero no es representativo del problema planteado, es sin duda un resultado de mala calidad.

#### **EXACTITUD**

Es el grado de concordancia entre el valor determinado o la media de  $n$  resultados y el valor “verdadero” del analito en la muestra en cuestión. Toda medida tiene un fallo, por lo que el valor verdadero no se conoce, pero se puede aproximar a él utilizando los siguientes materiales:

- **Material de referencia:** material o sustancia, en el cual una o más de sus propiedades están suficientemente bien establecidas para que sea usado en la calibración de un aparato, la estimación de un método de medición o para asignar valores a los materiales.
- **Material de referencia certificado (MRC):** material en el que los valores de una o más de sus propiedades están certificados por un procedimiento técnicamente validado. Realizan un ejercicio de intercalibración en un laboratorio de prestigio con una muestra, luego se hace un tratamiento estadístico rechazando los datos muy distintos y se le asigna el valor verdadero lo más exacto posible.

- Los inconvenientes son, que son caros y que muchas veces no existen los MRC para algunas muestras. Cuando no tenemos dinero o no existen los MRC para nuestra muestra tenemos que utilizar distintas estrategias para conocer la exactitud como puede ser contrastar los resultados de distintos medios o distintos laboratorios.  
Se tiene como inconvenientes que son caros y que muchas veces no existen los MRC para algunas muestras. Cuando se dispone de dinero o no existen los MRC para la muestra, se debe utilizar distintas estrategias para conocer la exactitud como puede ser contrastar los resultados de distintos medios o distintos laboratorios.
- Material estándar de referencia: material emitido por la Oficina Nacional de Normas de Estados Unidos (US National BUREAU of Standard) cuyo nombre fue cambiado recientemente a Instituto Nacional para Normas y Tecnología (National Institute for Standards and Technology, NIST).

La exactitud se caracteriza matemáticamente por el error sistemático, que es la diferencia entre el resultado experimental y el resultado real. Se puede expresar de forma absoluta o relativa.

Error absoluto:  $exi = +/- (xi - X)$

Error relativo:  $exi, rel = +/- exi / X \cdot (100)$

Los errores sistemáticos son debidos a alteraciones operacionales, presencia de interferencias, filtración no completa, contaminación. Debido a su causa, estas desviaciones son de un signo determinado, por exceso o por defecto.

Los métodos analíticos pueden dividirse en tres grupos según la magnitud de sus errores relativos:

1. Resultado experimental se encuentra dentro del 1% del resultado correcto, el método analítico es sumamente exacto.
2. Errores relativos situados entre 1% y 5% son métodos moderadamente exactos.
3. Errores relativos superiores a 5% son métodos de baja exactitud.

### **REPRESENTATIVIDAD**

Es la coherencia existente entre cada una de las partes del proceso analítico y la información suministrada por las mismas. Tiene como soporte básico un muestreo adecuado.

### **PROPIEDADES ANALÍTICAS BÁSICAS: PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y SELECTIVIDAD**

Son fundamentalmente tres: precisión, sensibilidad y selectividad, aunque también se puede incluir el muestreo adecuado que no es una característica propiamente dicha ((S.H. 1980; SKOOG, D.1989; VARCACEL, M 1999; BAIRD, C. 2001; GARAY 2003; CARDENAS, F 1999; STOKER).

Son el soporte de las propiedades supremas, no se puede alcanzar la exactitud sin que existan niveles adecuados de precisión sensibilidad y selectividad. No se puede alcanzar la representatividad sin el muestreo adecuado.

### **PRECISIÓN**

Es el grado de concordancia entre un grupo de resultados obtenidos al aplicar repetitiva e independientemente el mismo método analítico a alícuotas de la misma muestra, o la dispersión de estos resultados entre sí y con su media.

La precisión se materializa en los errores aleatorios o indeterminados debidos al azar. La precisión de un resultado individual se define como la diferencia entre este y la media aritmética, lo que coincide con el error sistemático.

$dxi = +/- (xi - X)$   $dxi, rel = +/- (dxi / X) \cdot 100$

La precisión de un conjunto de resultados se caracteriza por la desviación estándar:

La precisión se divide en dos categorías:

1. Repetibilidad: es la dispersión de resultados de ensayos mutuamente independientes, utilizando el mismo método aplicado a alícuotas de la misma muestra, en el mismo laboratorio, por el mismo operador, usando el mismo equipamiento en un intervalo corto de tiempo. Es una medida de la varianza y un reflejo de la máxima precisión que el método pueda alcanzar.

2. Reproducibilidad: es la dispersión de resultados de ensayos mutuamente independientes utilizando el mismo método aplicado a alícuotas de la misma muestra en diferentes condiciones: distintos operadores, diferente equipamiento o diferentes laboratorios.

### **SENSIBILIDAD**

Es la capacidad para discriminar entre concentraciones semejantes de analito o su capacidad para poder detectar o determinar pequeñas concentraciones de analito en la muestra. Depende de dos factores: la pendiente de la curva de calibrado y de la desviación estándar.

El límite de detección es la concentración o peso mínimo del analito que origina una señal que puede diferenciarse estadísticamente de la señal del blanco.

### **SELECTIVIDAD**

Es la capacidad para originar resultados que dependen de forma exclusiva del analito para su identificación o cuantificación en la muestra. Se materializa en las interferencias y alteran los resultados analíticos son errores sistemáticos.

Un método es robusto cuando está relativamente libre de interferencias químicas y puede aplicarse a la determinación de analitos en muestras con una amplia variedad de matrices.

Un método es sólido cuando es relativamente insensible a los cambios en condiciones experimentales como temperatura, acidez.

### **PROPIEDADES ANALÍTICAS COMPLEMENTARIAS**

Definen la productividad del laboratorio, aunque parecen menos importantes, son fundamentales.

- Rapidez: se refiere al tiempo de análisis, se denomina “frecuencia de muestreo” que es el número de muestras procesadas de forma completa por unidad de tiempo.
- Costes: valor económico de cada análisis.
- Factores personales: El factor humano es muy importante desde el punto de vista de seguridad del personal del laboratorio y del medio ambiente y también considerando las buenas condiciones para la estadia del personal en el laboratorio.

La elección del método se realiza comparando todas estas propiedades, siendo todas importantes, ya que hay que comparar métodos que sean muy exactos con costes muy elevados con otros que a lo mejor no son tan exactos pero tienen unos costes más aceptables. El tiempo de análisis también es un factor muy importante en laboratorios que manipulan un gran número de muestras.

La selección de un método específico requiere un equilibrio entre los criterios anteriores.

## **3. ANÁLISIS DE LAS AGUAS**

Los análisis comunes en el campo del control de la calidad del agua se basan en principales analíticos relativamente directos. Los análisis cuantitativos se pueden efectuar por métodos gravimétricos, volumétricos o colorimétricos. Es posible determinar la presencia de ciertos constituyentes por medio de diferentes tipos de electrodos y hay creciente interés en el desarrollo de técnicas automatizadas para el monitoreo continuo de parámetros importantes (CASANOVA. 1997; GARAY 2003).

Se debe reconocer que, debido a las bajas concentraciones de las impurezas en el agua, el trabajo de laboratorio frecuentemente es de naturaleza microanalítica, lo que requiere del uso de procedimientos cuidadosos.

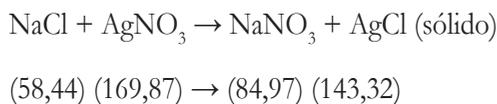
#### 4. ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO. CONCEPTO Y TÉRMINOS. FACTOR GRAVIMÉTRICO. POR CIENTO EN PESO. CÁLCULOS

El análisis gravimétrico está basado en la Ley de las proporciones definidas, que establece que, en cualquier compuesto puro, las proporciones en peso de los elementos constituyentes siempre son las mismas, y en la Ley de la consistencia de la composición, que establece que las masas de los elementos que toman parte en un cambio químico muestran una relación definida e invariable entre sí ([http://www.apuntes.rincondelvago.com/practicar\\_medias/quimica/2/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/practicar_medias/quimica/2/); GARAY 2003; [www.monografia.com/trabajos14/metodosgravimetrico](http://www.monografia.com/trabajos14/metodosgravimetrico) ml#; VARCACEL, M; 1999).

Dicho análisis consiste en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida, que sea susceptible de pesarse.

Los cálculos se realizan con base en los pesos atómicos y moleculares, y se fundamentan en una constancia en la composición de sustancias puras y en las relaciones ponderales (estequiometría) de las reacciones químicas.

Un cloruro soluble, como el cloruro de sodio, tratado con una sal soluble de plata, da un precipitado de cloruro de plata, que puede ser filtrado, lavado, desecado y pesado. La reacción química que se lleva a cabo se puede representar por la ecuación molecular:



Que indica que 143,32 partes en peso de cloruro de plata se obtienen de 58,44 partes en peso de cloruro de sodio, entonces, cualquier peso dado de cloruro de plata proviene de cloruro de sodio en la misma relación.

Ejemplo 1

¿Qué peso de NaCl dará lugar a 0,500 g de AgCl?

Solución:

$$g \text{ NaCl} = 0,500 \text{ g AgCl} \times 58,44 \text{ g NaCl} / 143,32 \text{ g AgCl} = 0,2039 \text{ g NaCl}$$

El factor gravimétrico,  $\text{NaCl} / \text{AgCl}$ , es la relación del peso fórmula de la sustancia original, NaCl, a la sustancia pesada, AgCl; utilizando dicho factor se convertirá cualquier peso dado de AgCl en el peso de NaCl que lo origina. En términos generales:

$$g \text{ de sust. buscada} = g \text{ de sust. Pesada} \times a \text{ (P.F de sustancia buscada)} / b \text{ (P.F de sustancia pesada)}$$

en donde a y b son los coeficientes necesarios para representar la estequiometría de las sustancias involucradas en la reacción llevada a cabo.

En el ejemplo 1,  $a = b = 1$ .

Ejemplo 2

Calcular el peso de  $\text{BaCl}_2$  que da lugar a 0,500 g de AgCl.

Solución: Cada mol de  $\text{BaCl}_2$  produce 2 moles de AgCl:

$$\text{BaCl}_2 \qquad 2\text{AgCl}$$
$$(208,25) \qquad (2 \times 143,32)$$

El factor gravimétrico en este caso es  $\text{BaCl}_2 / 2\text{AgCl}$ ; de donde

$$g \text{ BaCl}_2 = 0,500 \text{ g AgCl} \times 208,25 \text{ g BaCl}_2 / 286,64 \text{ g AgCl} = 0,3633 \text{ g BaCl}_2$$

## FACTORES GRAVIMÉTRICOS

Un factor gravimétrico (o factor químico) puede definirse como el peso de una sustancia deseada equivalente al peso unitario de una sustancia dada. Los factores gravimétricos se obtienen con base en las siguientes reglas ([www.monografia.com/trabajos14/metodosgravimetrico ml#](http://www.monografia.com/trabajos14/metodosgravimetrico ml#)):

1. El factor gravimétrico está representado siempre por el peso atómico o el peso fórmula de la sustancia buscada por numerador y el peso de la sustancia pesada por denominador.
2. Aunque la conversión de la sustancia que se busca en la que se pesa se verifica mediante una serie de reacciones, solamente estas dos sustancias están implicadas en el cálculo del factor; no se tienen en cuenta las sustancias intermedias.
3. El número de veces que los pesos atómicos o formularios de las sustancias figuran en el numerador y en el denominador del factor, debe representar la estequiometría de la reacción química que se lleva a cabo.

Los factores gravimétricos son fundamentales para realizar los cálculos, especialmente cuando se hacen análisis repetidos de un determinado constituyente. Por ejemplo, el factor  $\text{Cl}/\text{AgCl} = 35,45 / 143,32 = 0,2473$  es el mismo para todas las determinaciones de cloro pesado en forma de cloruro de plata, independientemente de la forma original del cloro que se determina.

## CÁLCULO DE PORCENTAJES

Puesto que el factor gravimétrico representa el peso del elemento o compuesto deseado equivalente a un peso unitario del elemento o compuesto pesado, puede calcularse el peso de la especie deseada a partir de cualquier peso de la especie pesada. El porcentaje de esa sustancia presente en la muestra puede encontrarse dividiendo entre el peso de la muestra y multiplicando por 100.

Ejemplo 3

Una muestra de 0,400 g, que contiene cloruro, da un precipitado de cloruro de plata que pesa 0,250 g; calcular el porcentaje de cloro en la muestra.

Solución: el peso de cloro en la muestra se calcula así

$$g \text{ Cl} = g \text{ AgCl} \times \text{Cl} / \text{AgCl} = 0,250 \times 35,45 / 143,32 = 0,06184 \text{ g Cl}$$

Este peso de cloro está contenido en 0,400 g de muestra; el porcentaje de cloro será entonces:

$$\% \text{ Cl} = 0,06184 / 0,400 \times 100 = 15,46 \% \text{ Cl}$$

En general, se puede utilizar la siguiente fórmula para calcular porcentajes:

$$\% \text{ de X en la muestra} = (g \text{ de Y pesados} \times (aX/bY) \times 100) / g \text{ de muestra}$$

En la que X es la sustancia buscada, Y es la sustancia pesada, a y b son los coeficientes de X y Y, respectivamente, necesarios para expresar la relación estequiométrica correcta entre ambas sustancias.

## CÁLCULO DE PESOS ATÓMICOS

El procedimiento experimental que normalmente se sigue para determinar valores de pesos atómicos es preparar, a partir del elemento, un compuesto con alto grado de pureza. Este compuesto se pesa y los porcentajes de sus constituyentes se determinan gravimétricamente.

Los cálculos matemáticos que se realizan son exactamente similares a los de un análisis gravimétrico, excepto que el peso atómico del elemento deseado es el único factor desconocido.

#### Ejemplo 4

2,56823 g de cloruro de sodio cuidadosamente purificado produjeron 6,2971 g de cloruro de plata. Suponiendo que los pesos atómicos del cloro y de la plata que se tomaron fueron de 35,457 y 107,880 respectivamente, calcule el peso atómico del sodio.

Solución:  $\text{Peso del NaCl} = \text{peso del AgCl} \times \text{NaCl/AgCl}$

$$2,56823 = 6,2971 \times \text{NaCl/AgCl}$$

$$2,56823 = 6,2971 \times (\text{Na} + 35,457)/(107,880 + 35,457)$$

Despejando Na:

$$\text{Na} = (2,56823 \times (107,880 + 35,457))/6,2971 - 35,457 = 23,002$$

### CÁLCULOS EN LOS QUE INTERVIENE UNA MUESTRA EN PESO COMO FACTOR

En trabajo industrial, en donde se analiza un gran número de muestras de materiales similares, a veces es deseable regular el peso de la muestra de manera que el peso del producto final obtenido, multiplicado por un factor simple, sea exactamente igual al porcentaje del constituyente deseado. Debido a esto, y sin mucha experiencia en pesar con exactitud, es posible tener la muestra pesada directamente contra una tara, y al mismo tiempo, eliminar tanto los tediosos cálculos necesarios para cada análisis, como la posibilidad de errores matemáticos.

El cálculo del porcentaje de un constituyente deseado en un análisis químico que requiera una determinación gravimétrica se realiza por medio de la fórmula:

$$\% = (\text{gramos de producto} \times \text{factor gravimétrico}) / \text{gramos de muestra} \times 100$$

#### Ejemplo 5

El factor gravimétrico de cierto análisis es 0,3427. Se desea regular el peso de la muestra tomada de manera que (a) cada centigramo del precipitado obtenido represente el 1% del constituyente deseado, (b) el porcentaje sea el doble del número de centigramos del precipitado. ¿Qué peso de muestra debe tomarse en cada caso?

Solución:

a. La relación entre el peso del precipitado y el porcentaje del constituyente es tal, que 0,01 g  $\approx$  1 %. Por tanto,

$$1 = 0,01 \times 0,3427 / X \times 100 = 0,3427 \text{ g}$$

b.  $2 = 0,01 \times 0,3427 / X \times 100 = 0,1714 \text{ g}$

#### Ejemplo 6

¿Qué peso de muestra debe tomarse en un tipo de análisis para que 10,00 mg de cloruro de plata precipitado represente el 1,00 % de cloro en la muestra?

Solución: factor gravimétrico =  $\text{Cl/AgCl} = 0,2473$

$$1,00 \% \text{ Cl} = 0,01000 \text{ g AgCl} \times 0,2473 / \text{g de muestra} \times 100$$
$$\text{g muestra} = 0,01000 \text{ g AgCl} \times 0,2473 / 1,00 \times 100 = 0,2473 \text{ g}$$

## CÁLCULOS REFERIDOS A LA MUESTRA SECA

Para las muestras que tienden a ganar o perder humedad con facilidad, los análisis en distintos tiempos y en condiciones diferentes de almacenamiento no resultan concordantes. Con estas muestras pueden seguirse dos procedimientos: (1) dejar secar la muestra al aire hasta constancia de peso; (2) desecar la muestra en una estufa a unos 110° C (procedimiento habitual).

Los constituyentes se determinan con referencia a la muestra seca y después pueden referirse a la muestra tal como se recibe, conocida la pérdida de peso por desecación, que se determina aisladamente. Como en la desecación se elimina un constituyente de la muestra (el agua), los demás constituyentes quedarán en la muestra seca en una proporción superior a la que tenían en la muestra original.

### Ejemplo 7

Una muestra de sal de Glauber comercial ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  impuro) contiene el 20,0 % de  $\text{SO}_3$ . Una muestra exactamente de 1g, desecada en estufa, deja un residuo que pesa 0,52g. (a) Calcular el porcentaje de agua en la muestra. (b) Calcular el tanto por ciento de  $\text{SO}_3$  respecto a la muestra seca.

Solución:

Para resolver este tipo de problemas se deben tener en cuenta las siguientes fórmulas, las cuales nos servirán para calcular algunas cantidades:

$$\% \text{ Y m.o.} = \% \text{ Y m.d} \times (100 - \% \text{ m.d de pérdida}) / 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ Y m.d.} = 2,56828 (107,88 - 35,457) / 6,2971 \quad (2)$$

En donde Y es el constituyente analizado y las abreviaturas m.o. y m.d. significan muestra original y muestra desecada, respectivamente.

- Para hallar el porcentaje de agua en la muestra, debemos tener en cuenta la cantidad de partida (1 g) y la cantidad obtenida por desecación (0,52 g)  
 $\% \text{ de agua} = \text{NaCl/AgCl} \times 100 = 48,0 \%$
- Para calcular el porcentaje de  $\text{SO}_3$  podemos utilizar la ecuación (2) ya que se refiere a un componente de la muestra desecada.  
 $\% \text{ SO}_3 \text{ m. d.} = 20,0 \times 100 / (100,0 - 48,0) = 38,5 \%$

## MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS INDIRECTOS

Algunos pares de sustancias difíciles de separar pueden determinarse indirectamente si cumplen con las siguientes condiciones: (1) Pueden obtenerse conjuntamente en forma pura para la pesada; (2) contienen un elemento (ion) común que puede convertirse en otro producto y ser pesado como tal, o pueden ser convertidas en una mezcla de otros compuestos puros, que se pesan conjuntamente.

Por ejemplo, el sodio y el potasio pueden transformarse conjuntamente en cloruros ( $\text{NaCl}$  y  $\text{KCl}$ ) que se pesan. Disuelta esta mezcla de cloruros y transformado el ion cloruro en cloruro de plata, se pesa de nuevo. Los cálculos para estos métodos, y específicamente para este ejemplo, son los siguientes:

$$\text{Sea } Y = \text{g de NaCl} + \text{KCl}$$

$$\text{y } X = \text{g de NaCl}, \text{ entonces } (Y - X) = \text{g de KCl}$$

Luego se escriben los factores gravimétricos correspondientes:

$$\text{g AgCl procedentes de NaCl} = X \text{ AgCl/NaCl}$$

$$\text{g AgCl procedentes de KCl} = (Y - X)\text{AgCl/KCl}$$

$$\text{g totales de AgCl} = X \text{AgCl/NaCl} + (Y - X)\text{AgCl/KCl}$$

Ahora se sustituyen los factores gravimétricos por valores numéricos

$$\text{g totales de AgCl} = X(143,32/58,44) + (Y - X) (143,32/74,56) = 2,4524 X + 1,9222 (Y - X)$$

Al ser conocidos los pesos de AgCl y de la mezcla de cloruros, Y, se resuelve fácilmente la ecuación para calcular X (gramos de NaCl en la muestra). Una vez calculados los pesos de cloruro de sodio y cloruro de potasio, el resto de los cálculos gravimétricos pueden efectuarse de la manera usual.

Los métodos indirectos no deben aplicarse a la determinación de un constituyente que esté presente en cantidades muy pequeñas, pues cualquier error en la determinación del otro constituyente, aunque sea pequeño, se reflejaría como error importante de signo contrario en este constituyente.

#### Ejemplo 8

En el análisis de una muestra de feldespato que pesa 0,4150 g se obtiene una mezcla de KCl + NaCl que pesa 0,0715 g. De estos cloruros se obtienen 0,1548 g de  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ . Calcule el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$  en el feldespato.

Solución:

Sea  $x$  = peso del NaCl en los cloruros combinados

Entonces, como los dos cloruros pesan 0,0715 g,

$$0,0715 - x = \text{peso del KCl}$$

Ahora se calculan los gramos de NaCl a partir del  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ :

$$(0,0715 - x) \times \text{K}_2\text{PtCl}_6/2\text{KCl} = 0,1548$$

Despejando  $x$  se tiene

$$x = 0,0240 \text{ g de NaCl}$$

Luego se calcula el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$  estableciendo el factor gravimétrico entre  $\text{Na}_2\text{O}$  y NaCl,

$$P_1/P_2 = T_1/T_2 \times 100 = 3,07 \% \text{ de } \text{Na}_2\text{O}$$

#### Ejemplo 9

En el análisis de una muestra de feldespato de 0,5000 g se obtiene una mezcla de cloruros de sodio y de potasio que pesa 0,1180 g. Un tratamiento posterior con  $\text{AgNO}_3$  produce 0,2451 g de AgCl. ¿Cuál es el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$  y de  $\text{K}_2\text{O}$  en la muestra?

Solución:

Sea

$x$  = peso de KCl

$y$  = peso de NaCl

$$x + y = 0,1180 \text{ (1)}$$

Gramos de AgCl que se obtienen de  $x$  g de KCl =  $x (\text{AgCl/KCl} = 1,922 x$

Gramos de AgCl que se obtienen de  $y$  g de NaCl =  $y (\text{AgCl/NaCl}) = 2,452 y$

Entonces:  $1,922 x + 2,452 y = 0,2451$  (2)

Ahora se resuelve el sistema de ecuaciones que forman (1) y (2),

$$\left\{ \begin{array}{l} X + y = 0,1180 \\ 1,922 x + 2,452 y = 0,2451 \end{array} \right.$$

(La resolución de este sistema de ecuaciones queda como ejercicio para el lector)

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene los valores:

$$x = 0,0835 \text{ g de KCl}$$

$$y = 0,0345 \text{ g de NaCl}$$

Por último se calculan los porcentajes pedidos:

$$\% \text{ K}_2\text{O} = 0,0835 \times (\text{K}_2\text{O}/2\text{KCl})/0,500 \times 100 = 10,5 \% \text{ K}_2\text{O}$$

$$\% \text{ Na}_2\text{O} = 0,0345 \times (\text{Na}_2\text{O}/2\text{NaCl})/0,500 \times 100 = 3,66 \% \text{ Na}_2\text{O}$$

## 5. ANÁLISIS VOLUMÉTRICO. CONCEPTOS Y TÉRMINOS. TITULACIONES: PUNTO FINAL Y DE EQUIVALENCIA. ERROR DE VAVALORACIÓN

El análisis volumétrico es una técnica de análisis químico cuantitativo (APUNTES-5; RODIER, J 1996; RUIZ, R 1998; VARCACEL, M 1999; GARAY 2003).

Se basa en la medida del volumen de una disolución de concentración conocida necesario para reaccionar completamente con el compuesto a determinar (analito).

El proceso de adición de volúmenes de la disolución conocida se denomina valoración. Generalmente la disolución con el reactivo conocido (disolución patrón) se coloca en una bureta y la disolución del analito en un Erlenmeyer. La disolución patrón se añade gota a gota hasta que ha reaccionado con todo el analito. Entonces se mide el volumen consumido y mediante un cálculo estequiométrico sencillo se puede calcular la cantidad del compuesto problema.

Al final de la valoración se aprecia por un cambio brusco de alguna propiedad de la disolución en el Erlenmeyer, generalmente un cambio de color que se ve a simple vista. Para que se produzca este cambio es preciso poner en la disolución del Erlenmeyer una pequeñísima cantidad de una sustancia llamada indicador.

El final de la valoración se denomina *punto de equivalencia* o *punto final*.

### CONCEPTOS Y TÉRMINOS

A continuación se relacionan algunos conceptos y términos más usados en los procesos de análisis volumétrico.

*Blanco*: Agua reactivo o matriz equivalente a la que no se le aplica ninguna parte del procedimiento analítico y sirve para evaluar la señal de fondo.

*Blanco analítico o de reactivos:* Agua reactivo o matriz equivalente que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia por determinar, pero que contiene los mismos disolventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra problema.

*Muestra:* Parte representativa de la materia objeto del análisis.

*Patrón (de medición):* Material de referencia, instrumento de medición, medida materializada o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

La alcalinidad en el agua se expresa como la cantidad equivalente de  $\text{CaCO}_3$ , en mg/L. La alcalinidad, entendida como la concentración de metales alcalinotérreos, tiene importancia en la determinación de la calidad del agua para riego y es además, un factor importante en la interpretación y el control de los procesos de purificación de aguas residuales.

*Indicador (química):* En química, un indicador es una sustancia natural o sintética que añadida a la muestra sobre la que se desea realizar el análisis produce un cambio físico que es apreciable por los sentidos (generalmente, un viraje de color).

Este cambio en el indicador se produce debido a que durante el análisis se lleva a cabo un cambio en las condiciones de la muestra e indica el punto final de la valoración. El funcionamiento y la razón de este cambio varía mucho según el tipo de valoración y el indicador utilizado.

Los indicadores más usados son:

- Indicador de pH, detecta el cambio del pH.
- Indicador redox, un indicador químico de titulación redox.
- Indicador complejométrico, un indicador químico para iones metálicos en complejometría.
- Indicador de precipitación, utilizado para valoraciones de precipitación o solubilidad, generalmente gravimetrías.

## VALORACIONES O TITULACIONES

La valoración es un procedimiento simple, extensamente usado en el análisis químico. Sin embargo debe tenerse muy presente que este procedimiento no es aplicable en aquellos casos en los que se requiere determinar cantidades de analito que se hallan en nivel de trazas. En general el límite inferior para utilizar un procedimiento de titulación que tenga una buena precisión depende principalmente de dos factores:

1. La reacción entre el titulante y el analito debe ser completa.

Si los reactivos involucrados se encuentran muy diluidos, el equilibrio se desplaza hacia las formas sin reaccionar. En la práctica esto tiene como resultado que se deben tener cantidades pequeñas de analito en volúmenes pequeños.

2. El volumen de la solución del analito debe ser de un tamaño suficientemente grande para que se pueda medir con buena precisión.

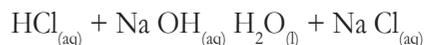
La cantidad y precisión en la medida del titulante no ofrece mayor problema, ya que en la actualidad se dispone de sistemas de titulación automáticos que permiten agregar centésimas de mililitro con precisiones mejores de un microlitro.

## TIPOS DE VALORACIÓN

- Valoraciones ácido-base: reacciones de neutralización.
- Valoraciones redox: reacciones de oxidación-reducción.
- Valoraciones de precipitación: reacciones de solubilidad-precipitación.
- Valoraciones de formación de complejos o complexometrías: reacciones de complejación.

## VALORACIONES ÁCIDO-BASE

Una reacción de neutralización entre un ácido y un hidróxido metálico produce agua y una sal.



Ecuación iónica neta:



El procedimiento se aplica para determinar la concentración de un ácido o una base en solución, por medio de la adición de una base o un ácido de concentración conocida.

Durante la titulación, el punto en que se neutraliza un ácido o una base se denomina punto de equivalencia.

Si se va añadiendo poco a poco una base a un ácido, el pH de la solución se incrementa con cada adición de base. El diagrama que representa la variación del pH durante la valoración se denomina curva de titulación (Figura No. 19).

Si se representa gráficamente el pH en función de la cantidad de base añadida, se observa una subida brusca en el punto de equivalencia. La región de subida brusca se llama punto final y se reconoce cuando el reactivo indicador cambia de color.

El pH de la solución antes del punto de equivalencia se determina por la concentración del ácido que aún no ha sido neutralizado por la base. El pH en el punto de equivalencia es el pH de la sal resultante.

Debido a que la sal que se produce por la reacción de un ácido fuerte y una base fuerte no se hidroliza, el punto de equivalencia se produce a pH 7,00.

El pH de la solución después del punto de equivalencia está determinado por la concentración del exceso de base en la solución.

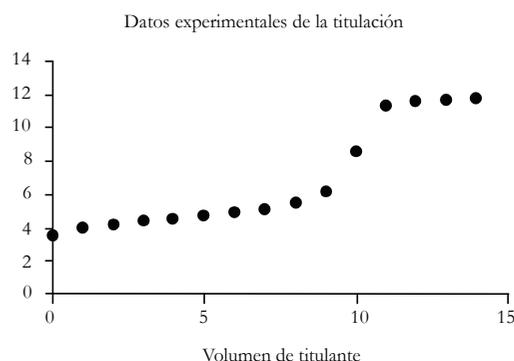


Figura No. 19. Curvas de titulación ácido-base

## CÁLCULOS GENERALES

Se debe tener en consideración de que la aplicación la titulación es llegar a conocer la concentración de una especie química, para este propósito se determina (se hace reaccionar) cuanto valorante es necesario añadir para que reacciones cantidades estequiométricas de ambos reactivos.

Conociendo el volumen del punto equivalente, la concentración del valorante y el volumen, o peso, del analito, es posible realizar el cálculo de la concentración.

Conociendo los valores mencionados antes, la concentración del analito es factible encontrarla utilizando esta fórmula:

$$V_{\text{analito}} \times [\text{analito}] = V_{\text{titulante}} \times [\text{titulante}]$$

Que si bien se simplifican los cálculos (se trata de reemplazar las variables conocidas y despejar la concentración de analito), es importante tener en cuenta que no es posible utilizarla para todas las reacciones de titulación, es válida sólo para aquellas reacciones que respondan a una estequiometría 1:1, es decir que reaccionen los mismos moles de analito que de valorante, para alcanzar el punto equivalente.

### **METODO DE WINKLER**

Este metodo constituye uno de los procedimientos volumétricos para la determinación del oxígeno disuelto, también conocido como yodométrico. Dicho método se fundamenta en reacciones que liberan una determinada cantidad de yodo equivalente a la cantidad inicial de oxígeno, siendo realizada la medición de yodo liberado mediante una solución de un agente reductor. El agente reductor frecuentemente utilizado es el tiosulfato de sodio, y como indicador del punto final una solución de almidón. Todas las reacciones para la determinación del oxígeno disuelto son de oxidación-reducción, sin embargo al utilizar el almidón como indicador, este forma un complejo con el yodo, que produce un color azul brillante y retorna a la forma incolora cuando el yodo ha sido reducido a ion yoduro.

## **6. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS INSTRUMENTALES. MÉTODOS ÓPTICOS. TÉCNICAS INSTRUMENTALES. MÉTODOS ELECTROANALÍTICOS Y CROMATOGRÁFICOS**

([HTTP//WWW.FAO.ORG.PE/DOCREP/TO845S/TO845S0A.HTM#](http://www.fao.org.pe/docrep/TO845S/TO845S0A.HTM#); APHA, 1989; BAIRD, C. 2001; GARAY 2003; CARDENAS, F 1999)

Las técnicas analíticas instrumentales se pueden clasificar en dos grupos:

- Técnicas totales, donde la señal es proporcional a la cantidad absoluta de analito.
- Técnicas instrumentales o de concentración, donde la señal es proporcional a la concentración del analito.

Éstas las podemos clasificar en:

- a) Técnicas ópticas.
- b) Técnicas electroanalíticas
- c) Técnicas cromatográficas

### **TÉCNICAS INSTRUMENTALES**

*La espectroscopía de absorción de visible y ultravioleta:* es la más empleada por su sencillez y el bajo coste de los aparatos más sencillos capaces de llevarla a cabo: los colorímetros. Esta técnica especialmente cuantitativa se fundamenta en la disminución de intensidad que sufre un rayo de luz monocromática al atravesar una disolución que contenga un constituyente que absorba parte de la radiación. Este método presenta gran cantidad de aplicaciones cuantitativas tanto orgánicas como inorgánicas. También se utiliza como indicadora del punto final de una titulación.

*La espectroscopía de absorción atómica:* se emplea en la determinación cuantitativa de metales en disolución y se basa en la absorción de radiación generada en una lámpara, que contiene el propio metal sometido a estudio, cuando atraviesa una llama en la que se halla pulverizada la disolución problema que contiene dicho metal. Es una técnica muy empleada por su sencillez de manejo y por la cantidad de elementos que puede detectar.

*La fluorimetría:* es una técnica de emisión de radiación; ésta se produce después de la absorción de un fotón por parte del constituyente, seguida por la pérdida de la energía adquirida por un mecanismo de intercambio de calor (choques moleculares) y por emisión de un nuevo fotón. Las sustancias orgánicas de moléculas grandes y rígidas son las que presentan esta importante cualidad analítica cuantitativa. La fluorimetría utiliza en general la radiación ultravioleta como agente de excitación y la radiación emitida cae frecuentemente en la zona visible.

*La espectroscopia de absorción infrarroja:* se emplea con profusión para fines cualitativos en química orgánica, pues permite el análisis sencillo de los grupos funcionales de una molécula. Ello es debido a que la radiación infrarroja interacciona con los estados de energía vibracional de los enlaces y éstos son característicos de los átomos que los forman.

*La turbidimetría y la nefelometría:* son dos técnicas complementarias que se utilizan para el análisis cuantitativo de disoluciones coloidales, emulsiones, humos o nieblas. En general se utiliza radiación en la zona visible, que al atravesar la cubeta con el problema es dispersada por las pequeñas partículas de éste. En la turbidimetría se compara la intensidad del rayo de luz que emerge con la del que llega a la disolución. En cambio, en la nefelometría la medida de la intensidad de luz se hace con un ángulo de  $90^\circ$  con respecto a la radiación incidente.

Se agrupan en este apartado las técnicas cuyo fundamento comporta la interrelación entre la energía electromagnética y la materia.

En general se asigna también a estos métodos el nombre global de espectroscopía. Los efectos que provoca la materia sobre la radiación son de varios tipos.

Así, se puede provocar la absorción de esta última, su emisión por parte de la materia en estados excitados, o bien algún cambio en su trayectoria o en sus planos de vibración. Los fenómenos antes expuestos dan lugar a distintos tipos de espectroscopía.

Es también frecuente dividir las técnicas ópticas de acuerdo con la región espectral que interacciona con la materia.

Así, es frecuente denominar a la espectroscopia como:

- De rayos X,
- Ultravioleta lejano,
- Ultravioleta cercano y visible,
- Infrarrojo cercano y medio,
- Infrarrojo lejano, microondas y radiofrecuencia.

Cada zona espectral corresponde a un tipo de interacción que se verá separadamente.

## **7. PRINCIPIO DE LA COLORIMETRÍA. ABSORBANCIA Y TRANSMITANCIA. LEY DE LAMBERT-BEER**

Los métodos colorimétricos se fundamentan en la absorción de la luz por una sustancia (VARCACEL, M 1999; GARAY 2003).

### **MÉTODOS VISUALES**

Tubos de comparación (tubos Nessler). Se prepara un juego estándar de concentraciones de la sustancia bajo análisis y se agrega el reactivo apropiado.

Discos de color. En este caso los estándares están en la forma de una serie de filtros de vidrio debidamente coloreados a través de los cuales se observa una profundidad estándar de agua destilada o muestra sin los reactivos que forman el color.

### **MÉTODOS INSTRUMENTALES**

Absorciómetro o colorímetro. Este tipo de instrumento consiste de una celda de vidrio para la muestra a través de la cual pasa un rayo de luz de una lámpara de bajo voltaje. La luz que atraviesa la muestra la detecta una celda fotoeléctrica que registra la intensidad en una carátula calibrada.

La sensibilidad se aumenta con el uso de celdas de muestra de diferente longitud.

Espectrofotómetro. Este es un instrumento más exacto, con el mismo principio básico que un absorciómetro pero con el empleo de un prisma para proyectar luz monocromática de la longitud de onda deseada. De esta manera se aumenta la sensibilidad y con instrumentos más caros se pueden llevar a cabo mediciones en las regiones del infrarrojo y ultravioleta así como en las bandas de onda de la luz visible.

Lo expuesto reviste una gran importancia teórica y práctica, lo cual ha permitido el desarrollo de una gran diversidad de equipos analíticos, posibilitando a su vez la aplicación en diferentes campos de la ciencia, la industria y la medicina, entre de una gran variedad de procedimientos analíticos.

La espectrofotometría es una de las técnicas en las que el principio antes enunciado, es su base fundamental.

Cuando una molécula absorbe un fotón, su energía aumenta. Se dice que la molécula ha pasado a un estado excitado

- Si una molécula emite un fotón, su energía disminuye. El estado de mínima energía de una molécula se llama estado fundamental
- La radiación de IR estimula el movimiento vibracional de las moléculas cuando la absorben, y las radiaciones visible y UV hacen que los electrones pasen a orbitales de mayor energía
- Los rayos X y la radiación UV lejano rompen enlaces químicos y ionizan moléculas. Los rayos X que se utilizan en medicina dañan el cuerpo humano y deben ser reducidos al mínimo.

Cuando una muestra absorbe luz, la potencia radiante del haz de luz disminuye. La potencia radiante,  $P$ , es la energía por segundo y por unidad de área del haz de luz.

En la Figura No. 20 se ilustra una experiencia espectrofotométrica rudimentaria. La luz se hace pasar a través de un monocromador (prisma, red de difracción o incluso un filtro) para seleccionar una longitud de onda. La luz de una sola longitud de onda se llama monocromática, o sea, de "un color". La luz monocromática, con una potencia radiante  $P_0$ , incide en una muestra de longitud  $b$ . La potencia radiante del haz que emerge por el lado opuesto de la muestra es  $P$ . Como la muestra puede haber absorbido algo de luz,  $P \leq P_0$ .

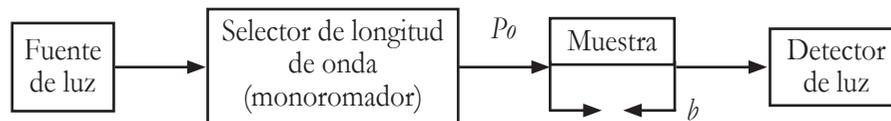


Figura No. 20. Diagrama esquemático de una medida espectrofotométrica de un haz simple

La transmitancia,  $T$ , se define como la fracción de la luz incidente que pasa a través de la muestra.

$$\text{Transmitancia: } T = P/P_0$$

Por tanto,  $T$  puede valer de 0 a 1. El porcentaje de transmitancia es simplemente  $100T$  y puede valer desde 0 a 100%. La absorbancia se define como la fracción de luz que es absorbida por la muestra, la cual también es conocida como Densidad Óptica.

$$\text{Absorbancia: } A = \log_{10} (P_0/P) = -\log T$$

La absorbancia es importante porque es directamente proporcional a la concentración,  $c$ , de la especie que absorbe la luz en la muestra.

$$\text{Ley de Beer: } A = \epsilon bc$$

La ecuación anterior, que es el fundamento de la espectrofotometría, tal como se aplica en química analítica, se llama la ley de Lambert Beer o simplemente Ley de Beer. La absorbancia es adimensional, pero algunos

escriben "unidades de absorbancia" después de la absorbancia. La concentración de la muestra  $c$ , normalmente viene dada en unidades de mol/l (M). El paso óptico,  $b$ , normalmente se expresa en centímetros. La cantidad  $\epsilon$  se llama absorptividad molar (o *coeficiente de extinción* en libros antiguos) y tiene unidades como unidades  $M^{-1} \text{cm}^{-1}$  y así el producto  $\epsilon bc$  es adimensional. La absorptividad molar es la característica de una sustancia que nos dice cuánta luz absorbe a una longitud de onda determinada.

La luz monocromática tiene "un solo color" (una longitud de onda). Aunque es imposible producir luz monocromática, cuanto mejor es el monocromador más estrecho es el intervalo de longitudes de onda del haz emergente.

La ley de Beer se cumple para una radiación monocromática que atraviesa una disolución diluida, cuando la especie absorbente no participa en un equilibrio que depende de su concentración.

La ley de Beer afirma que la absorbancia es proporcional a la concentración de la especie absorbente. Esta ley se aplica a la radiación monocromática y es válida exactamente para disoluciones diluidas (0,01 M) de la mayoría de las sustancias.

En disoluciones concentradas, las moléculas de soluto interactúan entre sí debido a su proximidad. Cuando las moléculas del soluto se acercan unas a otras, sus propiedades (entre las que se encuentra la absorptividad molar) cambian algo. A concentraciones muy altas, los solutos se convierten prácticamente en disolvente. Las propiedades de una molécula no son exactamente las mismas en diferentes disolventes. Los solutos de una disolución que no absorben también pueden interactuar con las especies absorbentes y alterar la absorptividad.

El color de una disolución es el complementario del color de la luz que absorbe (Tabla No. 21).

Tabla No. 21. Colores de la luz visible

Longitud de onda máxima absorbancia	Color absorbido	Color observado
380-420	Violeta	Amarillo verdoso
420-440	Azul violáceo	Amarillo
440-470	Azul	Naranja
470-500	Verde azulado	Rojo
500-520	Verde	Púrpura
520-550	Verde amarillento	Violeta
550-580	Amarillo	Azul violáceo
580-620	Naranja	Azul
620-680	Rojo	Verde azulado
680-780	Púrpura	Verde

# VERTIMIENTOS

CAPÍTULO

VIII



Los vertidos de aguas domésticas (aguas negras con contenido fecal y aguas grises, con jabones, detergentes, restos de comida, etc.) pueden ser asimilados por el proceso de autodepuración natural de los ríos, si su cantidad es reducida en relación con la masa total de agua a la que se vierten. Los problemas surgen cuando grandes volúmenes de vertido sobrepasan la capacidad de depuración natural de un río. En este caso es imprescindible la depuración forzada en Estaciones de Depuración de Aguas Residuales (EDAR). Los vertidos industriales pueden ser más peligrosos cuando incluyen sustancias químicas tóxicas que el ecosistema es incapaz de asimilar (GLYNN, H. 1996; ESCOBAR J, 2002; MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2002; GARAY J 2004).

## **1. TIPOS DE VERTIMIENTOS**

El uso agrícola provoca amenazas más difusas pero igualmente graves. El agua empleada en los cultivos y no asimilada por las plantas circula hacia los cursos de agua y los acuíferos cargada de fertilizantes y pesticidas, siendo esos sistemas acuáticos, vías de entrada y transportes de contaminantes al medio marino y por tanto causantes del deterioro de la calidad de sus aguas (DNP. 2002).

Los vertidos de desechos líquidos procedentes de industrias y de saneamiento urbano (penachos de aguas residuales), de accidentes técnicos en los buques petroleros y mercantes, de la limpieza de tanques, de descarga de los residuos y de aguas de lastre, y de accidentes en las plataformas petrolíferas marítimas, provocan el deterioro de la calidad de las aguas continentales y marinas-costeras.

### **ALGUNAS PROPIEDADES QUE CARACTERIZAN LOS DESECHOS**

La descripción y caracterización detallada de los desechos es un requisito previo esencial para considerar las alternativas y una base para decidir si pueden ser vertidos al medio ambiente (GLYNN, H. 1996; ESCOBAR J, 2002).

De no realizarse una efectiva caracterización de los desechos, lo cual limite la adecuada evaluación de sus posibles efectos sobre la salud del hombre y el medio ambiente, estos no deberán ser vertidos.

Al caracterizar los desechos y sus componentes se tendrán en cuenta los siguientes factores:

1. Origen, cantidad total y su composición
2. Propiedades físicas, químicas, bioquímicas, biológicas y sanitarias
3. Toxicidad

### **EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS POTENCIALES**

La evaluación para el vertimiento debe integrar información sobre las características de los desechos, las condiciones del lugar o los lugares de vertimiento propuestos, los flujos y las técnicas de evacuación propuestas, y especificar los efectos posibles sobre la salud del hombre, los recursos vivos, las posibilidades de esparcimiento y otros usos legítimos de las aguas continentales y costeras (GLYNN, H. 1996; ESCOBAR J, 2002; MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2002; GARAY J 2004).

Debe indicar la naturaleza, las escalas temporal y espacial y la duración de los impactos previstos, basándose en hipótesis razonablemente moderadas.

Los impactos potenciales principales se deben determinar durante el proceso de elección del vertedero.

Se considera que son los que pueden tener repercusiones más graves para la salud del hombre y el medio ambiente.

Al elaborar una hipótesis de impacto se debe prestar atención, aunque no exclusivamente, a los impactos potenciales sobre las posibilidades de esparcimiento (por ejemplo, la presencia de elementos flotantes), las zonas sensibles (por ejemplo, zonas de desove, criaderos y zonas de alimentación), los hábitat (por ejemplo, las modificaciones biológicas, químicas y físicas), las pautas migratorias y la comercialización de los recursos.

## FACTORES QUE DETERMINAN LA GRAVEDAD DEL IMPACTO

Los factores generales que inciden en la magnitud e impacto ambiental de los derrames de productos tóxicos en el mar son siguientes (STOKER, S.H 1980; UNESCO, 1984; MMA/PNUMA/UCR/CAR. 2000).

1. Ubicación geográfica del vertido. La gravedad de impacto de sustancias tóxicas se incrementa cuando se produce en las zonas costeras debido a la gran diversidad biológica existente, a la concentración de zonas pobladas, lugares de turismo y de protección ambiental, y decrece en alta mar donde el número total de especies y de actividades humanas disminuye notablemente.
2. El tiempo biológico del crecimiento de las especies marinas. En las zonas polares que poseen un clima frío, la actividad biológica es bastante lenta y tiene que pasar mucho tiempo hasta que las desagradables consecuencias de un impacto ambiental desaparecen por completo.
3. Condiciones climáticas imperantes en el lugar del accidente. Las mareas altas, las corrientes, el oleaje y los fuertes vientos agravan los efectos ambientales del derrame. Pero influyen, también, los factores ambientales secundarios como son las particularidades locales del proceso de la difusión de la sustancia vertida, la temperatura de la capa superficial del mar, el nivel de la salinidad de aguas marinas, la batimetría del lugar.
4. Composición de la sustancia tóxica vertida. También influye el período del tiempo de impacto, es decir si es un derrame instantáneo y puntual o prolongado.

## DERRAMES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN EL MAR

Las descargas accidentales y a gran escala de petróleo líquido son una importante causa de contaminación de las costas. Los casos más espectaculares de contaminación por crudos suelen estar a cargo de los superpetroleros empleados para transportarlos, pero hay otros muchos barcos que vierten también petróleo, y la explotación de las plataformas petrolíferas marinas supone también una importante aportación de vertidos. Se estima que de cada millón de toneladas de crudo embarcadas se vierte una tonelada. Entre las mayores mareas negras registradas hasta el momento se encuentran la producida por el petrolero Amoco Cádiz frente a las costas francesas en 1978 (1,6 millones de barriles de crudo) y la producida por el pozo petrolífero Ixtoc I en el golfo de México en 1979 (3,3 millones de barriles). El vertido de 240.000 barriles por el petrolero Exxon Valdez en el Prince William Sound, en el golfo de Alaska, en marzo de 1989, produjo, en el plazo de una semana, una marea negra de 6.700 km<sup>2</sup> que puso en peligro la vida silvestre y las pesquerías de toda el área. Por el contrario, los 680.000 barriles vertidos por el Braer frente a la costa de las islas Shetland en enero de 1993 se dispersaron en pocos días por acción de las olas propias de unas tormentas excepcionalmente fuertes (UNESCO, 1984; MARRUGO, A.J 1999; KIELY, Gerard. 1999). Los vertidos de petróleo acaecidos en el golfo Pérsico en 1983, durante el conflicto Irán-Irak, y en 1991, durante la Guerra del Golfo, en los que se liberaron hasta 8 millones de barriles de crudo, produjeron enormes daños en toda la zona, sobre que se refiere a la todo por lo vida marina (CARDONA J 2005).

### MÉTODOS DE LIMPIEZA

Para la mitigación y eliminación del petróleo vertido se aplican diferentes alternativas (UNESCO, 1984; TEJADA, C. 2003).

- Tratar el petróleo derramado con sustancias químicas dispersantes rociadas desde aviones.
- Usar helicóptero con láser para quemar los componentes volátiles del petróleo.
- Usar barreras mecánicas para evitar que el petróleo llegue a la playa.
- Bombear la mezcla petróleo - agua a botes pequeños llamados "espumaderas", donde máquinas especiales separan el petróleo del agua y bombean el primero a tanques de almacenamiento.
- Aumentar la investigación del gobierno en las compañías petroleras sobre los métodos para contener y limpiar derrames de petróleo.
- Biorremediación

### BIORREMEDIACION PARA ELIMINAR RESIDUOS DE HIDROCARBUROS

La Biorremediación es una técnica que, en unas condiciones climáticas y geográficas determinadas, puede ser útil en la eliminación de derrames de hidrocarburos (PNUMA. 1999; CARDONA J 2005).

La técnica se basa en la existencia de microorganismos cuyo metabolismo es capaz de degradar los hidrocarburos, convirtiendo los componentes tóxicos y mutagénicos del petróleo en productos no tóxicos.

De manera general, el proceso que llevan a cabo estas bacterias consiste en añadir un grupo hidroxilo a la estructura molecular del hidrocarburo convirtiéndolo en un alcohol, y una serie de procesos oxidativos que convierten el alcohol en un aldehído y posteriormente en un ácido carboxílico. Estos procesos conllevan una reducción de la longitud de la cadena del hidrocarburo (o la rotura del anillo en caso de hidrocarburos aromáticos policíclicos) y, al final de la metabolización, la producción de dióxido de carbono, agua y biomasa.

La adición de oxígeno a los hidrocarburos así como la reducción de su cadena los convierten en compuestos más polares y más solubles en agua. Asimismo, suelen ser más fáciles de biodegradar y por tanto su impacto en el medio es mucho menor.

El éxito de la técnica depende de la existencia, en el lugar contaminado, de bacterias con las capacidades metabólicas apropiadas, concentraciones adecuadas de oxígeno y nutrientes como fósforo y nitrógeno, y que el pH esté entre 6 y 9. También las características físico-químicas del petróleo a tratar son determinantes en la eficacia de la técnica. El crudo pesado es menos tratable que el petróleo de fracción ligera o media, cuyo contenido en componentes alifáticos es mayor. Otro parámetro es la superficie de petróleo a tratar, ya que el crecimiento de los microorganismos degradantes tiene lugar casi exclusivamente en la interfase petróleo-agua.

El tratamiento de un vertido se lleva a cabo añadiendo bacterias degradantes de petróleo para suplementar la población existente (bioaumentación) y añadiendo nutrientes u otros sustratos cuya ausencia pueda limitar el crecimiento bacteriano (bioestimulación). Mantener la concentración óptima de nutrientes en medios marinos y zonas costeras es complicado por el continuo lavado que suponen las olas y las mareas, por lo que se han desarrollado formulaciones oleofílicas y de dosificación lenta.

La bioremediación es un tratamiento alternativo a considerar en la limpieza de ambientes contaminados por petróleo. Es un proceso lento, por lo que acostumbra a emplearse después de la limpieza mecánica del vertido o en zonas que no requieran una limpieza inmediata, pero con la ventaja con respecto a otros métodos que destruye los hidrocarburos tóxicos y no los traslada a otro medio.

## **2. AGUAS RESIDUALES. ORIGEN. CARACTERÍSTICAS. EVALUACIÓN**

El término agua negra, más comúnmente utilizado en plural, aguas negras, define un tipo de agua que está contaminado con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos orgánicos humanos o animales (APUNTES-4; CRITES, R 2000; [http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/es/](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/es/)).

Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalajo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen, y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector.

Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras sólo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que varían de unos pocos mg/L en el agua de lluvia a cerca de 35.000 mg/L en agua de mar. A esto hay que añadir, en las aguas residuales, las impurezas procedentes del proceso productor de desechos, que son los propiamente llamados vertidos. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

## IMPORTANCIA SANITARIA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los estudios microbiológicos revelan la presencia de bacterias, virus y parásitos humanos. Por tanto, si son descargadas a ríos u otras fuentes de agua para consumo humano pueden producirse epidemias graves (SALAS, H. 2000).

Las aguas servidas pueden causar la muerte de la fauna, especialmente peces, cuando son descargadas en fuentes de agua debido a que consumen oxígeno, como se explicará más adelante (SAWYER, C 2001; ROMERO, J. 2002).

También es peligrosa su descarga en las aguas marinas continentales puesto que pueden contaminar los mariscos, especialmente aquellos que se alimentan por filtración del agua, tales como choros (mejillones) y almejas.

Es especialmente peligroso el uso de las aguas residuales para el cultivo de vegetales destinados al consumo humano, tales como hortalizas que crecen a ras de tierra y se consumen habitualmente crudas, de las cuales son ejemplo la lechuga, el berro, el repollo, el perejil, el cilantro, el apio y los cebollines.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES (VERTIDOS URBANOS)

Los parámetros característicos, son:

- Temperatura
- pH
- Sólidos en suspensión totales (SST) o
- Materia orgánica valorada como DQO y DBO (a veces TOC)
- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)
- Nitrógeno amoniacal y nitratos

Otros parámetros como fósforo total, nitritos, sulfuros, sólidos disueltos..., son también considerados.

## ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Aspecto, color, turbidez, SST y conductividad

### SUSTANCIAS QUÍMICAS (COMPOSICIÓN)

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99,9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de, un 0,1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos (SALAS, A. 2003). Este 0,1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada (Tabla No. 22). El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido (METCALF 1995; KIELY, G. 1999).

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Tabla No. 22. Composición de las aguas residuales.

Agua Potable	Sólidos	Gases Disueltos	Componentes Biológicos
99,9%	0,1% (por peso)	O <sub>2</sub>	Bacterias
	Suspendidos	CO <sub>2</sub>	Micro y macroorganismos
	Disueltos	H <sub>2</sub> S	Virus
	Coloidales	N <sub>2</sub>	
	Sedimentables		

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones.

Aniones y cationes inorgánicos y compuestos orgánicos.

## ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES

El grado de contaminación de las aguas residuales (el término "aguas servidas" no es correcto) se mide habitualmente por medio de la determinación de la materia orgánica presente. Dado que la determinación directa es muy dificultosa, se hace un examen de tipo indirecto determinando la cantidad de algún agente oxidante que se requiere para convertir esta materia orgánica en anhídrido carbónico y agua (KIELY, Gerard. 1999; ROMERO, J. 2002).

El método más usado para medir la materia orgánica como fue mencionado, es el de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

A continuación se muestran unos datos a manera de ejemplo:

Oxígeno disuelto al inicio (100 mg/100ml)

Oxígeno disuelto al término (60 mg/100ml)

Esto indica que la DBO del agua en estudio es de 40 mg/100ml. Mientras mayor sea la DBO mayor será la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua servida. En general las aguas potables no superan los 5 mg/100ml pero las aguas servidas pueden tener 300 mg/100ml.

## 3. EMISARIO SUBMARINO

Un emisario submarino tiene por objeto realizar una descarga de aguas residuales, en un lugar de un cuerpo de agua donde la hidrodinámica favorece la dilución y dispersión del efluente, tratando en forma natural las descargas biodegradables (GÁMEZ, J. D. 2002.; JIRKA G.H. 2004).

Los emisarios submarinos son una buena solución a las descargas de residuos líquidos, siempre y cuando estas descargas cumplan con normas de emisión estricta y debidamente fiscalizada. En especial hay que señalar que los emisarios no serán aconsejables cuando se trate de contaminantes tóxicos altamente persistentes (en general no biodegradables), en que su dispersión en el medio acuático sólo provocará un daño mayor. El estudio que acompañe la propuesta o solicitud de descarga deberá estar acompañada de información cualitativa y cuantitativa sobre los usos del borde costero existentes en el área aledaña al lugar proyectado para el emplazamiento del emisario submarino, como por ejemplo:

- Zonas de uso turístico y recreacional
- Instalaciones portuarias; zonas residenciales.
- Instalaciones industriales y de servicios
- Zonas comerciales; zonas de pesca comercial y deportiva
- Zona de recolección de recursos hidrobiológicos
- Zonas de cultivos de especies hidrobiológicas
- Zonas de usos múltiples u otros usos o actividades relevantes existentes, planificadas y/o proyectadas.

La información técnica que sea remitida o adjunta a una solicitud de descarga de aguas residuales a través de un emisario submarino, deberá basarse en antecedentes existentes y observaciones complementarias sobre:

Trayectoria de corrientes marinas

Dilución

Estudios de T90

Línea Base de agua receptora

Caracterización de la Descarga

Condiciones Ecológicas  
Actividades Pesqueras Extractivas  
Consideraciones de Diseño y Construcción  
Modelos matemáticos  
Área de sacrificio  
Programa de Vigilancia Ambiental.

Cuando, de acuerdo a la legislación ambiental vigente proceda un monitoreo de un emisario submarino, éste debe cubrir el área de sacrificio y zonas críticas de la costa.

Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) de un emisario submarino, éste deberá responder las siguientes interrogantes básicas:

- ¿Se está cumpliendo con la dilución inicial proyectada?
- ¿De qué tamaño es el área de impactada y cuáles son las concentraciones de las contaminaciones proyectadas y actuales, en ésta?
- ¿Se está cumpliendo con las restricciones en cuanto a parámetros, zona terciaria y puntos críticos de la costa?
- ¿Cuál es la concentración de contaminantes en la dirección de la pluma de dilución horizontal, medida (derivador) durante el monitoreo?
- ¿Cómo evolucionó el bentos en el sitio de descarga, área de sacrificio y puntos críticos de la costa?

# SISTEMAS DE TRATAMIENTO





La depuración de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria. Debe de ser asumida en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y como parte del proceso de producción (ROMERO, J 2002; MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2002). En este último sentido, se deben tener en cuenta dos tipos posibles de costos:

- Costo de producción: proceso de tratamiento y vertido
- Costo de seguridad: eliminación de problemas de seguridad e higiene y de penalizaciones por delito ecológico.

Toda agua servida o residual debe ser tratada tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida se debe conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua.

Permite conocer qué elementos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para que los ingenieros expertos en tratamiento de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se está produciendo.

Una Planta de tratamiento de Aguas Servidas debe tener como propósito eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera que el agua sea dispuesta en el ambiente en forma segura. El proceso, además, debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta ([http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/es/](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/es/)).

Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella.

## **1. PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES** (GLYNN, H. 1996; ROMERO, J 2002; CRITES, R 2000; [HTTP//WWW.WHO.INT/ENTITY/WATER\\_SANITATION\\_HEALTH/ES](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/es/)).

Han sido desarrollados diferentes procesos para el tratamiento de las aguas residuales, con el propósito de eliminar los contaminantes contenidos en ellas.

Pueden ser plicados procesos físicos relativamente simples como la sedimentación, en el que los contaminantes son separados por gravedad al precipitar, y otros más complejos como son los químicos, biológicos y térmicos.

Los más usuales son:

a) Físicos:

- Sedimentación
- Flotación. Natural o provocada con aire
- Filtración. Con arena, carbón, cerámicas y otras.
- Evaporación
- Adsorción. Carbón activado, zeolitas y otras.
- Desorción (Stripping). Se transfiere el contaminante al aire.
- Extracción. Con un líquido que no se mezcle con el agua (extracción líquido-líquido).

b) Químicos

- Coagulación-floculación. Agregación de pequeñas partículas usando coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio, polielectrolitos y otras).
- Precipitación química. Eliminación de metales pesados disminuyendo su solubilidad con la adición de lechada de cal, hidróxido de sodio u otros compuestos que aumenten el pH del medio.
- Oxidación-reducción. Con oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato de potasio o reductores como el sulfito de sodio.

- Reducción electrolítica. Provocando la deposición en el electrodo del contaminante. Se usa en la recuperación de elementos de interés.
- Intercambio iónico. Con resinas que intercambian cationes y aniones. Se aplica para reducir la dureza del agua.
- Osmosis inversa. Haciendo pasar el agua a través de membranas semipermeables que retienen los contaminantes disueltos.

c) Biológicos

Usan microorganismos que se nutren con diversos compuestos de los que contaminan las aguas. Los floculos que se forman por agregación de microorganismos son separados en forma de lodos.

- Lodos activos. Se añade agua con microorganismos a las aguas residuales en condiciones aerobias (burbujeo de aire o agitación de las aguas).
- Filtros bacterianos. Los microorganismos están fijos en un soporte sobre el que fluyen las aguas a depurar. Se introduce suficiente oxígeno para asegurar el proceso aerobio.
- Biodiscos. Intermedio entre los dos anteriores. Grandes discos dentro de una mezcla de agua residual con microorganismo facilitan la fijación y la actividad de los microorganismos.
- Lagunas aireadas. Se realiza el proceso biológico en lagunas de grandes extensiones.
- Degradación anaerobia. Procesos con microorganismos que no necesitan oxígeno para su metabolismo.

## PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales pueden ser sometidas a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de depuración que se requiera.

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primaria, secundaria y terciaria. Algunos autores llaman a las etapas preliminar y primaria unidas como etapa primaria.

### ETAPA PRELIMINAR

Debe cumplir dos funciones:

- Medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta
- Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa)

Normalmente las plantas están diseñadas para tratar un volumen de agua constante, lo cual debe adaptarse a que el agua servida producida por una comunidad no es constante. Hay horas, generalmente durante el día, en las que el volumen de agua producida es mayor.

Asimismo, es impresionante observar la diversidad de objetos que el agua servida contiene: palos, pañales, botellas plásticas, granos de maíz, etcétera, por lo que es necesario retirarlas para que el proceso pueda efectuarse normalmente. Las estructuras encargadas de esta función son las rejillas, tamices, trituradores (a veces), desgrasadores y desarenadores.

En esta etapa también se puede realizar la preaireación, cuyas funciones son:

- Eliminar los *compuestos volátiles* presentes en el agua servida, que se caracterizan por ser malolientes.
- Aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

### ETAPA PRIMARIA

Tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple. Para complementar este proceso se pueden agregar compuestos químicos con el objeto de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide.

Las estructuras encargadas de esta función son los *estanques de sedimentación primarios* o *clarificadores primarios*. Habitualmente están diseñados para suprimir aquellas partículas que tienen *tasas de sedimentación* de 0,3 a 0,7 mm/s. Por otra parte, el *período de retención* es normalmente corto, 1 a 2 h. Con estos parámetros, la profundidad del estanque fluctúa entre 2 a 5 m.

En esta etapa se remueve por precipitación alrededor del 60 al 70% de los sólidos en suspensión. En la mayoría de las plantas existen varios estanques primarios y su forma puede ser circular, cuadrada a rectangular.

## **ETAPA SECUNDARIA**

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un *proceso natural controlado* en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual, y que se desarrollan en un reactor o cuba de aireación, más los que se desarrollan, en menor medida en el decantador secundario. Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación en anhídrido carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el *decantador secundario*. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos para los que hay que buscar un medio de eliminarlos.

En el decantador secundario, hay un flujo tranquilo de agua, de forma que la biomasa, es decir, los flóculos bacterianos producidos en el reactor, sedimentan. El sedimento que se produce y que, como se dijo, está formado fundamentalmente por bacterias, se denomina lodo activado.

Los microorganismos del reactor aireado pueden estar en suspensión en el agua (*procesos de crecimiento suspendido* o fangos activados), adheridos a un medio de suspensión (*procesos de crecimiento adherido*) o distribuidos en un sistema mixto (*procesos de crecimiento mixto*).

Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen *filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de lodos activados, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de lodos*.

## **ETAPA TERCIARIA**

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua servida tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en curso de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática la que agota el oxígeno, mata la fauna existente en el sector.

No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua servida y el destino que se le dará.

Resumen de las etapas tratamiento de aguas residuales

Las aguas servidas tratadas normalmente contienen microorganismos patógenos que sobreviven a las etapas anteriores de tratamiento.

Las cantidades de microorganismos van de 10.000 a 100.000 coliformes totales y 1.000 a 10.000 coliformes fecales por 100 mL de agua, como también se aíslan algunos virus y huevos de parásitos. Por tal razón es necesario proceder a la desinfección del agua.

Esta desinfección es especialmente importante si estas aguas van a ser descargadas a aguas de uso recreacional, aguas donde se cultivan mariscos o aguas que pudieran usarse como fuente de agua para consumo humano. Los métodos de desinfección de las aguas servidas son principalmente la cloración y la ozonización, pero también se ha usado la bromación y la radiación ultravioleta. El más usado es la cloración por ser barata, fácilmente disponible y muy efectiva. Sin embargo, como el cloro es tóxico para la vida acuática el agua tratada con este elemento debe ser sometida a dechloración antes de disponerla a cursos de agua natural.

Desde el punto de vista de la salud pública se encuentra aceptable un agua servida que contiene menos de 1.000 coliformes totales por 100 mL y con una DBO inferior a 50 mg/L.

La estructura que se usa para efectuar la cloración es la *cámara de contacto*. Consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua servida tratada de manera que ésta esté al menos 20 minutos en contacto con el cloro, tiempo necesario para dar muerte a los microorganismos patógenos.

## PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Al igual que en el caso de las aguas residuales urbanas, para el tratamiento de las aguas residuales industriales se puede hacer referencia a los mismos procesos generales: tratamientos primarios, secundarios y terciarios, utilizándose sólo los que sean de aplicación al proceso industrial concreto. Los principales tratamientos en cada una de las categorías son:

- a) *Pretratamientos y tratamientos primarios*: Cribado, neutralización, coagulación-floculación, sedimentación, filtración, floculación, desarenado y desaceitado. Tienen por objeto la eliminación de sólidos en suspensión, coloides, metales pesados y aceites y grasas.
- b) *Tratamientos secundarios*: Lodos activados, filtros percoladores, lagunaje, etc. Se elimina materia orgánica biodegradable.
- c) *Tratamientos terciarios*: Procesos de oxidación (destrucción o transformación de materia orgánica y compuestos inorgánicos oxidables) y de reducción.
  - Procesos de precipitación química: eliminación de metales y aniones inorgánicos.
  - Arrastre con aire o vapor (stripping): eliminación de compuestos volátil
  - Estos tres procesos también pueden ser, a veces, tratamientos primarios.
  - Procesos de membrana (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis,...) y de intercambio iónico: eliminación de especies disueltas y coloides en su caso.
  - Procesos de adsorción con carbón activo. Eliminación de compuestos orgánicos.
  - Procesos de incineración. Eliminación de compuestos orgánicos.
  - Procesos electroquímicos: electrolisis y electromembranas. Eliminación o transformación de especies disueltas.

## PROPÓSITOS DEL TRATAMIENTO

- Reducción de DBO
- Reducción de sólidos suspendidos
- Reducción de patógenos

Formas de cumplir los estándares

- Cumplimiento de estándares de DBO y sólidos suspendidos
- Lodos activados y filtros percoladores
- Cumplimiento de estándares de coliformes fecales
- Desinfección con cloro

Remoción de nitrógeno y fósforo

- 30 a 60% en plantas convencionales
- Para mayor remoción se requiere de tratamiento avanzado
- Es necesaria para retardar la eutroficación de lagos

## SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE AGUAS

Las corrientes fluviales son capaces de recuperarse rápidamente, pero hay ciertos grados de contaminación que necesitan la ayuda de un tratamiento depurativo previo.

## TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tipo y el grado de tratamiento a que debe someterse el agua dependen del tipo y del grado de contaminación que contiene, de la capacidad de dispersión en el medio receptor, de la calidad y fragilidad de éste y de la función que se dará al agua resultante.

## PRETRATAMIENTO

Elimina los sólidos gruesos de gran tamaño (trapos, palos,...) y los finos (arenas) mediante un sistema de desbaste (rejas y tamices), desarenador y desengrasador.

## TRATAMIENTO PRIMARIO

Separa por medios físicos las partículas en suspensión no retenidas por el pretratamiento. Procesos que incluye:

- *Cámara de arena.* Son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios.
- *Sedimentación primaria.* Se lleva a cabo en los decantadores primarios donde se separan por gravedad las partículas o sólidos en suspensión de mayor densidad.
- *Flotación con aire.* Introducción de burbujas de aire finas en el agua residual que se fijan a las partículas y las hacen flotar para retirarlas de la superficie.
- *Coagulación y floculación.* Proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales que altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión.
- *Neutralización.* Empleo de compuestos químicos para ajustar el pH a un valor idóneo.

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

También llamado tratamiento biológico, en él participan microorganismos vivos aerobios que descomponen la materia orgánica. Procesos que incluye:

- *Lodos activados.* Que consiste en dejar crecer millones de bacterias en un depósito agitado y aireado, al que se alimenta con el agua para depurar. La mezcla de organismos descomponedores con el agua residual se agita continuamente para facilitar el contacto y para evitar la sedimentación de los floculos que se forman. Después de un tiempo, ésta mezcla se envía a un clarificador o decantador secundario, en el cual se separan del agua, por sedimentación, los fangos o lodos.
- *Lechos bacterianos.* El agua pasa a través de un filtro de varios metros de altura formado por una masa de piedras de unos 10 cm de diámetro, en cuya superficie los microorganismos descomponedores forman una película. Los filtros están provistos de drenajes en la parte inferior para recoger el agua depurada y se mantienen en condiciones aerobias.
- *Estanque de estabilización o laguna.* Requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1,5 m y una extensión superior a una hectárea. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal.
- *Desinfección.* Se realiza al final del tratamiento secundario con el objetivo de eliminar bacterias patógenas. Se suele llevar a cabo mediante radiación ultravioleta, ozonización o cloración.

## TRATAMIENTO TERCIARIO

Éstos tratamientos tienen la finalidad de eliminar ciertos contaminantes que permanecen después de un tratamiento secundario, como metales pesados, fósforo, nitrógenos, isótopos radiactivos y sustancias inorgánicas, mediante tratamientos muy costosos tanto por su construcción como en su mantenimiento, por lo que sólo se utilizan para determinadas concentraciones de éstas sustancias.

- *Tratamiento de lodos.* Los lodos acumulados son tratados mediante un proceso de concentración en espesadores, destrucción de la materia orgánica, secado, incineración con recuperación y evacuación.

Los fangos que no contienen compuestos químicos pueden usarse en la fabricación de abonos.

## 2. AGUA POTABLE

El agua potable es aquella que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades, también es denominada ese tipo de agua, a la tratada para su consumo humano según unos estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales, mediante los cuales se han

establecidos valores máximos y mínimos para el contenido en minerales, diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico etc. además de los gérmenes patógenos. Los controles sobre el agua potable suelen ser más severos que los controles aplicados sobre las aguas minerales embotelladas (APUNTES-3; IDEAM. 1998; KIELY, G 1999; <http://www.cepis.org.pe>).

En zonas con intensivo uso agrícola es cada vez más difícil encontrar pozos cuyas aguas se ajustan a las exigencias de las normativas. Especialmente los valores de nitratos y nitritos además de las concentraciones de los compuestos fitosanitarios superan a menudo el umbral de lo permitido. La razón suele ser el uso masivo de abonos minerales o la filtración de purines. El nitrógeno aplicado de esta manera que no es asimilado por las plantas es transformado por los microorganismos del suelo en nitrato y luego arrastrado por la agua de lluvia al nivel freático.

También ponen en peligro el suministro de agua potable otros contaminantes medioambientales como el derrame de derivados del petróleo, lixiviados de minas, etc.

Las causas de la no potabilidad del agua son:

- Bacterias, virus
- Minerales (en formas de partículas o disueltos), productos tóxicos;
- Depósitos o partículas en suspensión.

### **SUMINISTRO, ACCESO Y USO**

El suministro de agua potable al consumidor es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. Ya en la Grecia clásica se construían acueductos y tuberías de presión para asegurar el suministro local.

En algunas zonas se construían y construyen cisternas o aljibes que recogen las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y a salvo de la luz del sol.

En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que se pueden desenlazar conflictos bélicos por la posesión de las fuentes.

De acuerdo al Banco Mundial, 45% de la población mundial carece de un acceso directo a los servicios de agua potable. En otras fuentes se habla de mil millones de personas sin acceso al servicio, en tanto 2 mil y medio millones no cuentan con servicio de purificación. En los países desarrollados los niños consumen de 30 a 50 veces más agua que en los países llamados en vías de desarrollo.

### **FUENTES TÍPICAS DE AGUA**

Las principales fuentes de aguas destinadas al consumo humano son las siguientes (IDEAM. 1998; <http://www.monografia.com/trabajos24/agua/agua.sht>):

#### a) Pozos profundos

Principales características:

- Normalmente son la mejor fuente de agua
- Problemas comunes: Hierro, manganeso, y dureza.
- Problemas eventuales :  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$

#### b) Pozos pocos profundos

Principales características:

- Cercanos a cursos de aguas superficiales
- Acuíferos de arena actúan como un filtro efectivo en la remoción de materia orgánica y de microorganismo

### c) Ríos

#### Principales características:

- La calidad del agua depende del carácter de la hoya, grado de contaminación, estación del año, condiciones climáticas
- Normalmente requiere el tratamiento más extenso y la mayor flexibilidad operacional que ninguna otra fuente.

### d) Lagos embalses

#### Principales características:

- Calidad del agua depende del tamaño, profundidad, clima, hoya, grado de eutroficación.
- Fuente de agua mejor que el río debido a Auto-purificación (reducción de turbiedad, coliformes y color, y eliminación de las variaciones diarias en calidad)
- Existen cambios estacionales
  - a) Hipolimnion: Anaeróbico, altas concentraciones de Fe, Mn, sabor y olor.
  - b) Epilimnion: Crecimiento excesivo de algas a comienzos de la primavera y a fines del verano (sabores y olores).
- Normalmente, la mejor calidad del agua se encuentra bajo el Epilimnion y por encima del fondo (profundidad media)

### FORMAS PARA CONSEGUIR AGUA POTABLE

- Aprovechar la humedad del aire (en forma de rocío por la mañana). La frescura y la humedad nocturna provocan la condensación del agua sobre las plantas. Gracias a un sistema de bolsas de plástico semienterradas por encima de un hoyo, es posible conseguir agua de condensación potable.
- Aprovechar el agua de lluvia. En ciertas latitudes, un árbol apodado el árbol del viajero tiene sus hojas en forma de recipientes en los que se acumula el agua y en los cuales es posible beber.
- Hervir el agua de los ríos o charcas con el fin de evitar la contaminación bacteriana. Este método no evita la presencia de productos tóxicos. Con el fin de evitar los depósitos y las partículas en suspensión, podemos tratar de decantar el agua dejándola reposar y recuperando el volumen más limpio, desechando el volumen más sucio (que se depositará al fondo o / y en la superficie).
- El agua que se hierve y cuyo vapor puede recuperarse por condensación es un medio para conseguir agua pura (sin productos tóxicos, sin bacterias o virus, sin depósitos o partículas). En la práctica, fuera del laboratorio, el resultado no es seguro.
- Es posible obtener agua segura mediante las pastillas potabilizadoras (que se pueden conseguir en farmacias u organizaciones sanitarias). Esta técnica da los mismos resultados que una ebullición, y por ello, no suprime los productos tóxicos.
- Otros procedimientos alternativos de purificación de aguas contaminadas.

### PURIFICACIÓN DEL AGUA

El tratamiento del agua para el consumo humano es proporcionar agua potable química y bacteriológicamente segura para dicho uso y con una calidad adecuada para los usuarios industriales e igualmente para usos domésticos, para lo cual el agua debe estar exenta de sabores y olores desagradables, y suplementada con agentes que mejoran la salud (ej: fluor) (APUNTES-3).

### PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LAS AGUAS

#### DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE PARA USO HUMANO

Tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua. La desinfección del agua es necesaria como uno de los últimos pasos en la planta de tratamiento de agua potable, para prevenir que esta sea dañina para nuestra salud. Muchas veces, tratándose de agua de manantiales naturales o de pozo, la desinfección es el único tratamiento que se le da al agua para obtener agua potable.

La desinfección puede hacerse por medios químicos o físicos.

Los procesos físicos más utilizados para la desinfección del agua son:

- Luz ultravioleta
- Radiación electrónica
- Rayos gamma
- Sonido
- Calor

### TRATAMIENTO DEL AGUA ANTE DEL USO INDUSTRIAL (FÍSICO O QUÍMICO)

La purificación del agua para uso industrial puede ser muy compleja o relativamente simple, dependiendo de las propiedades del agua cruda y del grado de pureza requerida. Se emplean muchos métodos y combinaciones de ellas, pero todos abarcan tres procesos básicos: tratamiento físico, químico y fisicoquímico (RODIER, J 1989; GRAY, N.F. 1996; SAWYER, C. 2001).

**Tratamiento Físico:** El tratamiento físico abarca los procesos mediante los cuales las impurezas se separan del agua sin producirse cambios en la composición de las sustancias. Los métodos más comunes son sedimentación, colado y filtrado, destilación.

- *Sedimentación:* En la sedimentación se aprovecha la acción que ejerce la fuerza de gravedad sobre las partículas más pesadas que el agua, que descienden depositándose sobre el fondo. Las aguas superficiales contienen diferentes cantidades de materia en suspensión y este método se emplea para clarificar el agua cruda, ya sea por sedimentación simple o mediante la adición de coagulantes químicos. Los recipientes donde se lleva a cabo este proceso se denominan tanque de sedimentación.
- *Colado y Filtrado:* Los coladores y filtros pueden utilizarse cuando es necesario eliminar sólidos suspendidos o flotantes en el agua, ya sea como paso adicional, después de la sedimentación, o cuando el espacio disponible no permite la instalación de depósitos de sedimentación.

Existen varios coladores de uso comercial, siendo los más comunes los de tela, malla metálica, tambor giratorio y disco giratorio. Los filtros de tela y malla metálica se utilizan cuando los materiales suspendidos son relativamente finos y están en concentraciones bajas.

- *Destilación:* La destilación es el método más antiguo para obtener agua pura de alta calidad. Mediante este proceso puramente físico de evaporación y condensación pueden eliminarse casi totalmente tanto sólidos disueltos como los suspendidos.

El equipo de destilación debe estar diseñado en tal forma que la eliminación de lodos e incrustaciones pueda hacerse con un mínimo de mano de obra.

### TRATAMIENTO QUÍMICO

El tratamiento químico es uno de los procesos en los que la separación de las impurezas del agua implica la alteración de la composición del material contaminante.

*Precipitación:* Cuando se añaden a una solución acuosa algunas sales solubles, parte de los iones libres pueden reaccionar para formar compuestos comparativamente insolubles.

*Suavizamiento:* El primer proceso químico de precipitación que se empleó comercialmente, fue la adición de cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) al agua para eliminar la dureza de bicarbonatos. La cal disminuye la dureza de bicarbonato formando carbonato de calcio relativamente insoluble:



Para Eliminar la Dureza del Agua los métodos empleados son: Decantación y filtración

### QUÍMICA DE LA CLORACIÓN

Es ampliamente conocido que muchas enfermedades que ha padecido la humanidad han sido transmitidas por la vía de la contaminación del agua, y aunque en la actualidad estas situaciones han

disminuido, pero no lo suficiente como para afirmar que la contaminación del agua, no representa peligro para la salud de las personas.

Es este el principal motivo que impulsa a aplicar continuamente los procesos técnicos más actuales y el empleo de nuevos productos, para conseguir mediante el tratamiento adecuado, un agua de calidad sanitaria óptima, teniendo en cuenta que el agua, en sus diferentes fuentes de captación, está cada vez más deteriorada. En el proceso de oxidación de las diferentes sustancias presentes en el agua y su esterilización, el producto más ampliamente utilizado es el cloro (en los pequeños abastecimientos se suelen emplear derivados del cloro). Si bien en algunas aguas no llega a lograrse el objetivo deseado, dada la presencia de diversas sustancias, con las que el cloro no es tan efectivo, o bien a que precisamente el cloro conduce en su reacción con otras sustancias orgánicas a la formación de compuestos orgánicos clorados muy cuestionados por su potencial perjuicio para la salud (por ejemplo los trihalometanos) (<http://www.cloro.info/>; APUNTES-3). Estas circunstancias han llevado a la utilización de otros productos, que si bien no le sustituyen completamente, sí lo complementan, entre los que destacan principalmente el dióxido de cloro y el ozono.

La cloración es también un método relativamente eficiente como tratamiento correctivo, si se aplica en las cantidades adecuadas, adicionales a las que se requieren para propósitos de desinfección (<http://www.cloro.info/>; APUNTES-3).

A veces se requieren tan grandes concentraciones de cloro, que se necesita de una decloración posterior para que no se presenten sabores ni olores de cloro en el agua. Una técnica de cloración relativamente reciente, incluye el uso de cloruro de sodio junto con la cloración ordinaria. En esta reacción se produce bióxido de cloro.

Aún cuando el principal objetivo de la cloración comenzó siendo, y aún lo es, la destrucción de gérmenes, dado su gran poder bactericida, no debe olvidarse que su elevado poder oxidante origina otros efectos también muy importantes, como pueden ser la contribución a la eliminación del hierro y manganeso, eliminación de sulfhídrico, sulfuros y otras sustancias reductoras, reducción de sabores existentes antes de la cloración o bien producidos por los compuestos de adición formados por el cloro, impedir el crecimiento de algas y otros microorganismos que interfieren en el proceso de coagulación-floculación y filtración, mantener los lechos filtrantes libres de posibles crecimientos de bacterias anaerobias, reducción del color orgánico, etc.

La desinfección del agua y más concretamente la cloración, está siendo objeto de polémica en los últimos años, como consecuencia, principalmente, de los subproductos de la desinfección, llegando a cuestionarse la necesidad de la propia desinfección en muchos casos. Las reglamentaciones de los países difieren bastante a este respecto, algunos incluso no requieren de forma expresa el empleo de desinfectantes en el tratamiento del agua, si bien es cierto que las calidades de las aguas en origen son muy distintas y más aún entre los diferentes países.

Como quiera que en las redes de los sistemas de distribución es necesario, y a veces obligatorio en algunos países, el mantenimiento de un desinfectante residual, en este artículo se expone y analiza en su parte final, el empleo de las cloraminas como desinfectante secundario (postdesinfección), para mantener durante más tiempo una determinada concentración de cloro residual combinado en el sistema de abastecimiento, y a la vez, dado que las cloraminas penetran más en el biofilm interno de la red, inactivar los microorganismos e inhibir su crecimiento.

### **FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CLORACION**

Entre los principales factores que influyen en el proceso de desinfección y tratamiento del agua con cloro, figuran los siguientes (<http://www.cloro.info/>; APUNTES-3):

n Naturaleza, concentración y distribución de los organismos que se van a destruir, así como de la concentración y distribución de la sustancia desinfectante y de los productos de su reacción con el agua, así como de las sustancias disueltas o en suspensión presentes en el agua.

- Naturaleza y temperatura del agua objeto del tratamiento.
- Tiempo de contacto entre el cloro y el agua.
- pH del agua.

Respecto a los anteriores factores, podemos decir, en lo que respecta a los organismos presentes en el agua, que estos pueden ser muy diversos y con unos requerimientos de cloro para su eliminación muy diferentes.

Para que la cloración resulte eficaz es necesaria una distribución homogénea del cloro en el agua y que la dosis sea adecuada, para obtener un agua tratada inocua. A partir de 0,1 a 0,2 ppm de cloro libre residual en el agua, ya se percibe sabor, percibiéndose antes cuanto mayor sea la dureza y temperatura del agua.

Puede procederse a la decloración o eliminación del cloro en el agua, mediante el empleo de sustancias reductoras, tales como el anhídrido sulfuroso, el hiposulfito sódico, etc. Utilizando cantidades apropiadas de estos productos se puede eliminar la cantidad de cloro deseada. También se puede eliminar el cloro filtrando el agua a través de carbón activo.

Entre las múltiples sustancias que pueden contener las aguas naturales, algunas influyen en gran medida en la eficacia de la cloración. Por ejemplo, en presencia de sustancias orgánicas, la acción desinfectante del cloro es menor. El amoníaco y otros compuestos orgánicos nitrogenados consumen cloro. El hierro y el manganeso reaccionan con el cloro aumentando la demanda de éste, y, una vez oxidados, contribuyen a aumentar la turbiedad del agua.

Las bacterias y virus pueden quedar protegidos de la acción del cloro por los sólidos suspendidos en el agua; de aquí que la eficacia de la cloración se vea aumentada mediante la subsiguiente filtración y una posterior esterilización.

Respecto a la temperatura, la eficacia de cloración aumenta al aumentar aquélla, naturalmente siempre que las demás condiciones permanezcan invariables. A pesar de esto, ocurre que como en el agua a baja temperatura el cloro permanece más tiempo, puede llegar a compensarse la mayor lentitud de la desinfección con la mayor duración del cloro en el agua.

El tiempo de contacto es otro factor importante a tener en cuenta, ya que durante este tiempo tienen lugar las reacciones entre el cloro y el agua y las sustancias en ella presentes. El tiempo de contacto mínimo suficiente para una cloración eficaz es, a su vez, función de la temperatura, pH, concentración y naturaleza de los organismos y sustancias presentes en el agua, así como de la concentración y estado en que se halle el cloro. Como mínimo, el tiempo de contacto debe de ser de diez a quince minutos.

Para que la acción de un desinfectante sea eficaz, hay que mantener una determinada concentración del desinfectante durante un período de tiempo, es decir, la expresión C.t, representaría la concentración del desinfectante final en mg/L (C) durante el tiempo mínimo de exposición en minutos (t). La expresión que nos muestra el efecto de la concentración del desinfectante sobre la velocidad de destrucción de bacterias, se expresa más correctamente por

$$C^n \cdot t = \text{Constante}$$

El exponente n para el cloro varía entre 0.5 y 1.5, dependiendo de la temperatura y del pH.

El tiempo de contacto para lograr un determinado grado de desinfección disminuye al aumentar la concentración y también como se acaba de indicar, al disminuir el pH. En el gráfico siguiente se observa lo indicado, relacionando el tiempo de contacto necesario para destruir el 90 % de coliformes a diferentes pH. La eliminación de bacterias y otros microorganismos, disminuye por tanto al aumentar el pH, así por ejemplo en el rango de pH 7 a 8, la velocidad de destrucción disminuye unas 5 veces al pasar de pH 7 a pH 8, por lo que para mantener el mismo ritmo de destrucción de bacterias, la concentración de cloro debe mantenerse 5 veces más alta. El hecho de que la concentración de ClOH disminuya al aumentar el pH no supone que disminuya el contenido de cloro libre, sino que la velocidad de reacción es menor.

Teniendo en cuenta que la relación entre las concentraciones de HClO (ácido hipocloroso) y ClO<sup>-</sup> (hipoclorito) permanecen constante siempre que se mantenga el pH, si una porción de ácido hipocloroso se consume en la oxidación de la materia orgánica y en la destrucción de las bacterias, parte del hipoclorito se combinará con los iones H<sup>+</sup> para formar ácido hipocloroso para mantener la relación de concentraciones entre ambos. Lógicamente, se producirá una disminución del cloro libre.

Por otra parte hay que tener presente que la eficacia relativa de los distintos desinfectantes que pueden emplearse en la desinfección del agua, a igualdad de factores tan importantes, como el pH y la temperatura, es muy diferente.

Las dos técnicas de cloración generalmente empleadas son la cloración residual libre y la cloración residual combinada (más la primera que la segunda).

La técnica de la cloración residual libre supone la aplicación de cloro al agua para conseguir que ya sea directamente o bien después de la destrucción del amoníaco, quede un cloro residual libre, tanto a la salida de la planta como en la red de abastecimiento.

La técnica de la cloración residual combinada implica la reacción del cloro con el amoníaco natural o añadido (sin llegar a la destrucción de éste) y mantener este cloro residual combinado en la red.

Empleando cloro como oxidante/desinfectante primario, se ha comentado que la formación de THMs y otros subproductos se ve favorecido con el aumento de la dosis de cloro y con el aumento del tiempo de contacto agua-cloro. Por otra parte, se sabe que para una efectiva desinfección (cloración) hay que mantener una adecuada concentración de cloro libre residual durante un determinado tiempo de contacto. El producto de la concentración de cloro libre en mg/L y el tiempo de contacto en minutos, es decir C.t. es un indicador del potencial de desinfección en el proceso de cloración.

Está comprobado que los contenidos de THM a la salida de las estaciones de tratamiento se incrementan posteriormente en muchos casos, ya en la red, debido principalmente al mayor tiempo de contacto del cloro con la materia orgánica que sale de la estación y con las sustancias orgánicas que forman el biofilm de la red. La desinfección debe realizarse en la estación de tratamiento y no contar con el tiempo que el agua ha de estar en la red para que se garantice el producto C.t. de forma que el primer consumidor de agua de la red beba un agua perfectamente desinfectada.

Se presenta entonces el dilema de si mantener o no una determinada concentración de cloro residual para prevenir posibles recontaminaciones, recrecimiento del biofilm y otros objetivos que posteriormente se indicaran. La necesidad de mantener un residual, está también siendo cuestionada; ya dijimos al principio que sólo en España y Portugal dentro de la UE requieren legalmente mantener un desinfectante residual en el sistema de abastecimiento. Esta necesidad depende en gran medida de las condiciones locales y circunstanciales climáticas y geográficas en general, y en cuanto a la cantidad o concentración a mantener, depende mucho de la tradición y aceptación de los consumidores.

Si se opta por mantener un desinfectante residual en la red, cloro libre, habría que volver a rechlorar el agua y mantenerla así durante el largo período de estancia de los grandes y extensos sistemas de distribución, es decir, aumentando dos de los factores (C y t) que potencian la formación de THMs. La incapacidad del cloro para mantener una concentración residual consistente y estable en los sistemas de distribución extensos, le limita como un adecuado desinfectante secundario.

¿Sería conveniente entonces buscar una alternativa al cloro libre que además de no formar estos subproductos sea más estable y por tanto su concentración se mantenga casi constante desde que el agua sale de la estación de tratamiento hasta que llega al consumidor más alejado? Aparece entonces la solución del cloro residual combinado, en forma de cloraminas, como una eficaz alternativa.

La desinfección del agua potable no conduce a una completa esterilización, es decir a una completa eliminación de patógenos y no patógenos, por tanto y aceptando la presencia de nutrientes, son posibles los recrecimientos de bacterias y otros microorganismos. Aunque el proceso de tratamiento aplicado al agua sea correcto, algunos organismos pueden sobrevivir a este tratamiento y pasar al sistema de distribución junto a pequeñas fracciones de sustancias orgánicas que inducen a la formación del biofilm. Este biofilm a su vez puede proporcionar una cierta protección a los microorganismos patógenos, protección que será dificultada si se emplea cloro residual en la red.

Pueden aducirse varias razones en favor del mantenimiento de un desinfectante residual en el sistema de distribución:

- 1) Controlar y minimizar el recrecimiento del biofilm.
- 2) Reducir el riesgo de una contaminación por intrusión desde el exterior al interior del sistema de distribución
- 3) El uso de cloro residual y su control continuo, servirá como indicador de roturas de un sistema de distribución y puede ser usado para detectar intrusiones más rápidamente que una monitorización microbiológica y además su análisis continuo abarca o afecta a prácticamente todo el volumen de agua del sistema.
- 4) Estabilizar la calidad del agua en el sistema, no sólo en cuanto a controlar la formación de biofilm y recrecimiento bacterianos, sino también reducir los fenómenos de corrosión de la red, la corrosión es un factor importante en la reducción del cloro residual.

### ELECCIÓN DEL DESINFECTANTE RESIDUAL

Aceptando el mantenimiento de un desinfectante residual, se debe minimizar este residual y los subproductos formados para lo cual es necesario y fundamental:

- 1) Tratar el agua para reducir la Materia Orgánica Natural (MON) que sirve como precursor de los subproductos de la desinfección.
- 2) Tratar el agua para mejorar la estabilidad del desinfectante residual, ya que cuanto más estabilidad del residual, menor desinfectante será necesario.
- 3) Hacer una cuidadosa elección del oxidante/desinfectante, siguiendo los criterios de máxima estabilidad, máximo control del biofilm, mínima toxicidad directa y mínima formación de subproductos.

En la Tabla No. 23 se comparan las tres principales alternativas para el mantenimiento de un residual desde las perspectivas o criterios antes señalados:

- 1) Estabilidad del residual,
- 2) Toxicidad del residual (según límites de la USEPA),
- 3) Control del Biofilm y
- 4) Formación de subproductos.

Tabla No. 23. Principales alternativas para el mantenimiento de un residual

Oxidante	Estabilidad residual	Límite del residual mg/L (USEPA)	Control biofilm	Subproductos
Cloro libre	Muy buena	4	Buena	Mala
Dióxido de cloro	Buena	0,8	Buena	Buena
Cloraminas	Excelente	4	Muy buena	Muy buena

De las tres sustancias indicadas, el cloro libre es el más utilizado pero su mal comportamiento en cuanto a la formación de subproductos limitará su empleo en el futuro a aguas con muy pocos precursores. Las cloraminas y concretamente la monocloramina es una importante alternativa, siendo su principal desventaja el hecho de estar sujeta a una nitrificación en el sistema de distribución, por diferentes factores como alta temperatura, puntos muertos o retenciones excesivas donde el residual desaparece y el biofilm se elimina con dificultad, y exceso de amoníaco.

Hay que tener presente que las cloraminas no suelen emplearse en la desinfección primaria. Son más empleadas en Estados Unidos que en Europa, donde se emplea más el dióxido de cloro que por su parte presenta problemas debidos a su propia toxicidad y a la formación de clorito y clorato que se producen como sustancias oxidadas.

Aunque puede concluirse que no hay un desinfectante perfecto, el más adecuado y la cantidad a aplicar dependerá de las condiciones y circunstancias locales que al fin nos lleve a disponer de un agua con el más bajo olor y sabor al desinfectante y subproductos derivados de él, a la vez que se consiga la mayor efectividad de desinfección.

Dado el menor poder oxidante y de desinfección del cloro residual combinado, se suele emplear éste para una desinfección secundaria, después de aplicar la técnica de la cloración libre dentro del proceso de tratamiento hasta la etapa de filtración y a continuación, tras la filtración, se aplica amoníaco y más cloro, si es necesario,

para lograr la concentración de cloro combinado (cloramina) deseada, es decir, que después de destruir las cloraminas que pudieran haberse formado con el amoníaco o sustancias orgánicas nitrogenadas presentes en el agua bruta y satisfacer la demanda de cloro de esta agua, quede aún cloro libre residual (cloración con cloro sobrante) que será transformado en cloro combinado al incorporar amoníaco.



# BIBLIOGRAFÍA





- AGUAS RESIDUALES. [http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/es/](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/es/)
- ALLOWAY, B.J. y D.C. AYRES. 1993. Chemical principles of environmental pollution. Blackie Academic & Professional. London. 291p.
- ALVARADO D. 1998. Calidad sanitaria de las aguas de playa en Costa Rica. Revista Costarricense de Salud Pública. 7:13.
- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17a. edición, 1989.
- APUNTES.
- 1 - Contaminación por nitratos en las aguas subterráneas.  
[http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos\\_global/agronomia\\_recursos\\_forestales\\_montes/13/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/agronomia_recursos_forestales_montes/13/)
  - 2 - Determinación de cloruros mediante los métodos de precipitación Mohr y Volhard. [http://www.apuntes.rincondelvago.com/practicas\\_medias/quimica/2/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/practicas_medias/quimica/2/)
  - 3- Purificación del Agua. Química. Sedimentación. Filtración. Cloración. Contaminantes. Purificadores.  
[http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos\\_global/quimica/14/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/quimica/14/)
  - 4- Tratamiento de aguas residuales.  
[http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos\\_global/industria\\_materiales](http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/industria_materiales)
  - 5- Salud ambiental. Agua. Análisis. Cloro. Desinfección  
[http://www.apuntes.rincondelvago.com/practicas\\_fp/salud\\_ambiental/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/practicas_fp/salud_ambiental/)
  - 6- Volumetrías. Química de reacciones. Análisis volumétrico. Curvas de valoración. Indicadores. Catalizadores. Procesos REDOX. [http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos\\_global/quimica/18/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/quimica/18/)
  - 7- Ciclo del agua. Cuencas hidrográficas. Ríos. Mares. Costas. Lagos  
[http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos\\_global/geografia/9/](http://www.apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/geografia/9/)
- BAIRD, Colin. Química Ambiental. Barcelona. Editorial Reverté, 2001.
- BARBA HO, Luz Edith. Química asociada con la contaminación del agua. Facultad de Ingeniería Universidad del Valle, Santiago de Cali, 1989.
- BELFORE, S., 2003. The growth of integrated coastal management and the role of indicators in integrated coastal management: Introduction to the special issue. *Ocean and Coastal Management* 46: 225-34.
- BONILLA, J.; J. PEINADO; M. URDANETA; R. PEDRAZA. 2000. Uso y manejo de plaguicidas en Colombia, tendiente a identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento al Mar Caribe. MMA. Dirección Ambiental Sectorial. Proyecto PNUMA/UCR/CAR/GEF. 2000.
- BORDALO A.; R. ONRASSAMI y C. DECHSAKULWATANA. 2002. Survival of faecal indicator bacteria in tropical estuarine waters (Bangpakong River, Thailand). *Journal of Applied Microbiology*, 93: 864-871.
- BOTELLO, A.V., G. PONCE-VÉLEZ, A. TOLEDO, G. DÍAZ-GONZÁLEZ AND S. VILLANUEVA. 1992. "Ecología, Recursos Costeros y Contaminación en el Golfo de México. Ciencia y Desarrollo", CONACYT Vol. XVII No. 102, 1992, pag. 28-48.
- BOTERO, L y R. ALVAREZ-LEON. 2000. The Caribbean coast of Colombia. In: C. Sheppard (ed), *Seas at the millenium*. 663 – 675. Elsevier Sciences.
- BROWN, Theodore. Química, la ciencia central. Quinta edición. Prentice Hall, México, 1999
- CABELLI J. 1983. Health effects criteria for marine recreational waters. US Environmental Protection Agency. EPA 600/1-80-01. Cincinnati, 98 p.
- CAMPOS, E. 2000. Diagnóstico sobre la contaminación de coliformes fecales, cólera (*Vibrio cholerae*) y el virus de la hepatitis A en pianguas (Anadara tuberculosa). Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENS).
- CANTER, Larry. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, Madrid; Mc Graw Hill. 1998
- CARDENAS, Fidel. Química y Ambiente. Segunda edición. Mc Graw Hill, Bogotá, 1999
- CARDONA José D. Salud y Medio Ambiente, un compromiso de todos. 2005
- CASANOVA. 1997. Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y sustancias contaminantes en el Pacífico colombiano. CCCP, Bol. Científico. 6: 29-44. Tumaco.
- CASANOVA R.F. Y L.A. CALERO, 1997. Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y sustancias contaminantes en el pacífico colombiano. Bol. Cient. CCCP 6:29-43.
- CALDEIRA , K & WICKETT, M.E. (2003) Carbón antropogénico y PH del océano. Las próximas centurias podrían ver mas acidificación del océano que en los ya pasados 300 mil millones de años. *Nature*, 425:365.
- CLORACION. <http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/cloracion1.htm#>
- CLORO Y AGUA. <http://www.cloro.info/>
- Coastal Monitoring. [www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm](http://www.ihe.nl/he/dicea/monitor/index.htm)
- Costa Rica. Información en línea, disponible desde Internet en: [www.conicit.go.cr](http://www.conicit.go.cr). Consultada el 1 de Octubre de 2004
- CRITES, Ron. Tratamiento de Aguas Residuales. Mc Graw Hill, Santafé de Bogotá. 2000
- DANE, 2002. Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales. Documento en línea disponible desde Internet en: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co) Con acceso el 5 de octubre de 2006.

- DANE. 2006. Censo General 2005 (Totales nacionales). Información en línea, disponible desde Internet en: [http://www.dane.gov.co/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=16&id=269&Itemid=750](http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=16&id=269&Itemid=750) Con acceso el 11 de octubre de 2006.
- Decreto No. 1594 del 26 de junio. 1984.. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 61 Pág. MINISTERIO DE AGRICULTURA
- DQO. 2000. Demanda de oxígeno y materia orgánica.  
<http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/vertemas.asp?IDTema>
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). 2002. Consejo nacional de política económica y social 3177. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales. Versión aprobada: 25 p.
- DUKES, J.; N. CHIARIELLO; E. CLELAND; L. MOORE; M. SHAW; S. THAYER; T. TOBECK; H. MOONEY and C. FIELD. 2005. Responses of grassland production to sige and multiple global environmental changes. *PLOS Biology* 3 (10): 0001 – 0009.
- ESCOBAR J, 2002. La Contaminación de los ríos y sus Efectos en las Áreas Costeras y el Mar. CEPAL. Santiago de Chile.
- FAO I. 1993. Manejo y Aprovechamiento Acuícola de las Lagunas Costeras en América Latina y el Caribe. México D.F. México. Documento en línea disponible desde Internet en: [www.fao.org/docrep/field/003/AB485S/AB485S01.htm](http://www.fao.org/docrep/field/003/AB485S/AB485S01.htm). Consultada el 25 de febrero de 2006.
- FAO II. Métodos de análisis.  
<http://www.fao.org/pe/docrep/TO845S/to845s0a.htm#>
- FARRERAS, S. 2004. Hidrodinámica de las algas costeras. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Méjico, 189 p.
- FIGUERAS, M.J; I. INZA.; F. L. POLO; M. T. FELIU y J. GUARRO. 1996. A fast method for the confirmation of Fecal Streptococci from M-Enterococcus medium. *Applied and Environmental Microbiology*. 66(2): 2177-2178.
- GÁMEZ, J. D. 2002. Impacto sobre las Aguas Costeras Adyacentes al Emisario Submarino de Santa Marta D.T.C.H. Caribe Colombiano. Tesis de Ingeniería del Medio Ambiente. Uniguajira – INVEMAR. Riohacha. 88 p
- GARZON-FERREIRA, J. 1998. Problemática ambiental en los mares colombianos. Colombia patria de tres mares – Expolisboa 98. p 214 – 220.
- GARAY, J. 1993b. Informe final del proyecto regional FP/5101-90-02-6912 UCR/CAR/COI/CIOH. “Evaluación del impacto sobre ecosistemas marinos costeros generados por el uso de plaguicidas en zonas agrícolas (arroceras) adyacentes a la ciénaga de La Virgen, municipio de Cartagena, Colombia”. CIOH, Cartagena.
- GARAY, J.; B. MARÍN; G. RAMÍREZ; W. TRONCOSO; A. VELEZ; N. CALVANO; O. MEDINA; H. LOZANO; B. CADAVID; J. ACOSTA; A. LAMCHEROS y A. RONDÓN. 2001. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la protección y conservación de la calidad de las aguas marinas y costeras. INVEMAR, Informe final. Tomo II. 260 p.
- GARAY, J.; RAMÍREZ G.; BETANCOURT, J.; MARIN, B., CADAVID B., PANIZZO, L.; LESMES, J., SANCHEZ, H. y A. FRANCO. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR, Santa Marta, 177p. (Serie Documentos Generales N° 13).
- GARAY, J.; MARIN, B., A. VELEZ Y J. VIVAS. 2004. Programa nacional de investigación, evaluación, prevención, reducción y control de fuentes terrestre y marinas de contaminación al mar - PNICM. Plan de acción 2004-2014. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR. Santa Marta, 110 p.
- GLASSTONE S. Tratado de Química- Física. Tomado de la séptima edición. 1968. Instituto cubano del libro.
- GLOSARIO DEL AGUA. [http://www.lenntech.com/agua\\_glosario.htm](http://www.lenntech.com/agua_glosario.htm)
- GLYNN, Henry. Ingeniería Ambiental. México. Prentice Hall, 1996
- GOBERNACIÓN DE CÓRDOBA. 2003. Proceso de empalme en el departamento de Córdoba: sector social, saneamiento básico. Información en línea, disponible desde Internet en: [http://www.cordoba.gov.co/informacion/cifras\\_empalme.pdf](http://www.cordoba.gov.co/informacion/cifras_empalme.pdf) Con acceso el 18 de noviembre de 2005.
- GONZALO D, <http://www.geocities.com/>
- GRAY, N.F. Calidad del agua potable: problemas y soluciones. Zaragoza (España). Editorial Acribia, 1996.
- GRENBERG, A.; L. CLESCERL y A.D. EATON. 1998. Standards Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. APHA/AWWA/WEF, Washington, D.C. 1230 P.
- GRANT S.B.; B.F. SANDERS; A.B. BOEHM; J.A. REDMAN; J.H. KIM; R.D. MORSE; A.K. CHU; M. GOULDIN; C.D. MCGEE; N.A. GARDINER; B.H. JONES; I. SVEJJKOFSKY; G.V. LEIPZIG y A. BROWN. 2001. Generation of enterococci bacteria in a coastal saltwater marsh and its impact on surf zone water quality. *Environmental Science and Technology*, 35: 2407–2416.
- GUHL E, [ambiental.net](http://ambiental.net) Temas ambientales para América Latina. Peligros y soluciones a la escasez y contaminación creciente del agua. Tiempo. Bogotá 5 abril. 2006.

- HECKY, R. E. & P. KILHAM. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, 33, 796-822.
- HORNSBY A.G. Agua Subterránea El Recurso Oculto. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- HOURIA T. Un recurso vital. [http://www.unesco.org/courier/1999\\_02/](http://www.unesco.org/courier/1999_02/)
- JIRKA G.H; BLENINGER. 2004. Diseño de emisarios submarinos con difusores para la protección de la calidad del agua costera. Actas. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica Sao Pedro, Estado de Sao Pablo. Brasil, octubre 2004.
- IDEAM. 1998. Estudio Nacional del Agua. Balance hídrico y relaciones de oferta demanda en Colombia. Santa fe de Bogotá. 30 p.
- IDEAM. 2001. Indicadores sobre el recurso hídrico. Volumen total anual del transporte de sedimentos. Documento en línea, disponible desde Internet en: <http://www.ideam.gov.co/indicadores/agua2.htm> Con acceso el 14 de julio de 2004.
- INVEMAR. 2001. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia. Tomo II. Informe Final. INVEMAR. 260 p.
- KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. Madrid, Mc Graw Hill, 1999.
- KIRCHMER C, J. HDT 24. Control de calidad en los análisis de agua. Hojas de divulgación técnica. CEPIS. <http://www.cepis.org.pe>
- LERMAN A.1981. Controls on River Water Composition and the Mass Balance of River Systems, In: Sesión I of River Inputs to Ocean Systems- Taller de Trabajo ACMRR/SCOR/GESAMP-Rios, FAO, Roma 26-30 de Marzo de 1979, UNESCO/COI/PNUMA, Naciones Unidas, Nueva York.
- LEVENSPIEL, Octave. Ingeniería de las Reacciones Químicas. Buenos Aires, Editorial Reverté, 1976
- MARA, D. 1980. Sewage Treatment in Hot Climates. Wiley-Interscience Publication. London.
- MARIN B, 2001. Establecimiento de la escala conceptual indicativa del grado de contaminación, como base para la formulación de normativas de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia. INVEMAR-COLCIENCIA. 2001
- MARIN B, 2002. INVEMAR. Lagunas costeras y estuarios. Informe del Estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia. pp 187. Serie de publicaciones periódicas No.8. ISSN 1692 5025
- MARIN B, 2003. Escala indicativa del grado de contaminación de las aguas marinas y costeras. COLACMAR. 2003
- MARÍN B.; J. GARAY; W. TRONCOSO; J. BETANCOURT; J. ACOSTA; M.L. GÓMEZ; L. VIVAS; B. CADAVID; J. PARRA; J. SÁNCHEZ; G. RAMÍREZ y J. RESTREPO. 2005. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. REDCAM. INVEMAR. Santa Marta, diciembre 2005. 304 p.
- MARIN B. Curso de indicadores ambientales. Maestría Ciencias Ambientales. SUE-Caribe. Santa Marta. 2008
- MARRUGO, A.J.; Fernandez, R. y R. Gaitan. 1999. Total Hydrocarbons in Waters, Superficial Sediments and Bioindicator Bivalves in the Pacific Colombian Coast. *Mar. Pol. Bull.*, 38(9): 819-823.
- METCALF y EDDY INC. 1995. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen 1. 3ra ed. Madrid, 505 p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales. Bogotá. 2002
- \_\_\_\_\_. Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de aguas residuales municipales. Bogotá. 2002
- MAVDT. Programa de reformas de política de política para el desarrollo sostenible. Establecimiento de una línea base para el seguimiento de los indicadores de desarrollo sostenible del decreto 1200 de 2004
- MMA/PNUMA/UCR/CAR. GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY (GEF). 2000. Informe Final. Informe nacional sobre el uso y manejo de plaguicidas en Colombia, Tendencia a Identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe. Bogotá.
- MONOGRAFÍAS.-
- 1- Análisis físico químico del agua.  
<http://www.monografia.com/trabajos15/analisis-bioquimico-agua>
- 2- Certificaciones de Calidad - Normas ISO.  
<http://www.monografia.com/trabajos25/normas-iso/normas-iso.shtml#>
- 3- El Agua  
<http://www.monografia.com/trabajos24/agua/agua.sht>
- 4- La problemática global del agua.  
<http://www.monografia.com/problemadelagua>
- 5- Métodos gravimétricos de análisis químico.  
<http://www.monografia.com/trabajos14/metodosgravimetrico ml#>
- 6- Propiedades Físicas y Químicas del agua.  
<http://www.monografia.com/trabajos14/propiedades-agua/propiedades- agua.shtml#>
- MONTAÑO , M., ROBADUE, D. (1995). Monitoreo y manejo de la calidad del agua costera. En Ochoa, M., editor. Manejo Costero Integrado en Ecuador. Fundación Pedro Vicente Maldonado. Guayaquil, Ecuador: Programa de Manejo de Recursos Costeros.

- NESMEYANOV, A. Radioquímica. Editorial Química. Moscú. 1972.
- OLIVOS, A.; M. MASÓ y J. CAMP. 2002. Aportes continentales de nutrientes y su posible influencia sobre las relaciones estequiométricas (DIN:P:Si) en las aguas del noreste del Mediterráneo español (Mar Catalán). *Ciencias Marinas* 28(4): 393–406.
- OMS/PNUMA 1994. Microbiological quality of coastal recreational water. MED POL Phase II, Informe sobre una reunión conjunta entre OMS/PNUMA, 9 al 12 de junio de 1993, Atenas, Grecia, pub. Oficinal regional de la OMS para Europa, 1994.
- OZMIDOV, R.V. (1990): Diffusion of contaminants in the ocean, Published by Kluwer Academic Publishers, 283 págs.
- PERIÓDICOS ASOCIADOS, 1997. Nuevo Atlas de Colombia. Ed. Thema. Cali. ISBN: 958-9486-53-3
- PHILIPP R, EVANS EJ, HUGHES AO, GRISDALE SK, ENTICOTT RG, JEPHCOTT AE. 1985 Health risks of snorkel swimming in untreated water. *International Journal of Epidemiology*, 14(4), 624-627.
- PNUMA. 1994. Perspectiva regional sobre las fuentes de contaminación de origen terrestre en la región del Gran Caribe. Informe Técnico del PAC No. 33.
- PNUMA. 1995. Programa de acción mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra. Conferencia intergubernamental para la adopción de un programa de acción mundial. Washington 64 p.
- PNUMA. 1999. Evaluación de las fuentes terrestres y actividades que afectan al medio marino, costero y de aguas dulces asociadas en la región del Gran Caribe. Informes y estudios del programa de mares regionales del PNUMA # 172. PNUMA/Oficina de coordinación del PAM/Programa Ambiental del Caribe, 135 p.
- PNUMA (PRODUCTOS QUÍMICOS). 2002. Evaluación mundial sobre el mercurio. Extractos del informe completo. Ginebra. 39 p.
- Propiedades del agua. <http://es.wikipedia.org/wiki/Agua>
- RAIKE A., O.P. PIETILAINEN, S. REKOLAINEN, P. KAUPPILA, H. PITKANEN, J. NIEMI, A. RAA TELAND, J. VUORENMAA. 2003. Trends of phosphorus, nitrogen, and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975-2000. *The Science of the Total Environment* 310:47-59.
- RAMÍREZ, G.; L. VIVAS y J. GARAY. 2006. Inventario y caracterización de fuentes terrestres fijas de contaminación sobre las áreas marinas y costeras del Caribe colombiano. Informe técnico final. INVEMAR, Santa Marta. 37 p.
- REEVE, R. 2002. Introduction to the environmental analysis. University of Sunderland, UK. John Wiley & Sons Ltda. 283 p.
- RINCON, A. G., El agua: recurso vital. Organización de Estados Iberoamericanos. Para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <http://www.oei.org.co/fpciencia/art120>
- RODIER, J. Análisis de las aguas. Barcelona. Ediciones Omega S.A., 1989.
- ROLDAN, G. 1992. Fundamentos de limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.
- ROMERO, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales. Santafé de Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.
- RUIZ, Rafael. Guía de Laboratorio: Hidroquímica, Universidad de Cartagena, 1998
- SALAS, H. 2000. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 25 p
- SALAS, A. 2003. Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia. Proyecto Regional Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002. Lima, 30 p.
- SATYANARAYAMA D. SAHU, S.D, PANIGRAPHY P.K. 1992. Assesment of eutrphication in the marine environment of Visakhayratram using nutrient index. *Indian J. mar. Sci.* (21)(2)
- SAWYER, Clair y Perry L. McCarty. Química para Ingeniería Ambiental, Santafé de Bogotá. McGraw-Hill, 2001.
- SKOOG, Douglas y Donald West. Química Analítica, Cuarta edición, Madrid. McGraw-Hill, 1989.
- STEELE, J.H. 1995. Can ecological concepts span the land and oceans domains?. In: T.M. Powell and J.H. Steele ed. *Ecological time series*. Chapter 1: 5 -19.
- STOKER, S.H. y S. L. SEAGER, 1980. Química ambiental. Contaminación del aire y del agua. Editorial Blume. Barcelona 320 p.
- SULFATOS. <http://www.lenntech.com/español/sulfatos.htm#>
- TALLER INTERNACIONAL INDICADORES AMBIENTALES. 2002. INVEMAR. Santa Marta. Colombia
- TEJADA, C. L. CASTRO, A. NAVARRETE, T. CARDONA, L. OTERO, F. AFANADOR, A. MOGOLLÓN Y W. PEDROZA. 2003. Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano. Centro Control Contaminación del Pacífico. Ed. DIMAR. Serie Publicaciones Especiales Vol. 3, San Andrés de Tumaco, 120 pp.
- THURSTON, R.V; R. RUSSO; C. FETTEROLF; T. EDSALL & Y. BARBER. 1979. A review of the EPA RED BOOK. Quality criteria for water. American Fisheries Society. Maryland
- ULECIA, K. Análisis Químico-Ambiental del Golfo de Batabanó. <http://www.ecoport.net/>
- UNESCO, 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. 87pp.
- VARCCEL, M. “Principios de Química Analítica” Editorial Springer-Verlag Ibérica, S.A. (Barcelona 1999)
- VILLEGAS, Francisco. Evaluación y control de la Contaminación. 2ª. Edición. Santafé de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, 1999.

Wikipedia, la enciclopedia libre. htm Agua subterránea.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. 219 p.

[www.tema-estudio.com/ambiente-enfoque-quimico](http://www.tema-estudio.com/ambiente-enfoque-quimico)



# PRÁCTICAS DE LABORATORIO





# 1. PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS: COLOR, OLORES Y SABOR

## COLOR

### INTRODUCCIÓN

El color es debido a las materias colorantes disueltas o finamente debida en suspensión que impurifica las aguas por disolución o arrastre. El color normal lo constituye la materia colorante vegetal, principalmente la disuelta a partir de las hojas.

Color Real: o verdadero es el producido por sustancias en solución únicamente.

Color aparente: o total es el que incluye además del color real, el que producen las sustancias que están en suspensión.

### OBJETIVO

Determinación del color aparente y el color verdadero en una muestra de agua.

Materiales y reactivos

Medidor de PH.

Kit de color Merck o Spectroquam SQ 118.

Centrifugadora.

Probetas graduadas de 50 mL.

### METODOLOGÍA

Método de Comparación visual: Es el más aplicable a casi todas las muestras de agua potable. El color se puede determinar por este método, de comparación visual de la muestra con soluciones coloreadas de concentración conocida, es decir, con patrones de fácil preparación en el laboratorio siguiendo el método internacional de la escala de platino –cobalto.

El método de platino- cobalto es el método normalizado para medir color, definiéndose la unidad de color como aquella producida por 1 mg de platino, como cloroplatino de potasio, en 1 litro de solución. La relación de cobalto a platino puede ser variada para obtener el matiz de un color en casos especiales.

### PROCEDIMIENTO

1. Determinación de color aparente: Tomar 50 mL de la muestra “Cruda” homogeneizada, en un tubo de Nessler del kit de Merck, de la misma capacidad y comparar los patrones, contra un fondo blanco de porcelana. Si el color excede de 80 unidades, se diluye la muestra con H<sub>2</sub>O en proporciones conocidas y el resultado se multiplica por el factor de dilución.
2. Color real o verdadero: la muestra debe centrifugarse para remover la turbiedad que interferiría en los resultados si no se hace. La velocidad y el tiempo de centrifugación se determinan por la magnitud de la turbidez de la muestra, siendo en algunos casos de 13200 rpm, durante una hora, tomándose como índice el grado de claridad y transparencia del líquido sobrenadante después de la centrifugación.

Una vez efectuado este paso se puede seguir con cualquiera de los dos posibles procedimientos mencionados anteriormente.

En la determinación con el Kit color de merck, se toma como valor de coloración el del patrón más próximo al de la muestra y se reporta en números enteros.

## CÁLCULOS

a) Calcular las unidades de color por la siguiente ecuación:

$$\text{Unidades de color} = A \times 50/B$$

Donde:

A = Color estimado de una muestra diluida

B = ml de muestra tomados para la dilución.

b) Infórmese los resultados de color en cifras completas y regístrese como sigue:

Unidades de color	Registro más cercano
1-50	1
51-100	5
101-250	10
251-500	20

Unidades de color Pt-Co0 o UPC (Un Hazen equivale a 2 UPC).

c) Informe del PH de la muestra

Resultados.

Comparar los valores obtenidos con los establecidos en el Decreto 1575.

## OLOR

### INTRODUCCIÓN

El olor y el sabor son conocidos como los sentidos químicos porque dependen del contacto de las sustancias estimulantes, que son de naturaleza química, con la célula humana receptora adecuada.

El olor se reconoce como un factor de calidad ya que afecta la aceptabilidad del agua potable y la estética de las aguas recreacionales.

El olor está asociado con la presencia de sustancias indeseables en las aguas, tales como materia vegetal en descomposición, plankton, líquidos residuales, industriales y domésticos, etc.

En la determinación de olor se siguen los métodos: Cualitativos y la estimación cuantitativa basada en el llamado olor umbral, "threshold odor".

### OBJETIVO

Determinación del olor de una muestra de agua problema.

Materiales y reactivos

Agua destilada.

Erlenmeyer de 500 ml con tapones de vidrio.

Beakers de 50 ml

Estufa

Termómetro

## METODOLOGÍA

Método cualitativo:

Olor en frío:

- 1) Se vierten aprox. 250 mL de la muestra en examen en un Erlenmeyer de 500 mL con tapa esmerilada. Se tapa inmediatamente.
- 2) Se agita fuertemente, se destapa y huele en seguida en la boca de la Erlenmeyer.
- 3) Se describe el olor correspondiente ayudándose a identificarlo con la Tabla de Olores (ver Tabla N° 1).

Si no se aprecia el olor, se expresa como inapreciable. Si apenas se percibe alguno, se antepone la palabra ligeramente, al olor percibido. Si el olor percibido no aparece en la tabla, se describe en los términos que mejor lo expresen.

Olor en caliente:

Se sigue el mismo método dado para el olor en frío, pero calentado una muestra de aprox. 250 mL entre 58° y 60°C.

Tabla N° 1: Indicación cualitativa de olores. N.

Olor	Descripción
Inapreciable	No se aprecia ningún olor
Ligeramente	Se aprecia un ligero olor correspondiente
Positivo	Cuando se aprecia el olor correspondiente, pronunciado.
Aromático	Agradable especias, esencias, perfumes, a fruta
Balsámico	Cualidades odoríficas de sustancias resinosas;pino
Químico	Productos del tratamiento o desechos industriales. Medicamento no balsámico; pinturas
Hidrocarburos	Productos de la destilación del petróleo, kerosén
Sulfuros	Ácido sulfhídrico, sulfuro de amonio. Huevos en descomposición
Fenol	Desinfectantes fenólicos, alquitrán
Pescado	Ciertas especies de algas, pescado.
Séptico	Líquido cloacal rancio. Puede estar asociados a herrumbre
Acre	Olor áspero, picante
Terroso	Tierra vegetal, tierra húmeda, pantano.
Vegetal	Hiervas, pasto, raíces, musgo.
Cloro	Agua de Javell, Zonita, cloro
Agua Estancada	Sótano húmedo
Herrumbre	Orín, hierro, metal. Puede estar asociada a séptico.
Dulce	Perceptible a caña de azúcar
Dulzaino	Dulzor químico, cloroformo
Aceite	Aceite de motor.
Agradable	Agradable al olfato, pero no descriptible.
Desagradable	Repugnante al olfato, pero no descriptible

Método cuantitativo:

La prueba consiste en diluir porciones de la muestra en examen hasta 200 mL con agua inodora y practicar el olor en cada dilución, hasta que se obtiene el menor olor perceptible. No existe un valor absoluto debido a la variación inherente a la persona que ejecuta la prueba.

## PROCEDIMIENTO

- 1) En un recipiente de 500 mL con tapa esmerilada colocar primero el volumen apropiado de agua inodora para obtener una total de 200mL (Tabla N° 2). Agregar entonces 200 mL de la muestra, evitando el contacto de la muestra con el cuello o boca del recipiente.
- 2) En otro recipiente, de las mismas características, colocar 200 mL de aguas inodora.
- 3) Calentar progresivamente los recipientes de 40°C.
- 4) Agitar vigorosamente, destapar y oler al instante en la boca del recipiente.
- 5) Comparar cada vez las diluciones con el agua inodora calentada a la misma temperatura.
- 6) Cada analista debe anotar si existe o no olor en la muestra. Además si la máxima dilución presentada en la Tabla N°2 es insuficiente, prepare una dilución intermedia, la cual consiste de 20 mL de muestra diluida a 200 mL con agua inodora. Use la dilución intermedia para determinarle el olor umbral y multiplique el valor obtenido por (10) para obtener el resultado final.

La dilución con la menor cantidad de muestra en examen donde aún se perciba un olor cualquiera, determina la concentración "Umbral de Olor". Esta concentración se expresa como numero Umbral. Para mayor seguridad en los resultados, se repite la operación comenzando con diluciones donde no se percibe olor y desde este punto se va aumentando la dosis de muestra hasta obtener el Olor Umbral.

Tabla N° 2: Numero umbral de olor.

Mta mL	No. umbral	Mta mL	No. umbral	Mta mL	No. umbral
200	1.0	35	6	6.0	35
170	1.2	30	7	5.0	40
145	1.4	25	8	4.0	50
125	1.6	20	10	3.4	60
105	1.9	17	12	2.9	70
90	2.2	15	13	2.5	80
75	2.7	13	15	2.0	100
65	3.0	11	18	1.8	110
55	3.5	9	22	1.5	135
45	4.5	8	25	1.3	150
40	5.0	7	30	1.0	200

## SABOR

### INTRODUCCIÓN

Existen los sabores dulce, agrio, picante, salado o salobre y amargo. Otros sabores pueden ser realmente olores. Para los verdaderos sabores deben aplicarse las pruebas correspondientes.

La sensación compleja experimentada en la boca durante el acto de saborear es una combinación de: sabor, olor, temperatura y sentir, la cual se llama generalmente sabor. Las pruebas de sabor tienen que ver con esta combinación. Si un agua no tiene olor detectable y es presentada a más o menos la temperatura del cuerpo, la sensación resultante es predominante sabor verdadero.

### OBJETIVO

Determinación del sabor de una muestra de agua problema.

## **MATERIALES Y REACTIVOS**

Agua destilada.  
Erlenmeyer de 500 mL con tapones de vidrio.  
Beakers de 50 mL  
Estufa

## **METODOLOGÍA**

Se han desarrollado tres métodos para la determinación del sabor:

1. Uno que mide la intensidad del sabor mediante la prueba del sabor umbral, la cual es útil determinar si el sabor de un agua potable es diferente de un estándar dado o para medir el impacto del sabor de contaminantes específicos.
2. Otro que es una prueba de apreciación del sabor que sirve para determinar si una muestra de agua potable es aceptable para consumo diario.
3. Un análisis del perfil del sabor que es más útil para identificar y caracterizar sabores individuales en una muestra de agua, pero aún no ha sido normalizado y no lo trataremos aquí.

## **PROCEDIMIENTO**

- 1) En 2 Erlenmeyer de 50 mL, se colocan 40 mL de la muestra y 40 mL de agua destilada respectivamente.
- 2) Se calienta a 40°C y se dejan enfriar.
- 3) Se agita el vaso que contiene el agua destilada y cada analista toma un poco de esta agua a temperatura ambiente, la retiene varios segundos en la boca ya la escupe.
- 4) Realizamos los mismos pasos, para la muestra problema
- 5) Cada analista debe anotar si existe o no sabor en la muestra problema.

## **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO UMBRAL:**

Basado en los resultados de la prueba preliminar prepare una serie de diluciones usando la Tabla N° 3 como guía y prepare diluciones intermedias cuando se requiera. Presente la serie de muestras diluidas a cada catador en orden creciente de concentración. Compare cada una con el agua de referencia. Realice el procedimiento descrito anteriormente. Luego compare la muestra diluida con el agua de referencia y registre si se detecta un sabor. Inserte una o más blancos (agua de referencia solamente) en la serie cerca del número umbral esperado, pero evite cualquier patrón repetido. Registre las observaciones indicando en cada caso un signo (-) cuando la respuesta es negativa o un signo (+) cuando es positiva, es decir, cuando no se detecta sabor y cuando si se detecta, respectivamente.

## **CÁLCULOS**

El número Umbral de sabor es aquella dilución en la cual el sabor es justamente detectable. Si se emplea un volumen total diferente a 200 mL, calcule el Número Umbral así:

$$\text{Número Umbral de Sabor} = (A+B)/A$$

Donde:

A= ml de muestra

B= ml de agua de referencia.

Determinación del Número Umbral:

Basado en los resultados de la prueba preliminar prepare una serie de diluciones usando la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Numero umbral de olor.

Muestra mL	H <sub>2</sub> O mL	No. Umbral
200	0	1
100	100	2
70	130	3
50	150	4
35	165	6
25	175	8
17	183	12
12	188	17
8	192	25
6	194	33
4	196	50
3	197	67
2	198	100
1	199	200

## RESULTADOS

Tabla y análisis de resultados, comparando los resultados con los valores establecidos en el Decreto 1575/2007. Debe anotarse la temperatura en el momento de las pruebas para olor y sabor.

## 2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS: TURBIEDAD, SÓLIDOS Y CONDUCTIVIDAD

### TURBIEDAD

#### INTRODUCCIÓN

La turbiedad es producida por materia de carácter mineral u orgánico en suspensión en el agua (arcilla, plankton, etc.).

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa que la luz sea dispersada absorbida en lugar de transmitida en línea recta a través de la muestra.

Históricamente el método estándar para la determinación de turbiedad ha sido basado en el Turbidímetro a la vela de Jackson. Sin embargo, el valor más bajo de turbiedad medible directamente con él es 25 unidades. Como la turbiedad de las aguas tratadas cae generalmente en un rango muy por debajo del límite inferior de este aparato, se han desarrollado métodos indirectos secundarios para determinar la turbiedad de dichas muestras.

#### OBJETIVO

Determinación de turbidez de una muestra de agua problema.

#### MATERIALES Y REACTIVOS

Agua destilada.  
Soluciones patrón de turbiedad.  
Patrón de trabajo.  
Turbidímetro.  
Celdas de vidrio incoloras.

#### METODOLOGÍA

Para la determinación de la turbiedad se siguen dos métodos:

- Se compara la muestra con patrones de turbiedad preparados en el laboratorio o se usa un Turbidímetro.
- Método Nefelométrico.

#### PROCEDIMIENTO

Preparación de la solución Patrón:

1. Solución I: Se disuelve 1.0 g de sulfato de hidracina (PRECAUCIÓN: cancerígeno, evitar inhalación, ingestión y contacto con la piel),  $(\text{NH}_2)_2\text{H}_2\text{SO}_4$ , en agua destilada y dilúyanse hasta 100 mL en un matraz volumétrico.
2. Solución II: Disuélvanse 10.0 g de hexametileno tetramina,  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ , en agua destilada y dilúyanse hasta 100 mL en un matraz volumétrico.
3. En un matraz de 100 ml mézclense 5.0 mL de solución I y 5.0 mL de solución II. Manténgase durante 24 horas a  $25 \pm 3$  °C, dilúyanse hasta la marca y mézclense. La turbiedad de esta suspensión es de 400 UNT.
4. Prepárense soluciones y suspensiones mensualmente.

#### MÉTODO NEFELOMÉTRICO:

1. Calibrado de Turbidímetro: Sígase las instrucciones del fabricante. A falta de una escala precalibrada, prepárense curvas de calibrado para cada margen del aparato. Utilizando estándares adecuados, compruébese la exactitud de cualquier escala de calibrado de que se disponga sobre un instrumento precalibrado.

Verifíquese por lo menos un estándar en cada margen del aparato que se vaya a utilizar. Compruébese que el Turbidímetro facilita lecturas estables en todos los márgenes de sensibilidad utilizados.

- Medida de turbidez menor de 40 UNT: Agítase hasta que desaparezca las burbujas de aire, y viértase la muestra en el tubo del Turbidímetro. Cuando sea posible, viértase la muestra agitada en el tubo y sumérgase en un baño ultrasónico durante 1-2 segundos, obteniendo la eliminación total de las burbujas. Léase directamente la turbidez en la escala del aparato o en la curva del calibrado adecuada.
- Medida de turbidez superior a 40 UNT: Dilúyanse la muestra con uno o más volúmenes de agua libre de turbidez hasta que ésta descienda a 30-40 UNT. Calcúlense la turbidez de la muestra diluida y del factor de dilución. Por ejemplo, si cinco volúmenes de agua libre de turbidez se añaden a un volumen de muestra y la muestra diluida mostró una turbidez de 30 UNT, la turbidez de la muestra original era de 180 UNT.
- Calibrense soluciones de monitorización continua de turbidez, para cifras bajas de ésta, mediante determinación de la turbidez del agua que entra y sale por ellas, utilizando un Turbidímetro modelo de laboratorio. Cuando esto no sea posible, empléese un adecuado estándar diluido. Para turbidez superior a 40 UNT, utilice solución madre no diluida.

## CÁLCULOS

Unidades nefelométricas de turbidez

$$(\text{UNT}) = [A \times (B + C)]/C$$

Donde:

A= UNT encontradas en muestra diluida,

B= Volumen (mL) de agua de dilución

C= Volumen (mL) de la muestra tomada para dilución.

## RESULTADOS

1) Infórmese de las lecturas de turbidez del siguiente modo:

Margen de turbidez UNT	Informe de cifra UNT más próxima
0-1.0	0.05
1-10	0.1
10-40	1
40-100	5
100-400	10
400-1.000	50
>1.000	100

- Para comparar la eficacia del Turbidímetro de una agua, estímesse la turbidez de forma más precisa a como se ha señalado aquí. Las incertidumbres y discrepancias en medidas de turbidez hacen improbable que dos o más laboratorios dupliquen los resultados de una misma muestra con más exactitud que la especificada.
- Realizar una tabla y análisis de los resultados, comparando con los valores establecidos en el Decreto 1575/20074). Explique la naturaleza de los materiales que causan turbiedad en:
  - El agua contaminada del río.
  - El agua residual doméstica.
  - ¿Cuál es el límite para la turbiedad establecido como criterio para agua segura?

# SÓLIDOS

## INTRODUCCIÓN

Sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Las aguas con abundante sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un límite de 500 g/L de sólidos disueltos. Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales o incluso resultan estéticamente insatisfactorias para bañarse. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

## OBJETIVO

Conocer, usando una porción conocida de la muestra de agua, la totalidad de las sustancias suspendidas y disueltas que se obtienen al evaporarla y secarlas.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)  
Baño de María.  
Estufa  
Desecador.  
Balanza analítica  
Muffa  
Embudo o filtro  
Papel filtro  
Malla de asbesto  
Beaker de 150 ml  
Erlenmeyer de 150 ml

## METODOLOGÍA

Los sólidos totales en una muestra de agua incluyen el material disuelto y el material suspendido. Para su determinación, la muestra se evapora previamente, luego es secada a 103 – 105°C.

## PROCEDIMIENTO

- 1) Se utiliza una cápsula de 100 mL, secada en una estufa a 105°C por una hora.
- 2) Posteriormente en un desecador, se pesa inmediatamente antes de su empleo.
- 3) Se mide el volumen de la muestra, bien mezclada y se calienta hasta sequedad sobre baño María. Si es necesario medir toda la cantidad que se va a emplear e ir agregándola por porciones a la cápsula a medida que se evapora.
- 4) Luego se traslada la cápsula a la estufa y se mantiene por una hora 103-105°C, se deja enfriar en el desecador y se pesa.
- 5) Se repite el proceso hasta obtener el peso constante.

## CÁLCULOS

Sólidos Totales en mg/L =  $(A - B) \times 1000 / \text{Muestra (mL)}$

Donde:

A = peso de la muestra + cápsula, mg

B = peso de la cápsula, mg

# SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS: (180° C)

## OBJETIVO

Determinar la porción disuelta de la muestra, la cual es la materia que pasa a través de un disco estándar de fibra de vidrio y que permanece en el filtrado después de la filtración.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)

Baño de María.

Estufa

Desecador.

Balanza analítica

Muffa

Embudo o filtro

Papel filtro

Malla de asbesto

Beaker de 150 mL

Erlenmeyer de 150 mL

Filtros de fibra de vidrio estándar o crisoles Gooh

## METODOLOGÍA

Los sólidos disueltos o residuos filtrables son determinados directamente o por diferencias entre los sólidos totales y los suspendidos. La muestra bien mezclada se filtra, el filtrado se evapora a sequedad y se seca hasta peso constante a 180°C.

## PROCEDIMIENTO

- 1) Se prepara la cápsula por calentamiento durante una hora a 180°C, enfriamiento en el desecador y pesada.
- 2) Se toma un Erlenmeyer con un embudo de vidrio provisto de papel filtro, se hace pasar por el filtro un volumen exactamente medido de la muestra y se lava el filtro con 3 porciones de 10 mL de agua destilada que se recogen junto con el filtro principal.
- 3) Se transfiere el filtrado a la cápsula previamente tarada y se evapora hasta sequedad en el baño María, procediendo como se indica en la determinación de los sólidos totales y secando el residuo a 180°C, hasta peso constante.

## CÁLCULOS

Sólidos disueltos en mg/L =  $(A - B) \times 1000 / \text{Muestra (mL)}$

Donde:

A = peso de la muestra + cápsula, mg

B = peso de la cápsula, mg

# SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS: (183° C – 105°C)

## OBJETIVO

Determinar la fracción de la muestra, que es el material retenido en un filtro de fibra de vidrio estándar y que es necesario conocer con fines de purificación y usos del agua. En análisis de rutina, pueden estimarse los sólidos suspendidos totales, por la diferencia en miligramos por litro, de los sólidos totales y los disueltos.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)

Baño de María.

Estufa  
Desecador.  
Balanza analítica  
Mufia  
Embudo o filtro  
Papel filtro  
Malla de asbesto  
Beaker de 150 mL  
Erlenmeyer de 150 mL  
Filtros de fibra de vidrio estándar o crisoles Gooh

### **METODOLOGÍA**

Los sólidos suspendidos constituyen el residuo filtrable o material no disuelto y son determinados por filtración o directamente por diferencia entre los sólidos totales y disueltos.

### **PROCEDIMIENTO**

- 1) Se prepara el filtro secándolo a 103-105°C por una hora, dejándolo enfriar en el desecador y pesándolo.
- 2) Se hace pasar a través del filtro una cantidad medida de agua; el filtro se seca en la estufa a 103 – 105°C, por una hora, se deja enfriar y se pesa.
- 3) Se repite la operación hasta que el peso se mantenga constante.

Sólidos suspendidos en mg/L=  $(A - B) \times 1000 / \text{Muestra (mL)}$

Donde:

A = Peso del filtro + residuo en mg

B = Peso del filtro en mg

V = Volumen de la muestra en ml.

SÓLIDOS FIJOS Y VOLÁTILES (500-600°C)

### **OBJETIVO**

Determinar a partir de la calcinación de 500 a 600°C, los sólidos remanentes que representan los sólidos totales fijos, disueltos o en suspensión, mientras que la pérdida de peso por combustión representan los sólidos volátiles.

### **MATERIALES Y REACTIVOS**

Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)

Baño de María.

Estufa

Desecador.

Balanza analítica

Mufia

Embudo o filtro

Papel filtro

Malla de asbesto

Beaker de 150 mL

Erlenmeyer de 150 mL

Filtros de fibra de vidrio estándar o crisoles Gooh

## METODOLOGÍA

Los sólidos fijos son el residuo de los sólidos volátiles, en suspensión o disueltos, después de la calcinación por un tiempo determinado y a una temperatura específica. La pérdida de peso debido a la calcinación constituye los sólidos volátiles.

## PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 1) Se preparan tres cápsulas calcinándolas en la mufla entre 500 y 600° C, por una hora, dejan enfriar en el desecador y se pesan.
- 2) Los residuos obtenidos de la determinación de sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos, después de pesados hasta peso constante se calcinan por separado en la mufla entre 500-600° C; se dejan enfriar en un desecador y se pesan.
- 3) El resultado del residuo de sólidos totales constituye los sólidos fijos totales, el del residuo de sólidos totales disuelto constituye los sólidos fijos disueltos y el residuo de los sólidos totales suspendidos constituye los sólidos fijos suspendidos.
- 4) La pérdida de peso representa la fracción volátil y respectivamente corresponde a sólidos volátiles totales, sólidos volátiles disueltos y sólidos volátiles suspendidos.

## PREGUNTAS

- Tabla de análisis de resultados, comparando con los valores establecidos en decreto 945/98.
- ¿Cómo las corrientes de aire hacen de que un objeto con temperatura mayor a la del ambiente, pese menos de lo que debería y que un objeto que está a menor temperatura que el ambiente pesa más?
- ¿Por qué son de interés en el control de la calidad del agua cada uno de los siguientes análisis: ST, STD, STV, SSe.
- ¿Para que se utiliza el desecador, luego de las operaciones de secado 103-105°C y en el momento de enfriar las cápsulas de temperatura ambiente?
- Un agua residual doméstica contiene 350 mg/L de SS. Las instalaciones de sedimentación primaria remueven el 65% ¿Cuántos galones de lodo con un contenido del 5% de sólidos producirá un millón de galones de agua residual sedimentada? Tome como base de cálculo un día.

# CONDUCTIVIDAD

## INTRODUCCIÓN

La conductividad es conocida como la expresión numérica, la cual demuestra la capacidad de una solución de conducir la corriente eléctrica. Esta depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

Las mediciones de conductividad en las prácticas de laboratorio se utilizan para:

- n Establecer el grado de mineralización. Determinar el efecto de la concentración total de los iones presentes en la solución sobre el equilibrio químico.
- n Determinar el grado de mineralización. Tanto del agua destilada, como desionizada.
- n Evaluar la concentración de minerales. Que puedan encontrarse disueltos en aguas naturales y residuales.
- n Valorar el tamaño de la muestra que se vaya a utilizar.
- n Determinar la dosis de reactivo iónico. necesario en algunas situaciones de reacciones de precipitación y neutralización.

## METODOLOGÍA

La conductividad, como se aplica al análisis de agua, es una de la medida de la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sustancias iónicas en el agua. La conductividad del agua es medida con instrumentos de lectura directa.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Agua destilada  
Conductímetro

Solución patrón de KCl 0.01M: Se disuelven 745.6 mg de KCl anhidro en suficiente agua destilada, para completar a 25°C un litro. Esta solución tiene una conductividad de 1413  $\mu\text{mhos/cm}$ . La solución debe almacenarse en un recipiente color ámbar con tapón de vidrio.

### PROCEDIMIENTO

Es recomendable utilizar un Conductímetro capaz de hacer la medición con un error no superior a 1% ó 1  $\mu\text{mhos/cm}$ ; la celda debe escogerse de tal forma que la constante sea aproximadamente 0.1 para soluciones de baja conectividad ( $\leq 100 \mu\text{mhos/cm}$ ), 1 para conductividad moderada y 10 para alta conductividad. Además deben seguirse las instrucciones del fabricante y comprobar las lecturas empleando distintas soluciones de cloruro de potasio.

Conectar el instrumento a la fuente de energía, prender el interruptor de encendido y dejar pasar 5 minutos para que se caliente.

Determinación de la constante de la celda. Se prepara la celda lavándola, por lo menos tres veces, con solución de KCl 0.01 M; se llena la celda de cloruro de Potasio a 25°C, se mide la resistencia y se calcula la constante de la celda de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C = 0.001413 \times R_{\text{KCl}} \{1 + 0.0191 (t - 25)\}$$

Donde:

R KCl = Resistencia medida, ohms.  
t = Temperatura de la determinación, °C

Se lava la celda con varias porciones de muestra, se llena con la muestra; deben sumergirse los electrodos y la cámara del electrodo no debe contener aire atrapado y se mide la resistencia o la conductividad de la muestra. Toque la celdilla ligeramente para remover cualquier burbuja y sumerja dos o tres veces para asegurar una mojada adecuada.

Cuando se mide la resistencia de la muestra, la conductividad a 25°C:

$$K = C / R_m \{1 + 0.0191 (t - 25)\}$$

Donde:

K = Conductividad en  $\mu\text{mhos/cm}$   
C = Constante de la celda  
R<sub>m</sub> = Resistencia medida de la muestra,  $\mu\text{mhos}$   
t = temperatura de la determinación

Si se midió la conductividad de la muestra, el valor de conductividad de la solución es igual a la lectura del dial multiplicada por el multiplicador, como se expresa en la siguiente fórmula:

$$K = C \times K_m / \{1 + 0.0191 (t - 25)\}$$

Donde:

K<sub>m</sub> = Conductividad de la muestra,  $\mu\text{mhos/cm}$

### RESULTADOS Y PREGUNTAS

- Tabla y análisis de resultados, comparando los valores obtenidos con los establecidos en el decreto 475 / 98.
- Determinar la conductividad de la muestra de agua, que posee los siguientes aniones y cationes: 5.6 meq/L Ca<sup>2+</sup>, 2.4 meq/L Mg<sup>2+</sup> y 1.3 meq/L HCO<sup>3-</sup>.
- ¿Cuál es la conductividad de una muestra de agua con una concentración de 29.3 mg/L de NaCl y con un factor de salinidad, determinado experimentalmente, de 0.52?

# 3. PARÁMETROS QUÍMICOS: pH, ACIDEZ, ALCALINIDAD Y DUREZA

## pH

### INTRODUCCIÓN

El pH es un término usado para designar la intensidad ácida o alcalina de una solución, o una vía para expresar la concentración de iones hidrógeno. En cambio los términos de acidez o alcalinidad expresan la capacidad amortiguadora neutralizable de una reserva total de sustancias químicas, estén o no ionizadas. La valoración de una reserva ácida con una base o lo contrario, mide la concentración total de estas sustancias, pero no da indicaciones sobre su fortaleza la cual lo indica solamente su actividad. Así el volumen conocido de HCl 1N tendrá mucha mayor actividad y será, por lo tanto, más fuerte que un volumen igual de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  de la misma concentración. Lo propio se puede expresar de una base fuerte como NaOH, comparándola con una débil, como  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . La fortaleza de ácidos y bases es un índice de su grado de ionización.

El pH mide el potencial de los iones hidrógeno o sus opuesto el oxidrilo disociados en solución acuosa, en un proceso caracterizado por una constante de ionización.

### OBJETIVO

Determinar el pH correspondiente de la muestra problema.

### MATERIALES Y REACTIVOS

Papel indicador  
pH metro  
Beaker de 100 mL  
Agua destilada

### METODOLOGÍA

El pH puede medirse usando un potenciómetro acondicionado para este fin por el método colorimétrico.

El Potenciómetro está equipado con un par de electrodos que registran electro métricamente los cambios de pH de un líquido en una escala práctica comprendida entre 0 y 14, con un valor medio 7 que significa neutralidad. Los pH menores a 7 indican reacción ácida y los mayores, reacción alcalina y un agua tendrá tanto más de estas dos reacciones, cuando mayormente se aleje del punto neutro.

Además, la determinación del pH por medio del potenciómetro supera en exactitud a los métodos colorimétricos, que tienen la ventaja de no requerir aparatos especiales.

### PROCEDIMIENTO

#### PREPARACIÓN DEL EQUIPO

Remueva el protector de plástico del bulbo del electrodo y la cubierta que se usa para almacenarlo, teniendo cuidado para evitar derramar la solución patrón y dejar el electrodo.

Coloque el extremo inferior del electrodo dentro de un Beaker con agua destilada y permítale remojarlo por 5 minutos aproximadamente. Sin burbujas de aire están presentes en el agua del bulbo, agite el bulbo, invertido para llenarlo con solución. El electrodo está listo ahora para ser usado. Ensamble el electrodo al equipo mediante los cables.

El pH amortiguadores (Buffer) recomendados para usar con el medidor de pH están empacados en almohadillas de polvo y su tamaño sirve para preparar 50 mL de solución Buffer. Los amortiguadores suministrados para estandarizar estos instrumentos son polvos o soluciones de pH 4 y de pH 9 y las soluciones son preparadas como sigue:

1. Mida 50 mL de agua destilada en una probeta y viértalo dentro de un Beaker de 100 mL.
2. Adicione el contenido de una almohadilla de polvo amortiguador y agite hasta disolver el polvo completamente.

Cada vez que es usado un procedimiento de operación diferente o un sistema de electrodo diferente, la escala pH debe ser estandarizada.

Para mayor seguridad en la exacta determinación del pH use la siguiente técnica de estandarización:

1. Prepare soluciones amortiguadores (Buffer) frescas de pH 4 y pH 9.
2. Mida la temperatura de los 2 buffers y con ayuda de la tabla que se da más adelante determine su valor actual del pH a esas temperaturas. Calcule la diferencia actual entre los dos valores del pH.
3. Conecte las probetas de pH y temperatura a sus respectivos conectores y sumerja sus puntas en la solución buffer pH 4. Ponga el orificio lleno del electrodo del lado del electrodo.
4. Coloque el interruptor en la posición de pH.
5. Ajuste el control para obtener una lectura de cero.
6. Remueva las probetas de la solución amortiguadora de pH 4 y enjuáguelas completamente con agua destilada. Usando un frasco lavador se recomienda hacer varios enjuagues en forma de rocío, seguido por una o dos inmersiones.
7. Sumerja las probetas en la solución de pH 9.
8. Ajuste el control hasta cuando la escala indique la diferencia exacta entre los valores de pH de los buffers, como se determinaron en el paso 2.
9. Ajuste el control para el valor actual de pH de una buffer de pH 9. El instrumento está ahora listo para ser usado.

## **PREPARACIÓN DEL EQUIPO**

Remueva el protector de plástico del bulbo del electrodo y la cubierta que se usa para almacenarlo, teniendo cuidado para evitar derramar la solución patrón y dejar el electrodo.

Coloque el extremo inferior del electrodo dentro de un Beaker con agua destilada y permítale remojarlo por 5 minutos aproximadamente. Sin burbujas de aire están presentes en el agua del bulbo, agite el bulbo, invertido para llenarlo con solución. El electrodo está listo ahora para ser usado. Ensamble el electrodo al equipo mediante los cables.

El pH amortiguadores (Buffer) recomendados para usar con el medidor de pH están empacados en almohadillas de polvo y su tamaño sirve para preparar 50 mL de solución Buffer. Los amortiguadores suministrados para estandarizar estos instrumentos son polvos o soluciones de pH 4 y de pH 9 y las soluciones son preparadas como sigue:

1. Mida 50 mL de agua destilada en una probeta y viértalo dentro de un Beaker de 100 mL.
2. Adicione el contenido de una almohadilla de polvo amortiguador y agite hasta disolver el polvo completamente.

Cada vez que es usado un procedimiento de operación diferente o un sistema de electrodo diferente, la escala pH debe ser estandarizada.

Para mayor seguridad en la exacta determinación del pH use la siguiente técnica de estandarización:

1. Prepare soluciones amortiguadores (Buffer) frescas de pH 4 y pH 9.
2. Mida la temperatura de los 2 buffers y con ayuda de la tabla que se da más adelante determine su valor actual del pH a esas temperaturas. Calcule la diferencia actual entre los dos valores del pH.
3. Conecte las probetas de pH y temperatura a sus respectivos conectores y sumerja sus puntas en la solución buffer pH 4. Ponga el orificio lleno del electrodo del lado del electrodo.
4. Coloque el interruptor en la posición de pH.

- Ajuste el control para obtener una lectura de cero.
- Remueva las probetas de la solución amortiguadora de pH 4 y enjuáguelas completamente con agua destilada. Usando un frasco lavador se recomienda hacer varios enjuagues en forma de rocío, seguido por una o dos inmersiones.
- Sumerja las probetas en la solución de pH 9.
- Ajuste el control hasta cuando la escala indique la diferencia exacta entre los valores de pH de los buffers, como se determinaron en el paso 2.
- Ajuste el control para el valor actual de pH de una buffer de pH 9. El instrumento está ahora listo para ser usado.

Tabla N° 4. Coeficientes de temperatura de soluciones “Buffer” Valor de pH nominal

Temp. °C/ pH	4.01	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
0	4.00	6.08	7.14	8.17	9.28	10.30
5	4.00	6.04	7.10	8.13	9.21	10.23
10	4.00	6.02	7.07	8.09	9.15	10.17
15	4.00	6.01	7.04	8.06	9.09	10.11
20	4.00	6.0	7.02	8.03	9.04	10.05
25	4.01	6.0	7.00	8.00	9.00	10.00
30	4.01	6.0	6.99	7.98	8.96	9.96
35	4.02	6.01	6.98	7.96	8.92	9.92
40	4.03	6.02	6.98	7.95	8.89	9.88
45	4.05	6.03	6.98	7.95	8.86	9.85
50	4.06	6.04	6.98	7.95	8.83	9.82
55	4.07	6.06	6.98	7.95	8.81	9.97
60	4.09	6.08	6.99	7.96	8.79	9.76

- Prepare una solución buffer pH 4, disolviendo 480 g de ácido acético glacial y 243 g acetato de sodio ( $C_2H_3O_3H_2O$ ) en 400 ml de agua destilada y luego se completa a un litro de solución. Mida la temperatura del amortiguador buffer el valor del pH real para esa temperatura usando la tabla anterior.
- Seleccione el botón de pH.
- Enjuagase las probetas con agua desmineralizada y colóquelas en la solución buffer. Ajústese el control para una lectura igual al pH real determinado en el paso I.
- Enjuague las probetas con agua desmineralizada y colóquelas en la muestra para analizar. Después de 30 segundos lea el valor del pH en el medidor.

#### NOTAS:

- La escala de pH debe ser estandarizada periódicamente como se describe arriba. Estandarización significa la alineación de instrumentos electrónicos con las características eléctricas de la probeta de pH y está afectada por cualquier cosa que influya en la respuesta y sensibilidad de las probetas. Particularmente variaciones de temperatura. Sin embargo, la frecuencia a la cual debe ser estandarizado el instrumento dependerá de cómo la temperatura ambiente, intervalos mensuales son adecuados. Cuando se opera en el campo, donde la temperatura de las muestras varía, la estandarización se debe hacer antes de cada prueba.
- Cuando el electrodo no está en uso debe permanecer sumergido en agua destilada o en una solución Buffer pH 7 para mantenerlo en condiciones de ser usado inmediatamente, si el agua y otras soluciones concentradas pero iónicamente bajas son medidas con frecuencia, los electrodos deben almacenarse en agua destilada. Esto proporcionará respuestas más rápidas que si se almacena los electrodos en soluciones buffer concentrados pero altamente iónicas. Una inmersión insuficiente algunas veces da repuesta lentas o medidas vagas (no confiables). La inmersión mencionada arriba es completada más fácilmente inundando la tapa con buffer o agua destilada y tapando el electrodo. El orificio llenado deberá estar siempre cubierto con su respectivo mango cubierto para prevenir pérdidas del electrolito por evaporación o derrame accidental. Mientras se usa esta manga, debe ser removida del orificio de llenado de modo que el flujo del electrolito no sea interrumpido.

Lave periódicamente el electrodo, remojando la punta en ácido clorhídrico 0.1 N, seguida de una sumergida en hidróxido de sodio 0.1 N, y otra vez en ácido clorhídrico 0.1, cada operación por un período de 5 minutos de 5 minutos. Si el resultado es aún lento, hierva el electrodo en una solución de cloruro de potasio (1:10 con agua) por 10 minutos. Seguidamente suspenda la fuente de calor y permita que se enfríe, estando aún sumergido.

## PREGUNTAS Y RESULTADOS

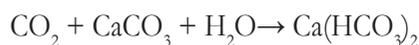
1. Una solución tiene un pH de 4.0 y otra de 6.0.
  - a. ¿Cuál es la concentración del ión hidrógeno?
  - b. ¿Cuál es la concentración de ión hidróxido?
2. Una disminución de una unidad en el pH, ¿qué tanto representa en la concentración del ión hidrógeno?
3. Una disminución del 50% en la concentración del ión hidrógeno ¿qué aumento representa en unidades de pH?
4. Elabore la tabla de resultados y analícelos comparándolos con el Decreto 1575/2007.

# ACIDEZ

## INTRODUCCIÓN

La acidez en el agua es debida a CO<sub>2</sub> libre, los ácidos minerales u orgánicos y en ciertas circunstancias a las sales de ácidos fuertes y bases débiles como los sulfatos de hierro y de aluminio.

Existe un equilibrio normal entre el dióxido de carbono, bicarbonatos y carbonatos en las aguas naturales. El contenido de CO<sub>2</sub> en estas aguas donde es un componente normal, se debe a varias causas: absorción desde el aire, fenómenos biológicos oxidantes de materia orgánica e insuficiencia de carbonatos para neutralizarlo de acuerdo con la ecuación:



También en líquidos residuales es un producto final, junto con el agua, en la oxidación anaerobia y aerobia. La acidez por sales ácidas o por los ácidos propiamente es debida, respectivamente, al tratamiento químico, a la acción contaminante de residuos industriales o drenajes desde minas abandonadas.

## OBJETIVO

Determinar la acidez en una muestra de agua.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Medidor de pH  
Bureta de 25 mL  
Probeta de 100 mL  
Beaker de 150 mL  
Pipetas de 5 mL  
Solución de hidróxido de Sodio 0.02 N.  
Fenolftaleína  
Naranja de metilo 0.1

## METODOLOGÍA

La acidez puede determinarse por titulación con indicador (A) o por Titulación potenciométrica (B). Cuando la muestra es muy coloreada o turbia, se recomienda el método (B)-potenciométrico – que no es afectado por estas interferencias.

Método A: Titulación con NaOH 0.02 N

La acidez se determina por titulación con una base fuerte hasta el punto final dado por el indicador apropiado. El punto final con el naranja de metilo se obtiene a un pH 4.0 y arbitrariamente como la “acidez libre”, porque la mayor de la veces solamente mide la concentración de los ácidos fuertes tales como los ácidos minerales; mientras que en la titulación con la fenolftaleína el punto final se obtienen a un pH 8.0, y se define como la “acidez total” porque incluye los ácidos débiles, las sales ácidas y alguna acidez debida a la hidrólisis.

## PROCEDIMIENTO

Preparación de soluciones:

### Soluciones de Tiosulfato de Sodio 0.1 N

Disolver 25 g de Tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) en agua destilada, adicionarle 0.01 g de carbonato de sodio anhidro y 0.4 mL de cloroformo para estandarizar la solución. Mezclara por agitación o aireación con nitrógeno durante aproximadamente 15 minutos y diluir a 1.0 litro. Envasar en botella de vidrio resistente con tapa amarillenta. Estandarizar con dicromato de potasio.

### SOLUCIÓN INDICADORA DE FENOLFTALEÍNA

Disolver 1.0 g de fenolftaleína en 200 mL de alcohol metílico o isopropílico, neutralizar agregándole, gota a gota, hidróxido de sodio hasta la aparición de un ligero tinte color rosa.

Solución Indicadora de Naranja de Metilo

Disolver 0.5 g de anaranjado de metilo en agua destilada, agitar y completar a 1.0 litro de solución.

## PROCEDIMIENTO

Los residuos de cloro libre pueden afectar el comportamiento de los indicadores, por su acción decolorante, cuando esto sucedo debe adicionarse unas gotas de solución de Tiosulfato de sodio 0.1 N para eliminar la interferencia, sin afectar la exactitud del análisis. Pipetear 50 mL de la muestra clara, colocarla en un Beaker sobre una superficie blanca y efectuar la medición del pH. De acuerdo a este se determina el indicador a utilizar; en el caso de seleccionar la fenolftaleína, adicionar 3 gotas de solución indicadora y titular con NaOH 0.02 N hasta la primera aparición de un color rosado pálido permanente. Para el caso de naranja de metilo, se adicionan dos gotas de solución indicadora a la muestra que se titula hasta obtener al punto final con la aparición de un color anaranjado.

## CÁLCULOS

Acidez, mg/L como  $\text{CaCO}_3 = \text{mL NaOH} \times 0.02\text{N} \times 50000 / \text{mL muestra}$

## RESULTADOS

1. Plantea las ecuaciones químicas para la determinación de la acidez.
2. Construya la curva de titulación para la determinación de la acidez (mL base Vs. pH).
3. Cálculo y expresión de los resultados comparándolos con el decreto 475/98.

# ALCALINIDAD

## INTRODUCCIÓN

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. La alcalinidad es la medida de una propiedad agregada del agua, y solamente puede interpretarse en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra. La alcalinidad es importante en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y residuales.

La alcalinidad en las aguas es impartida por bicarbonato, carbonato e hidróxido, siendo el bicarbonato la mayor forma encontrada, debido a la considerable acción del dióxido de carbono sobre los metales básicos del suelo.

## OBJETIVO

Determinación de alcalinidad en una muestra de agua.

Materiales y reactivos

Bureta de 25 mL

Erlenmeyer de 150 mL

Probeta graduada de 100 mL

Medidor de pH.

Beaker de 150 mL

Pipetas de 5 mL

Solución de Ácido sulfúrico 0.02 N.

Naranja de metilo: 0.5 gramos a 1.0 litro de solución acuosa.

Fenolftaleína: 5 gramos a un litro de solución agua-alcohol 1:1.

Tiosulfato de sodio 0.1 N.

## METODOLOGÍA

1. Principio: Los iones hidroxilo presentes en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de ácido estándar. Por tanto, la alcalinidad depende del pH de punto final utilizado.
2. Puntos finales: Cuando la alcalinidad se debe enteramente al contenido de carbonato o bicarbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina en función de la concentración de dióxido de la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en esta fase. Esta concentración depende, a su vez, del tipo de carbonato total nativo existente y de cualquier pérdida que pueda haberse producido durante la titulación. Como puntos de equivalencia de las concentraciones de alcalinidad correspondientes, en mg de  $\text{CaCO}_3$ /l, se sugieren los valores de pH que se expresan en la Tabla No. 5. "Alcalinidad de fenolftaleína" es un término empleado tradicionalmente para designar la cantidad medida mediante titulación a PH 8.3, independientemente del indicador de color utilizado en su caso para la determinación. Las llamativas variaciones de color producidas por el púrpura de metacresol (pH 4,5) conceden utilidad a estos indicadores para la titulación de alcalinidad.

Tabla N° 5. pH de punto final

	Alcalinidad total	Alcalinidad de fenolftaleína
Alcalinidad mg $\text{CaCO}_3$ /L		
30	4,9	8,3
150	4,6	8,3
200	4,3	8,3
Silicatos y fosfatos, conocido o supuestos	4,5	8,3
Análisis habituales o automatizados	4,5	8,3
Residuos industriales o sistema complejo	4,5	8,3

## PROCEDIMIENTO

1. Cambio De color: Seleccione el tamaño y la normalidad de la muestra, titulando según los criterios indicados. Ajustese la muestra a la temperatura ambiente si es necesario, y vacíese con pipeta en un erlenmeyer, manteniendo la punta de la pipeta cerca del fondo del matraz. Si existe cloro residual libre, añádanse 0.05 mL (una gota), de solución de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.1 M, o destrúyase mediante la aplicación de rayos ultravioleta. Añádanse 0.2 mL (5 gotas) de solución indicadora y titúlese sobre una superficie blanca hasta conseguir un cambio de color persistente, característico del punto equivalente. Pueden emplearse las soluciones o los sólidos indicadores que se encuentran disponibles en el mercado diseñados para el margen adecuado de pH (3,7 u 8,3).

## 2. Curva de titulación potenciométrica:

- Los electrodos y el vaso de titulación se enjuagan con agua destilada y se drenan. Selecciónese el tamaño de la muestra y la normalidad del reactivo. Si es necesario ajústese la muestra a la temperatura ambiente y, con pipeta, viértase la muestra en el matraz, manteniendo la punta cerca del fondo de éste.
- Mídase el pH de la muestra. Añádase álcali estándar en incrementos de 0.5 mL o menos, de forma que se produzca con cada incremento un cambio de 0.2 unidades de pH. Después de cada adición, mézclase cuidadosa y suavemente con agitador magnético
- Titulación potenciométrica hasta pH 3.7 u 8,3: Prepárese conjuntamente la muestra. Titúlese, hasta el pH del punto final, preseleccionado sin registrar valores intermedios. A medida que se aproxima el punto final, hay que reducir las adiciones de álcali y comprobar que se alcanza el equilibrio de pH antes de hacer la adición siguiente:
- Titulación potenciométrica a pH preseleccionado: Determínese el pH de punto final adecuado. Prepárense conjuntamente la muestra y la titulación. Titúlese a pH de punto final sin registrar valores intermedios y sin provocar retrasos indebidos. A medida que se alcanza el punto final, realícense adiciones de ácido más pequeñas, comprobando que el pH alcance el equilibrio antes de añadir más reactivo.
- Titulación potenciométrica de alcalinidad baja: Para alcalinidades menores de 20 mg/L, titúlense 100-200 mL, con el mismo procedimiento de la Titulación potenciométrica a pH preseleccionado, utilizando una micro bureta de 10 ml y solución ácida estándar 0.02 N. Deténgase la titulación a un pH del orden de 4,3 a 4,7 regístrese el volumen y el pH exacto. Añádase más reactivo hasta reducir el pH exactamente 0.30 unidades, registrando de nuevo el volumen.

## CÁLCULOS

Titulación potenciométrica a pH de punto final:

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = A \times N \times 50000/\text{Muestra (mL)}$$

Donde:

A = mL utilizados de ácido estándar

N = normalidad del ácido estándar

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = A \times t \times 5000/\text{Muestra (mL)}$$

Donde:

t = titulo del ácido estándar, mg CaCO<sub>3</sub>/ml

Se debe tener en cuenta el pH de punto final utilizado:

La alcalinidad de valor de pH= mg de CaCO<sub>3</sub>/L. Posteriormente, indicar claramente si este pH corresponde a un punto de inflexión de la curva de titulación.

Titulación potenciométrica a pH de alcalinidad baja:

$$\text{Alcalinidad total, mg CaCO}_3/\text{ml} = (2B - C) \times 50000/\text{Muestra (mL)}$$

Donde:

B = mL titulante para primer pH registrado,

C = total mL de titulante par alcanzar un pH inferior en 0,3 unidades

N = normalidad del ácido.

**Cálculos de relaciones de alcalinidad:** Los resultados obtenidos a partir de las determinaciones de fenolftaleína y alcalinidad total ofrecen un medio de clasificación estequiométrica de las tres formas principales de alcalinidad presentes en muchas aguas. La clasificación adscribe la alcalinidad total a bicarbonato, carbonato e hidróxido, y acepta la ausencia de otros ácidos (débiles) orgánicos e inorgánicos, como el silicio, fosforito, y el bórico. Presupone, además la incompatibilidad de las alcalinidades de hidróxido y de bicarbonato. Dado que los cálculos se hacen sobre una base estequiométrica, las concentraciones iónicas en el sentido más estricto no están representadas en los resultados, que pueden diferir significativamente de las concentraciones reales, especialmente a pH>10.

Con arreglo a este esquema:

1. La alcalinidad de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) se presenta cuando la de la fenolftaleína no es 0, sino menor que la total.
2. La alcalinidad de hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) se presenta si la de la fenolftaleína supera la mitad de la total.
3. La alcalinidad de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) se presenta si la de la fenolftaleína es menor de la mitad de la total. Estas relaciones pueden calcularse mediante el siguiente esquema, donde P es la alcalinidad de la fenolftaleína y T la total.
4. Se debe seleccionar el valor más pequeño de P o (T-P). Entonces, la alcalinidad de carbonato es el doble del valor más pequeño. Cuando este valor más pequeño es P, el equilibrio (T-2P) es bicarbonato. En el caso de que el valor más pequeño es (T-P), el equilibrio (2P-T) es hidróxido. Todos los resultados se expresan en  $\text{CaCO}_3$ . La conversión matemática de estos se muestra en la siguiente tabla. Las relaciones de alcalinidad también pueden calcularse nomo gráficamente. Mídase exactamente el pH, calcúlese la concentración  $\text{OH}^-$  como mg de  $\text{CaCO}_3$  por litro, y calcúlese la concentración de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  en mg de  $\text{CaCO}_3$  por litro a partir de la concentración de  $\text{OH}^-$  y las alcalinidades de fenolftaleína y total mediante las ecuaciones siguientes:

Todos los resultados se expresan en  $\text{CaCO}_3$ . La conversión matemática de estos se muestra en la siguiente tabla. Las relaciones de alcalinidad también pueden calcularse nomo gráficamente. Mídase exactamente el pH, calcúlese la concentración  $\text{OH}^-$  como mg de  $\text{CaCO}_3$  por litro, y calcúlese la concentración de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  en mg de  $\text{CaCO}_3$  por litro a partir de la concentración de  $\text{OH}^-$  y las alcalinidades de fenolftaleína y total mediante las ecuaciones siguientes:

$$\text{CO}_3^{2-} = 2P - 2[\text{OH}^-]$$

$$\text{HCO}_3^- = T - 2P + [\text{OH}^-]$$

De igual forma, si se encuentran dificultades con el punto final de la fenolftaleína, o si se desea hacer una investigación de la titulación de ésta, calcúlese su alcalinidad como  $\text{CaCO}_3$  a partir de los resultados de las determinaciones monográficas de concentraciones de iones carbonato e hidróxido:

$$P = \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

Tabla No 6. Relaciones de Alcalinidad

Resultado de la titulación	Alcalinidad de hidróxidos como $\text{CaCO}_3$	Alcalinidad de carbonatos como $\text{CaCO}_3$	Concentración de bicarbonatos como $\text{CaCO}_3$
P = 0	0	0	T
P < 1/2 T	0	2P	T-2P
P = 1/2 T	0	2P	0
P > 1/2 T	2P-T	2(T-P)	0
P = T	T	0	0

P = alcalinidad de fenolftaleína

T = alcalinidad total.

## RESULTADOS

1. Construya la curva de titulación para la determinación de la alcalinidad (ml de ácido Vs. pH).
2. Cálculo y expresión de resultados, compárenlos con el Decreto 1575/2007.
3. Escriba las ecuaciones químicas para las reacciones que se dan en la determinación de la alcalinidad por titulación con Ácido Sulfúrico.
4. Calcula la alcalinidad utilizando la tabla de relaciones estudiadas en la clase y con los datos obtenidos de los volúmenes gastados de Ácido Sulfúrico con la fenolftaleína y con el naranja de metilo.
5. El análisis de una muestra de agua residual de los siguientes resultados:  
Alcalinidad total: 88 mg/L  $\text{CaCO}_3$   
Temperatura: 270 C  
pH: 8.8

Determinar las alcalinidades de carbonato, bicarbonato e hidróxido

# DUREZA

## INTRODUCCIÓN

Originalmente, la dureza del agua se entendió como una medida de su capacidad para precipitar el jabón. El jabón es precipitado preferentemente por los iones calcio y magnesio. Otros cationes polivalentes también pueden hacerlo, pero estos suelen estar presentes en forma complejas, frecuentemente con componentes orgánicos y su influencia en la dureza del agua puede ser mínima y difícil de determinar. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato calcio, en miligramos por litros.

Cuando la dureza es numéricamente mayor que la suma de alcalinidades de carbonato y bicarbonato, esta cantidad de dureza equivalente a la alcalinidad total se denomina “dureza de carbonato”; la cantidad de dureza que excede a ésta se llama “dureza no carbonatada”.

Cuando la dureza es numéricamente igual o menor que la suma de alcalinidades de carbonato y bicarbonato, toda la dureza es de carbonato, estando ausente la de bicarbonato. La dureza oscila entre cero y cientos de miligramos por litro, dependiendo de la fuente y del tratamiento a que el agua haya sido sometida.

## OBJETIVOS

Determinar la dureza en una muestra de agua.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Probeta de 50 mL  
Beaker de 100 mL  
Bureta.  
Papel filtro.  
Embudo de vidrio.  
Solución tampón o buffer pH 10.  
Negro de Ericromo T  
Murexida  
Solución tituladora

## METODOLOGÍA

Existen Dos métodos: el método del cálculo de dureza, es aplicable a todas las aguas y proporciona una gran exactitud. Si se realiza un análisis mineral, puede informarse del cálculo de dureza. También, está el Método titulométrico de EDTA, mide los iones calcio y magnesio y puede aplicarse, con las debidas modificaciones, a cualquier clase de agua. El procedimiento descrito facilita un medio de análisis rápido.

Método título métrico de EDTA:

1. Principio: El ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de  $10 \pm 0.1$ , se añade una pequeña cantidad de colorante, como negro de eriocromo, la solución toma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de Titulación, los iones de calcio y magnesio formaran un complejo, y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiara del rojo vino al azul, señalando el punto final de la titulación. Para obtener un punto final satisfactorio han de estar presentes los iones magnesio. Para asegurar esta presencia, se añade al tampón una pequeña cantidad de sal magnesia de EDTA, neutra desde el punto de vista complexométrico; de este modo se introduce automáticamente una cantidad suficiente de magnesio y evita la necesidad de una corrección de blanco. La nitidez del punto final aumenta con los incrementos de pH. Sin embargo, el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) o hidróxido magnésico,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , y porque la tinción cambia de color a pH alto. El valor de pH especificado de  $10 \pm 0,1$  constituye una solución satisfactoria. Se fija un límite de cinco minutos de duración para la titulación, a fin de reducir al mínimo la tendencia a la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .

2. Interferencia: Algunos iones metálicos interfieren produciendo puntos finales débiles o indiferenciados, o provocando un consumo estequiométrico de EDTA. Redúzcase esta interferencia añadiendo algunos inhibidores antes de la titulación. El Mg – EDTA secuestra selectivamente a los metales pesados, libera magnesio en la muestra y puede utilizarse como sustitutivo de inhibidores tóxicos o malolientes. Solamente es útil cuando el magnesio sustituido por los metales pesados no contribuye significativamente a la dureza total. Con metales pesados a concentraciones de polifosfato por debajo de las señaladas en la siguiente tabla:

Tabla No. 7. Concentraciones máximas de interferencia permitidas con diversos inhibidores

Sustancia que interfiere	Concentración máx. de interferencia mg/L	
	Inhibidor I	Inhibidor II
Aluminio	20	20
Bario	+	+
Cadmio	+	20
Cobalto	Más de 20	0.3
Cobre	Más de 20	20
Hierro	Más de 20	5
Plomo	+	20
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	+	1
Níquel	Más de 20	0.3
Estroncio	+	+
Zinc	+	200
Polifósforo		10

Cuando existen concentraciones más altas de metales pesados, el calcio y magnesio se determinan por un método no EDTA, y la dureza se obtiene mediante cálculo. Las cifras de la tabla deben interpretarse como una orientación aproximada, y se basan en el empleo de muestras de 25 mL diluidas a 50 mL.

Las materias orgánicas coloidales o en suspensión también pueden interferir en el punto final. Elimínense la interferencia mediante evaporación de la muestra por secado en baño de vapor calentamiento en horno de mufla a 550°C hasta que se produzca la oxidación completa de la materia orgánica. Dilúyase el residuo en 20 mL de ácido clorhídrico (HCl) 1 N, (NaOH) 1 N y complétese hasta 50 mL con agua destilada; enfríese a temperatura ambiente y continúe con el procedimiento general.

## PROCEDIMIENTO

### Determinación de dureza total a Calcio y Magnesio

1. Mida 50 mL de la muestra en una probeta y si es necesario filtrala en un beacker.
2. Ajuste el pH de la muestra agregando 1 mL de la solución buffer o tampón, de pH 10, midiendo el pH para verificar su valor.
3. Agregue una pizca de Negro de Eriocromo T, si la muestra toma un color rojo vino es porque contiene dureza.
4. Titule dentro de los primeros cinco minutos, con agitación constante, usando la solución tituladora para dureza (EDTA) hasta cambio de color rojizo a azul.
5. Anote la cantidad de solución tituladora consumida durante la titulación.

### Determinación de dureza total a Calcio

1. Mida 50 mL de la muestra en una probeta y si es necesario filtrarla en un beacker.
2. Ajuste el pH de la muestra agregando 1 mL de la solución de hidróxido de sodio, de pH 12, midiendo para verificar su valor.
3. Agregue una pizca de Murexida la muestra tomará un color rojizo. Titule dentro de los primeros cinco minutos con agitación constante, usando la solución tituladora para dureza (EDTA) hasta cambio de color rojo a azul.
4. Anote la cantidad de solución tituladora consumida durante la titulación.

## CÁLCULOS

**Dureza Total, mg/L como  $\text{CaCO}_3$**  =  $A \times B \times 50000/\text{Muestra (mL)}$

Donde:

A = mL de titulación para la muestra,

B = mg  $\text{CaCO}_3$ , equivalente a 1.0  
mL de titulante EDTA.

**Dureza Cálcica, mg/L como  $\text{CaCO}_3$**  =  $A \times B \times 50000/\text{Muestra (mL)}$

**Dureza de Magnesio** = dureza total – dureza de calcio

## PREGUNTAS Y RESULTADOS

1. Una muestra de agua presenta el siguiente análisis:

mg/L		mg/L	
$\text{Na}^+$	20	$\text{Cl}^-$	40
$\text{K}^+$	30	$\text{HCO}_3^-$	67
$\text{Ca}^{2+}$	5	$\text{CO}_3^{2-}$	0
$\text{Mg}^{2+}$	10	$\text{SO}_4$	5
$\text{S}^{2+}$	2	$\text{NO}_3$	10

¿Cuál es la dureza total, la dureza por carbonatos y la dureza por no carbonatos en mg/L como  $\text{CaCO}_3$ ?

2. Tabla de resultados y análisis de los mismos, comparándolos con los valores del Decreto 1575/2007
3. Escriba la ecuación química de la reacción de titulación con EDTA para la determinación.

# 4. DETERMINACIÓN DE SULFATOS EN EL AGUA

## INTRODUCCIÓN

El sulfato, como el cloruro, debe encontrarse en el agua potable dentro de ciertos límites aceptados por los organismos sanitarios. En exceso de 500 mg/L comunica al agua ligero sabor amargo y actúa como laxante en algunas personas.

Además, cuando en un agua hay dureza permanente asociada a la sílice, se forman costras duras, sobre todo en los tubos de las calderas y en la de los enfriadores o refrigerantes industriales. El sulfato está asociado también con la formación de olores y en la corrosión del concreto, principalmente en problemas de tratamiento por efectos de su reducción a  $\text{H}_2\text{S}$  por organismos anaerobios.

## OBJETIVOS

Determinar la concentración de sulfatos en una muestra problema de agua.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Solución de Cloruro de Bario.  
Ácido clorhídrico diluido.  
Estufa.  
Papel filtro de alta retención.  
Embudo de vidrio.  
Erlenmeyer de 150 mL.  
Medidor de pH.  
Beacker de 200 mL.  
Balanza analítica.  
Malla de asbesto.  
Agitador de vidrio.

## METODOLOGÍA

El sulfato se precipita de una solución clorhídrica como sulfato de bario, por la adición de cloruro de bario; la precipitación se efectúa cerca del punto de ebullición y después de un periodo de digestión se filtra el precipitado, se lava con agua hasta que esté libre de cloruros, se seca y se pesa como sulfato de bario.

## PROCEDIMIENTOS

1. Se toman 100 mL de la muestra y se filtran con un papel de alta retención, se toman 50 ml del filtrado y se diluyen hasta un volumen de 200 mL con agua, en un beacker.
2. Se ajusta el pH con el ácido clorhídrico hasta 4.5-5.0 y se verifica utilizando el medidor de pH.
3. Se agrega 1 mL más de ácido clorhídrico, se calienta a ebullición y se agita suave pero constantemente.
4. Se agrega, lentamente solución caliente de cloruro de bario hasta que no se forme más precipitado y se adiciona 1 mL de exceso. En ningún caso deben agregarse menos de 5 mL de la solución de cloruro de bario.
5. Se deja en reposo, por lo menos dos horas, a la misma temperatura.
6. Se tara un filtro previamente, se lava el precipitado con agua y luego se seca el filtro.
7. Se deja enfriar en un desecador y se pesa.

## CÁLCULOS

El sulfato expresado en mg/L se calcula por la siguiente fórmula:

$$\text{SO}_4^{2-} = 411.6 \times \text{BaSO}_4 / \text{muestra (mL)}$$

## RESULTADOS

1. Tabla de resultados y análisis de los mismos, comparándolos con el Decreto 475/98.
2. ¿Cómo actúan los sulfatos presentes en las minas de carbón y otros depósitos minerales, en la disminución de la calidad de las aguas?
3. Escriba las ecuaciones químicas de las reacciones para la determinación de sulfatos por el método gravimétrico?
4. Utilizando los métodos de cálculo para análisis gravimétrico y los resultados obtenidos en la determinación de sulfatos, escriba una expresión para determinar los mg/L  $\text{SO}_4$  presentes en la muestra.

# 5. DETERMINACIÓN DE CLORUROS

## INTRODUCCIÓN

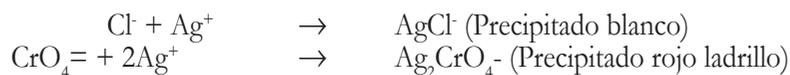
El ion cloruro (Cl<sup>-</sup>), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. Los contenidos de cloruros de las aguas son variables y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos atravesados. Habitualmente, el contenido de ion de cloruro de las aguas naturales es inferior a 50 mg/L.

En el agua potable, el sabor salado producido por el Cl<sup>-</sup> es variable y depende de la composición química del agua.

En las volumetrías de precipitación se mide el volumen de solución tipo, necesario para precipitar completamente un catión o anión del compuesto que se analiza. Los métodos del Mohr y Volhard son ejemplos de volumetrías de precipitación.

## MÉTODO DE MOHR

El método se utiliza para determinar iones cloruro y bromuro de metales alcalinos, magnesio y amonio. La valoración se hace con solución patrón de AgNO<sub>3</sub>. El indicador es el ion cromato CrO<sub>4</sub><sup>=</sup>, que comunica a la solución en el punto inicial una coloración amarilla y forma en el punto final un precipitado rojo ladrillo de cromato de plata, Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. Las reacciones que ocurren en la determinación de iones cloruro son:



La solución debe tener un pH neutro o cercano a la neutralidad. Un pH de 8.3 es adecuado para la determinación.

La solución patrón de AgNO<sub>3</sub> se puede preparar por el método directo dado que el nitrato de plata es un reactivo tipo primario; con el objeto de compensar los errores en la precipitación del punto final se prefiere el método indirecto y la solución se valora con NaCl químicamente puro. Cuando la solución tipo se prepara por el método indirecto no es necesario el ensayo en blanco, porque el exceso empleado en la valoración de la sustancia problema se compensa con el empleado en la valoración del AgNO<sub>3</sub>.

## OBJETIVOS

Determinar la concentración de cloruros en una muestra de agua problema.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Pipeta de 2 mL o jeringa de 2 mL

Probeta.

Beacker.

Pipeta de 5 mL

Solución de Nitrato de Plata.

Solución Indicadora de Cromato de potasio

## METODOLOGÍA

El método de Mohr es el utilizado para la determinación de cloruros en el agua, consiste, en la titulación de la muestra con solución estándar de nitrato de plata 0.020 N, en presencia de cromato de potasio como indicador, en medio neutro o ligeramente alcalino. Durante la titulación la plata como cloruro de plata y durante el viraje, se forma cromato de plata de color rojo ladrillo.

## PROCEDIMIENTO

1. Se toma una probeta con 5 mL de muestra de agua problema, adicionar 3 gotas de solución indicadora de cromato de potasio al 5%, la muestra se tornara de color amarillo.
2. Titular lentamente con solución estándar de nitrato de plata

## CÁLCULOS Y RESULTADOS

1. Complete la siguiente tabla y calcule la concentración de cloruros de la muestra en g/L, mediante el método de Mohr. Adicione los cálculos respectivos. Comparelos con el Decreto 475/98.

Tabla de datos

Información requerida	Ensayo 1	Ensayo 2
Volumen de $\text{AgNO}_3$ adicionado (mL)		
Formalidad del $\text{AgNO}_3$ (promedio)		
Cloruros (g/L)		
Volumen de muestras (mL)		

- Exprese la concentración de cloruros en mg/L de NaCl

## 6. DETERMINACIÓN DE HIERRO EN AGUA

### INTRODUCCIÓN

En las muestras filtradas de aguas superficiales oxigenadas, el hierro raramente alcanza concentraciones de 1 mg/L. algunas aguas subterráneas y drenajes superficiales ácidos pueden contener una cantidad de hierro bastante mayor. El hierro en agua puede ocasionar manchas en la ropa y la porcelana; algunas personas son capaces de detectar el gusto astringente dulce amargo a niveles por encima de 1 mg/L.

En condiciones reductoras, el hierro existe en estado ferroso. En ausencia de iones que forman complejos, el hierro férrico no es significativamente soluble a menos el pH sea muy bajo. Al exponerlo al aire o al añadir oxidantes, el hierro ferroso se oxida a estado férrico y puede hidrolizarse para formar óxido férrico hidratado insoluble.

### OBJETIVOS

Determinar la concentración de hierro en una muestra de agua problema.

### MATERIALES Y REACTIVOS

Fotómetro.  
Beaker de 150 mL  
Pipetas de 2 y 5 mL  
Probetas de 100 mL.  
Matraz volumétricos 100 mL  
Matraz volumétricos 1000 mL  
Medidor de pH.  
Agua destilada.  
Ácido clorhídrico concentrado.  
Ácido sulfúrico concentrado.  
Solución de hidroxilamina hidrocloreto.  
Solución de 1-10 ortofenatrolina.  
Solución amortiguadora de acetato de amonio.  
Solución estándar de hierro.

### PREPARACION DE SOLUCIONES:

**Solución de hidroxilamina hidrocloreto:** Disolver 10 gramos de hidroxilamina hidrocloreto en agua destilada hasta completar 100 mL de solución.

**Solución de 1.10 ortofenatrolina:** Disolver 0.2 gramos de 1.10 ortofenatrolina monohidratada en agua destilada calentando a 80°C, deje reposar y completar hasta un volumen de 100 mL.

**Solución amortiguadora de acetato de amonio:** Disolver 250 gramos de acetato de sodio en 150 mL de agua destilada y se añade 700 mL de ácido acético concentrado libre de hierro.

**Solución de hierro:** 1.0 mL de solución = 1.0 mg/L de Fe  
Disolver 0.722 gramos de sulfato de amonio ferroso  $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en 50 mL de agua destilada y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado; agregue gota a gota permanganato de potasio 0.1 N hasta que todo el hierro sea completamente oxidado, lo cual se manifiesta por la persistencia de un color rosado pálido. Diluir esta solución hasta un litro en un balón volumétrico.

### METODOLOGÍA

Mezcle bien la muestra de agua, transfiera 50 mL a un beaker, diluirla con agua destilada, adicionar 2 mL de ácido clorhídrico y 1 mL de solución de hidroxilamina.

Agregue unas perlas de vidrio, caliente la solución hasta ebullición y continúe calentando por 10 minutos más. Si es necesario agregue 10 mL más de ácido sulfúrico para evitar que la solución se seque.

Deje reposar la solución hasta temperatura ambiente, trasladar la solución a un matraz volumétrico de 100 mL, agregue 1 mL de solución amortiguadora de acetato de amonio para ajustar el pH a 3.5; añada 10 mL de solución de ortofenantrolina y diluir con agua destilada hasta 100 mL; mezcle bien y deje reposar por espacio de 15 minutos para el máximo desarrollo del color.

## PROCEDIMIENTO

Preparación de la curva de calibración:

Coloque 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 mL de solución estándar (solución de hierro) en matraz de 100 mL con 50 mL de agua destilada, adicione 10 mL de hidroxilamina, mezclar bien y agregue 10 mL de ortofenantrolina. Ajuste el pH de la solución a 3.5 adicionándole solución de Ácido, luego adicione 1 mL de acetato de amonio, deje en reposo por 2 minutos diluir con agua destilada hasta los 100 mL.

Encender el fotómetro por lo menos con 30 minutos de anterioridad a la lectura, inserte la celda con agua destilada para calibrar el equipo a absorbancia cero. Leer los estándares preparados del 1 al 5 a una longitud de onda a 510 nm.

Construir la curva de calibración de la absorbancia (coordenada Y) vs mg Fe /100mL de solución (coordenada X) utilizar un análisis de regresión para determinar la pendiente y el intercepto, con lo cual se determinará el factor de calibración el cual es recíproco a la pendiente.

## CÁLCULOS

$$\text{Hierro total mg/L} = 1000 (A - A_0)F/V$$

Donde:

A= absorbancia de la muestra.

A<sub>0</sub> = absorbancia del blanco de reactivos.

V= mL de muestra original presente en 100 mL de solución.

F= factor de calibración, mg hierro/ absorbancia. 100 mL.

## RESULTADOS

1. Plantea las ecuaciones químicas para la determinación de hierro total por el método colorimétrico con ortofenantrolina. En que forma debe existir el hierro para poder ser medido por el método de la ortofenantrolina y como se convierte el hierro a esta forma?
2. Construir la curva de calibración de la absorbancia (coordenada Y) vs mg hierro /100 mL de solución (coordenada X) usar un análisis de regresión para determinar la pendiente y el intercepto. Determinar el factor de calibración, el cual es el recíproco de la pendiente.
3. Tabla de resultados y análisis de los mismos, comparándolos con el decreto 1575 de 2007.
4. Explique como entra el hierro y el manganeso en los abastecimientos de agua subterránea.

# 7. DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN EL AGUA

## INTRODUCCIÓN

La concentración del cloro residual "libre", así como la porción relativa entre los cloros residuales "libre" y "combinado", son importantes cuando se practica la cloración residual libre. En un determinado abastecimiento de agua aquella porción del cloro residual total "libre", sirve como medida de la capacidad para "oxidar" la materia orgánica. Cuando se practica la cloración residual libre, se recomienda que cuando menos, el 85 % del cloro residual total quede en estado libre.

## OBJETIVOS

Determinar la demanda de cloro y cloro residual total en una muestra de agua problema.

## FUNDAMENTO DEL MÉTODO

El cloro es añadido al agua de suministro público, en plantas para tratamiento de residuos y piscinas para destruir las bacterias nocivas. Una concentración de cloro de 1 mg/L de cloro residual es generalmente adecuada para el control de bacterias sin causar sabor, olor y efectos nocivos.

Las muestras para determinación de cloro no deben almacenarse; las determinaciones de cloro deben hacerse inmediatamente después de haber tomado las muestras, evitando el exceso de luz y la agitación para que no haya pérdida por la volatilización o reducción.

El cloro libera yodo de las soluciones de yoduro de potasio que se encuentra a un pH de 8.0 ó menos. El yodo liberado se titula con una solución estándar de tiosulfato de sodio al 0.01 N, usando como indicador la solución de almidón al 0.5 %. La titulación debe hacerse preferentemente a pH 3 y 5 para la titulación ácida debe usarse el ácido acético.

## MATERIALES Y REACTIVOS

- 1 Bureta.
- 2 Beakers.
- 2 Pipetas.
- Medidor de pH.
- Solución de tiosulfato de sodio.
- Solución de yoduro de potasio.
- Solución de almidón al 0.5%.
- Solución de ácido acético glacial.

## METODOLOGÍA

El cloro es añadido al agua de suministro público, en plantas para tratamiento de residuos y piscinas para destruir las bacterias nocivas. Una concentración de cloro de 1 mg/L de cloro residual es generalmente adecuada para el control de bacterias sin causar sabor, olor y efectos nocivos.

Las muestras para determinación de cloro no deben almacenarse; las determinaciones de cloro deben hacerse inmediatamente después de haber tomado las muestras, evitando el exceso de luz y la agitación para que no haya pérdida por la volatilización o reducción.

El cloro libera yodo de las soluciones de yoduro de potasio que se encuentra a un pH de 8.0 ó menos. El yodo liberado se titula con una solución estándar de tiosulfato de sodio al 0.01 N, usando como indicador la solución de almidón al 0.5 %. La titulación debe hacerse preferentemente a pH 3 y 5 para la titulación ácida debe usarse el ácido acético.

## PROCEDIMIENTO

### PREPARACIÓN DE SOLUCIONES:

#### SOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO 0.01N:

Disolver 62 gramos de tiosulfato de sodio penta hidratado en agua destilada hervida previamente para desalojar el  $\text{CO}_2$  y completar a 250 mL en matraz aforado. Agregarle 0.5 mL de sulfuro de carbono  $\text{CS}_2$  como preservativo, y guardar en un frasco oscuro y lugar fresco. A partir de esta solución se prepara la de 0.01N.

#### SOLUCIÓN DE YODURO DE POTASIO:

Se disuelven 75 gramos de KI en 1000 mL de solución acuosa.

#### SOLUCIÓN DE ALMIDÓN 0.5%:

Se pesan 5 gramos de almidón y se disuelven en un poco de agua destilada en ebullición, agitándose y dejándose reposar durante la noche. Se usa el líquido claro sobrenadante y la solución se puede preservar agregándole 1.25 gramos de ácido salicílico, 4 gramos de cloruro de zinc o una combinación de 4 gramos de propionato de sodio y 2 gramos de nitrato de sodio, por litro de la solución de almidón.

#### SOLUCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO GLACIAL:

Preparar la solución manteniendo la proporción 1:2 en agua destilada.

Se toman 50 mL de la muestra; se determina el pH inicial y se ajusta, si es necesario con ácido acético glacial hasta un pH entre 3 y 4, se añade 1 mL de solución de yoduro de potasio. Se tapa el recipiente y se deja en reposo en la oscuridad por 5 minutos.

Se agregan 2 gotas de solución de almidón y se titula con solución de tiosulfato de sodio de 0.01N, hasta que desaparezca el color azul o verde producido por el yodo liberado y su contacto con el almidón. En este punto la titulación se suspende; si al agregarle una gota más de almidón reaparece el color azul, se continúa titulando con el tiosulfato hasta que desaparezca la coloración, debido al contacto del yodo con el almidón.

### CÁLCULOS

$\text{Cloro mg/L} = (A - B) \times N \times 3546 \times 1000 / \text{mL muestra}$

Donde:

A = mL de tiosulfato gastados en la titulación de la muestra.

B = mL de tiosulfatos gastados en la titulación del blanco.

N = normalidad del tiosulfato.

### RESULTADOS

1. Escribe las ecuaciones dadas en el método de la determinación del cloro residual total.
2. Elabora la tabla de resultados y el análisis de los mismos según el decreto 475/98.

# 8. DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (OD) Y DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) EN EL AGUA

## DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

### INTRODUCCIÓN

Se utiliza el método de Winkler. Se provoca en el interior del frasco que contiene, o bien el agua de dilución (O.D.i.), o la muestra en sí, la formación de un precipitado de hidróxido manganoso, éste se transforma en una mezcla de óxidos superiores, los que al ser acidificados en presencia de un yoduro, liberan yodo en cantidad equivalente al oxígeno fijado, este yodo liberado, se cuantifica con solución valorada de tiosulfato de sodio.

Este método, se aplica a aguas que no contengan más de 0,1 mg/L de nitrógeno al estado de nitritos, ni de hierro (1mg/L de hierro ferroso ocasionará una pérdida de 0,14 mg/L de Oxígeno Disuelto). Tampoco debe contener cantidades apreciables de sulfitos, tiosulfatos, politanatos, cloro libre o hipocloritos o formas inestables de materia orgánica.

### OBJETIVOS

Determinar la cantidad de Oxígeno Disuelto (OD) en una muestra de agua problema.

### FUNDAMENTO DEL MÉTODO

Se basa en la adición de una solución de manganeso y una yoduro-alkalina, la cual lleva incorporada azida de sodio, cuya función es la de eliminar interferencias debidas a iones oxidantes como nitritos y materia orgánica presentes; al mismo tiempo que se le protege del aire para evitar la oxidación. El oxígeno disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del hidróxido de manganeso formado y los productos de oxidación reaccionan con iones yoduro en medio ácido para liberar cantidad equivalente de yodo al OD presente, originalmente.

### MATERIALES Y REACTIVOS

Bureta  
Botellas Winkler de 300 mL o su equivalente  
Pipetas de 2 mL  
Beacker de 100 mL  
Sulfato de Manganeso  
Solución yoduro –alkalina  
Acido sulfúrico al 70%  
Solución de almidón 3%  
Tiosulfato de sodio 0.01 N  
Solución de KIO<sub>3</sub> 0.01 N

### METODOLOGÍA

Se basa en la adición de una solución de manganeso y una yoduro-alkalina, la cual lleva incorporada azida de sodio, cuya función es la de eliminar interferencias debidas a iones oxidantes como nitritos y materia orgánica presentes; al mismo tiempo que se le protege del aire para evitar la oxidación. El oxígeno disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del hidróxido de manganeso formado y los productos de oxidación reaccionan con iones yoduro en medio ácido para liberar cantidad equivalente de yodo al OD presente, originalmente.

## PROCEDIMIENTO

### PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

#### Sulfato de Manganeso (Winkler I):

Disolver 182.5 g de  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y diluir a 1.0 litro.

#### Solución de yoduro-alcalina (Winkler II):

Disolver 250 g de NaOH en 250 mL de agua destilada. Disolver 150 g de KI en 200 mL de agua destilada. Una vez frías, mezclar las dos soluciones y agregarse 5 g de azida de sodio disuelta en 20 mL de agua destilada, completar a 500 mL.

#### Acido sulfúrico al 70%:

Mezclar 350 mL de acido sulfúrico concentrado con 150 mL de agua destilada.

#### Acido de almidón 3%:

Disolver 3.0 g de almidón en 100 mL de glicerina, calentando hasta disolución total.

#### Tiosulfato de sodio 1.0 N:

Disolver 62.0 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada hervida previamente para desalojar del  $\text{CO}_2$ , y completar a 250 mL en un matraz aforado. Agregarle 0.5 mL de  $\text{CS}_2$  como preservativo, y guardar en un lugar fresco y oscuro. A partir de esta solución se prepara la de 0.01 N.

#### Solución de $\text{KIO}_3$ 0.01 N:

Disolver 0.3567 g<sup>3</sup> de  $\text{KIO}_3$ , exactamente pesado en balanza analítica sobrenadante claro; se acidifica la muestra con 1 mL de solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 70%

La muestra para la determinación de OD debe ser tomada por rebosamiento y evitando introducir burbujas de aire; la botella winkler en la cual se colecta, debe enjuagarse por lo menos dos veces con el agua de la muestra.

En forma rápida, se agregan primero 1 mL de solución de sulfato de manganeso (Winkler I) y luego 1 mL de solución yoduro-alcalina (Winkler II) introduciendo las pipetas o dosificadores hasta la parte media de la botella Winkler y evitando de nuevo producir burbujas. Posteriormente se tapa y se agita fuertemente. Las muestras se almacenan en un lugar fresco y preferiblemente oscuro, se trasladan al laboratorio para el análisis respectivo, el que se realiza en un tiempo no inferior a 15 minutos pero no mayor de seis horas.

Durante esos 15 minutos se deja separar el precipitado hasta observar unos 100 mL de líquido sobrenadante claro; se acidifica la muestra con 1 mL de solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 70% dejándolo resbalar por las paredes del recipiente; se vuelve a tapar el recipiente y se mezcla por inversión hasta que toda la solución se haya repartido uniformemente. Tomar alícuotas de 50 mL de muestra por duplicado, adicionar dos gotas de solución de almidón y titular con solución de tiosulfato de sodio 0.01 N hasta desaparición del color azul; anotar los volúmenes de tiosulfato y promediar.

### DETERMINACIÓN DEL BLANCO

1. Llenar una botella Winkler de 300 mL o su equivalente con agua destilada
2. Realizar el mismo procedimiento que para las muestras
3. Si al agregar la solución de almidón da coloración azul, titular con tiosulfato 0.01 N y anotar el volumen gastado

### ESTANDARIZACIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO

1. Pipetear 2 alícuotas de 10 mL de  $\text{KIO}_3$  0.01 N en erlenmeyers de 125 mL.
2. Adicionar 50 mL de agua destilada a cada uno y agitar.
3. Adicionar 2 mL de solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y agitar
4. Adicionar 2 mL de solución de yoduro-alcalina y agitar
5. Dejar en reposo por 15 minutos.
6. Titular con tiosulfato 0.01 N en presencia de almidón, lo mismo que para la muestra, anotar los volúmenes y promedios.

## CÁLCULOS

Con las siguientes formulas, puede calcularse la concentración de oxígeno disuelto en las muestras:

$$OD \text{ (mg/L)} = 8.0 \times (1000/V_m) \times (v / (V-4)) \times (a - b) \times N$$

Donde:

OD = Contenido de oxígeno disuelto

$V_m$  = mL de muestra usado en la titulación

$V$  = mL de la botella Winkler

$a$  = mL de tiosulfato de sodio 0.01 N consumidos

$N$  = normalidad exacta del tiosulfato de sodio

$b$  = mL de tiosulfato 0.01 N gastado para el blanco de reactivos

## RESULTADO

1. Tabla de resultados y análisis de los mismos, comparándolos con el Decreto 1575/2007
2. Escriba las ecuaciones de las reacciones llevadas a cabo en la titulación volumétrica del método Winkler.
3. Se recolectaron simultáneamente dos muestras de análisis de OD, en el mismo sitio de un río. Una muestra se “fijó” inmediatamente después de la recolección y la otra se trató más tarde en el laboratorio. Indique dos posibles factores que hayan causado que los resultados fueran más bajos en la segunda muestra.

## DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

### INTRODUCCIÓN

La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo en solución fuertemente ácida ( $H_2SO_4$ ) con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en presencia de sulfato de plata ( $AgSO_4$ ) que actúa como agente catalizador. Después de la digestión, el remanente de  $K_2Cr_2O_7$  sin reducir se titula con sulfato ferroso de amonio; se usa como indicador de punto final el complejo ferroso de ortofenantrolina (ferroína). La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente.

Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica; la prueba se usa para controlar y monitorear después que se ha establecido la correlación.

### TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

1. Colectar las muestras en botellas de vidrio preferiblemente; el uso de envases plásticos es permisible si se asegura la ausencia de contaminantes orgánicos.
2. Si la muestra tiene materia orgánica biológicamente activa, el análisis debe realizarse inmediatamente, aunque preservada a pH igual 2 por adición de  $H_2SO_4$  conc. (generalmente 2 mL de  $H_2SO_4$  conc./L de muestra) puede analizarse hasta siete días después.
3. Las muestras que contengan sólidos sedimentables deben mezclarse con un homogeneizador para obtener una muestra representativa.
4. En el análisis de aguas residuales con alta DQO deben hacerse diluciones preliminares, para reducir el error inherente en la medida de pequeños volúmenes de muestra.

### MATERIALES Y REACTIVOS

Microreactor para DQO

Pipetas de 5 mL

Probetas de 100 mL

Tubos de ensayos tapa rosca

**Reactivo sulfúrico:** Agregar con cuidado  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  grado reactivo o técnico, en cristales o en polvo, sobre  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado en proporción de 5,5g de  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  /Kg de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Dejar en reposo 1 o 2 días para la disolución del  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ . compuesto de ácido sulfúrico y sulfato de plata.

**Solución de ferroina:** (indicador) Disolver 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 695 mg de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y diluir a 100 mL. Esta solución también se puede adquirir comercialmente.

**Sulfato de amonio ferroso FAS 0.25 M** Disolver 98 g de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada; agregar 20 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, enfriar y diluir a 1000 mL.

**Dicromato de potasio 0.0417 M** Disolver 12,259 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , grado estándar primario previamente secado durante 2 h a  $103^\circ\text{C}$ , en agua destilada y diluir a 1000 mL.

## PROCEDIMIENTO

Tome un tubo de ensayo y coloque 2.5 mL de la muestra problema agréguele 3.5 ml de reactivo sulfúrico suavemente esto lo debe realizar sobre una gradilla debido a que al agregar el reactivo sulfúrico se presenta una reacción exotérmica tape y deje reposar por unos minutos posteriormente agregue 1.5 mL de dicromato de potasio tape nuevamente y mezcle cuidadosamente debe revisar que la tapa cierre herméticamente para evitar derrames del líquido en el proceso de digestión, rotule su muestra correctamente sobre la tapa del tubo de ensayo ;coloque el tubo de ensayo en el **MICROREACTOR** el cual debe encenderse antes de colocar los tubos para que alcance la temperatura adecuada de digestión  $150^\circ\text{C}$ , una vez estén los tubos en el **MICROREACTOR** se debe esperar por espacio de 2 horas para una digestión completa.

Posterior a la digestión deje reposar hasta temperatura ambiente, agregue de dos a tres gotas de indicador de ferroina y titule exceso de dicromato con **FAS 0.25M** el punto final de Titulación Es cuando la muestra alcance un color azul verdoso al marrón rojizo.

Anote el volumen de **FAS** gastado en la muestra problema. El anterior procedimiento se debe realizar para una blanco de reactivos con agua destilada.

## CÁLCULOS

$\text{DQO} = (A - B) \times M \times 8000 / \text{mL muestra}$

# 9. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXOXÍGENO (DBO)

## INTRODUCCIÓN

La D.B.O. representa la cantidad de oxígeno consumido por los gérmenes aerobios para asegurar la descomposición dentro de condiciones bien especificadas de las materias orgánicas contenidas en el agua a analizar. El fundamento del método, consiste en medir la cantidad de  $O_2$  disuelto en un medio de incubación al comienzo y al final de un período de 5 días, durante el cual la muestra es mantenida al abrigo del aire, a  $20^\circ C$ , y en la oscuridad para inhibir la eventual formación de  $O_2$  por las algas.

Para efectuar las determinaciones de D.B.O., hace falta un material muy simple: recipientes individuales, tipo erlenmeyers con cuello esmerilado, para asegurar un cierre hermético, siendo, en este sentido, el más cómodo el ponteniciométrico, utilizando el electrodo.

A fin de asegurar la asimilación de la materia orgánica, se debe vigilar que el medio no esté desprovisto de oligoelementos (Mg -Ca- Fe) ni de nutrientes nitrogenados y fosforados (sales de amonio y fosfatos). En fin, el hecho de que la muestra sea sembrada con una población de microorganismos que contengan gérmenes aerobios. De todos los factores, dada la naturaleza y la concentración de este inóculo, es éste el más difícil de normalizar.

No obstante, los criterios exigidos para la elección del inóculo, son : necesidad de una población heterogénea, compuesta por gérmenes variables que puedan alternativamente asimilar los productos orgánicos muy diversificados, susceptibles de presentarse en las aguas a analizar, posibilidad de conseguir un inóculo de composición relativamente constante en el tiempo, a fin de asegurar la reducibilidad de los resultados.

Atendiendo a que estos criterios son muy difíciles de respetar, se estima que las poblaciones microbianas pueden obtenerse de: colectores principales de cloacas, de un agua de río, hasta de una muestra de mantillo podrido.

La normalización del test de la D.B.O.5 prevé también los componentes de los nutrientes, en agua que sirve para la dilución y al inóculo y describe en detalle las operaciones a efectuar así como también los cálculos para obtener los valores de la D.B.O.5.

Para el calculo de la D.B.O.5, es necesario efectuar una conexión por la introducción de eventuales sustancias orgánicas consumidoras de oxígeno y provenientes del inóculo y sobre todo, de la respiración endógena del mismo, es decir, del consumo del oxígeno necesario para mantener la viabilidad de las células en ausencia de alimentos externos y que se traduce por la combustión de las reservas intracelulares. También es necesario introducir un testigo que contenga las mismas sustancias que la muestra, excepto el agua contaminada.

## OBJETIVOS

Determinar la demanda bioquímica de oxígeno de una muestra de agua problema.

## FUNDAMENTO DEL MÉTODO

El método consiste en llenar con la muestra una botella winkler, que se incuba a una temperatura de  $20^\circ C$  durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide inicialmente y después de la incubación y se calcula la DBO por diferencia entre el oxígeno inicial y el final.

## MATERIALES Y REACTIVOS

Incubadora, buretas, botellas winkler de 300 mL de capacidad, pipetas de 5 ml erlenmeyers, varillas de vidrio papel aluminio, beakers de 100 ml.

Agua destilada, sulfato de manganeso, solución de yoduro alcalina, ácido sulfúrico al 70%, solución de almidón al 3%, tiosulfato de sodio 0.01N, solución de yodato de potasio  $KIO_3$  0.01N, solución de ácido

acético, solución de yoduro de potasio, solución de sulfito de sodio 0.025N, solución buffer de fosfatos, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio, solución de cloruro ferrico, solución de glucosa-acido glutámico.

#### **PREPARACIONES DE SOLUCIONES:**

*Solución de yodato de potasio 0.01N:* disolver 0.3567 gramos de  $KIO_3$ , exactamente pesado en balanza analítica, en agua destilada y completar a 1 litro de solución en balon aforado.

*Solución sulfito de sodio 0.025N:* Disolver 1.5750 gramos de sulfito de sodio en agua y diluir a 1 litro. Esta solución no es estable y debe prepararse diariamente.

*Solución de yoduro de potasio:* Disolver 10 de Ki en agua destilada y completar a 100 ML.

*Solución de acido acético:* Adicionar 250 ml de acido acético glacial a 250 mL de agua destilada

*Solución buffer de fosfatos:* Disolver 85 gramos de fosfato diácido de potasio, 21.75 gramos de fosfato acido de potasio, 33.4 gramos de fosfato acido de sodio y 1.7 gramos de cloruro de amonio en 500 mL de agua destilada y diluir a un litro. El pH es de 7.2 sin ajuste posterior.

*Solución de sulfato de magnesio:* Disolver 22.5 gramos de sulfato de magnesio penta hidratado en agua destilada y diluir a un litro.

*Solución de cloruro de calcio:* Disolver 27.5 gramos de cloruro de calcio en agua destilada y diluir a 1.0 litro.

*Solución de cloruro ferrico:* Disolver la neutralización de cáusticos o ácidos en la muestras.

*Solución de glucosa acido glutámico:* Secar a  $103^{\circ}C$  glucosa y el acido glutámico por una hora. Pesar 150 mg de glucosa u 150 mg de acido glutámico, disolver en agua destilada y completar a 1 litro.

*Preparación del agua de dilución:* Se adiciona el volumen de agua deseado en una botella apropiada y se le agrega 1 mL de solución de los siguientes compuestos: buffer de fosfato,  $MgSO_4$ ,  $CaCl_2$  y  $FeCl_3$  por litro de agua.

*Preparación de la Siembra:* Se usa un sobrenadante de aguas residuales domesticas después de dejarlo sedimentar a temperatura ambiente durante al menos 1 h pero no mas de 36 h.

*Recomendaciones:* La colección de las muestras se hace en botellas de vidrio con boca y tapa esmeriladas, de un litro de capacidad. En el sitio del muestreo, se llenan las botellas con el agua en estudio, hasta que rebosen y se cierran sin dejar burbujas. Las muestras deben ser analizadas tan rápido como sea posible después del muestreo, preservándolas con los reactivos fijadores Winkler I y Winkler II, las que van a ser determinadas inmediatamente y las que se incubaran se trasladan almacenándolas a  $4^{\circ}C$  o menos, si el analisis se hace después de dos horas del muestreo, pero sin que el tiempo de conservación y almacenamiento sobrepase las veinticuatro (24) hora. Cuando por circunstancias especiales, es necesario conservar la muestra por 24 horas, con el resultado se debe anotar el tiempo y la temperatura de almacenamiento y conservación.

- a) **Botellas de Incubación:** Las botellas de incubación más utilizadas son los frascos Winkler de 300 mL de capacidad, con bocatapa esmerilada. Las botellas se lavan químicamente y para evitar que el aire penetre a la botella de incubación-dilución se recomienda usar un sello de agua, colocándole un gorro de plástico o de cualquier otro material apropiado, en la boca de la botella para evitar la evaporación del sello de agua durante la incubación.
- b) **Incubadora de Aire:** Controlada a  $20^{\circ}C$  y tratando que las botellas de incubación deben estar protegidas de la luz para evitar cualquier posible producción de OD por fotosíntesis.

#### **PROCEDIMIENTO**

Las aguas residuales domésticas, los efluentes no clorados o no desinfectados de plantas de tratamiento de residuos biológicos y las aguas superficiales que reciben descargas de aguas residuales, contienen poblaciones

microbianas satisfactorias, por lo tanto no requieren material de siembra para la determinación de la DBO (Muestras sin dilución, ni material de siembra).

Sin embargo, algunas muestras no contienen una población microbiana suficiente, por ejemplo, residuos industriales no tratados, residuos desinfectados o a alta temperatura o residuos con valores de pH extremos; para tales residuos se siembra el agua de dilución o la muestra añadiendo una población de microorganismos (muestras con dilución).

Sin importar el origen de la muestra, se verifica el pH antes de su ensayo, que debe ser entre 6.5 y 7.5. Para neutralizar la muestra dentro del rango exigido se utiliza una solución de ácido sulfúrico diluido o de hidróxido de sodio al 5% según convenga.

Si las muestras contienen cloro residual se dejan en reposo unas 2 horas para que este se disipe, si esto no es efectivo, se toman 100 mL de muestra y se le añaden 10 mL de solución de Yoduro de potasio, 10 mL de ácido acético y unas gotas de indicador de almidón. Si aparece un color azul, la muestra se titula con sulfito de sodio 0.0125 M hasta que el color azul desaparezca. El volumen de sulfito se anota como volumen a mL. Tomar otros 100 mL de muestra y añadirle a mL de solución de sulfito, después de 10 minutos, agregando 10 mL de yoduro de potasio, 10 mL de ácido acético y unas gotas de solución indicadora de almidón. Si la solución toma el color azul, se titula con más solución de sulfito de sodio, hasta que el color desaparezca. Este volumen se anota como b mL de sulfito.

Hecho lo anterior, a la muestra original se le adiciona a-b mL de solución de sulfito de sodio por cada 100 mL de dicha muestra. Este volumen se debe tener en cuenta para el cálculo del factor de dilución.

Procedimiento sin dilución de la muestra:

La muestra debe ser removida de la materia suspendida antes de iniciar el ensayo, se llenan tres botellas Winkler hasta el borde, evitando que entren burbujas de aire. Inmediatamente se tapan dos de las tres botellas y se colocan en la incubadora, ajustando la temperatura a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Determinar inmediatamente el contenido de OD de la botella no incubada por el método Winkler Azida modificado y registrar el resultado como OD inicial.

Determinar, después de cinco días, el concentrado de OD de las botellas incubadas y registrar el promedio como OD final.

#### **PROCEDIMIENTO CON DILUCIÓN DE LA MUESTRA**

Las aguas residuales domésticas e industriales muy contaminadas, que generalmente tienen una gran DBO, se diluyen con agua destilada rica en oxígeno de tal manera que después del tiempo de incubación existan como mínimo 2 mg/L de oxígeno a  $20^{\circ}\text{C}$ .

Cuando la DBO es desconocida, se recomienda preparar tres o cuatro muestras haciendo factores de dilución en serie, cuyos factores de dilución no difieran por más de 2.5 como por ejemplo: 1, 2, 5, 10, 25... Cuando el factor de dilución que se va a usar es mayor de 200, esta debe hacerse en dos pasos o etapas, pero nunca se debe usar un volumen de muestra original menor de 6 mL para hacer la dilución. La temperatura del agua de dilución debe ser de  $20^{\circ}\text{C}$ .

De acuerdo a la dilución escogida, se coloca con una pipeta en un balón aforado de 1.0 litro, el volumen de muestra a analizar. Ajustar el pH de la solución entre 6.5 y 7.5 y completar el volumen final con agua de dilución; llenar con las muestras diluidas, tres botellas para DBO hasta que rebosen y evitando que entre aire. Cerrar inmediatamente dos botellas y colocarlas en la incubadora a la temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , por un periodo de cinco días.

Determinar inmediatamente el contenido de OD en la botella restante, según el método Winkler Azida modificado o electrodo de membrana. Anote el resultado como OD inicial.

Después de los cinco días de incubación, determinar el oxígeno disuelto en las muestras incubadas y anotar el resultado promedio como OD final.

#### PROCEDIMIENTO PARA MUESTRAS DE CONTROL

Para chequear el procedimiento y los reactivos, se recomienda analizar, simultáneamente con el lote de muestras problema problemas, a tres muestras de control así:

Una muestra de control que contenga 1.0 mL de “semillas” y 15 mL de solución de glucosa-acido glutámico por litro de agua de dilución.

Una muestra de control que contenga 1.0 mL de “semillas” por litro.

A las muestras 1 y 2 se les deben hacer las diluciones correspondientes y todas las muestras y el blanco deben contener las cantidades normales de sales nutrientes. Los resultados de las muestras de control deben ser:

Muestras control No	OD
Control No 1	50-300 mg/L
Control No 2	255-10 mg/L

Una reducción en el contenido de oxígeno del blanco de reactivos que excedan 0.7 mg de O<sub>2</sub>/L indica que por lo menos uno de los reactivos está contaminado.

#### CÁLCULOS

##### Calculo de la DBO:

Con muestras cuya DBO se determina directamente:

$$\text{DBO, mg/L} = \text{OD inicial} - \text{OD final}$$

Cuando la muestra se somete a dilución se puede usar la siguiente fórmula:

$$\text{DBO, mg/L} = V \times (\text{ODT} - \text{ODF}) / V_m - (\text{ODT} - \text{ODI})$$

**ODT** = OD final del blanco, mg/L

**ODF** = OD final de la muestra diluida, mg/L

**ODI** = OD inicial de la muestra sin diluir, mg/L

**V<sub>m</sub>** = Volumen de la muestra utilizada en el análisis

**V** = Volumen de la botella Winkler

El factor de dilución es (V/V<sub>m</sub>). Cuando haya que hacer tratamiento previo con sulfito de sodio, se debe tener en cuenta el sulfito de sodio añadido, por ejemplo: si a 100 mL de muestra se le adicionan 10 mL de solución de sulfito de sodio, el factor de dilución será: 110:100=1.10.

En el caso del procedimiento con dilución, si 20 ml de muestra se diluyen a 1000, el factor de dilución global incluyendo el volumen de solución de sulfito será: 100:20 = 50 x 1.10 = 55.

#### RESULTADOS

1. Tabla de resultados y análisis de los mismos, comparándolos con el Decreto 1575/2007
2. Tres aguas residuales tienen la misma DBO de 200 mg/L Sin embargo, los valores de K` son 0.1, 0.15 y 0.25 d<sup>-1</sup> respectivamente. Determinar la DBO ultima de la primera fase inicialmente presente, para cada residuo.
3. Después de 5 días de incubación en recipientes para DBO de 310 mL, se encontraron los siguientes valores de OD: 7.7, 7.9 y 7.9 mg/L en tres muestras blanco; 6.5, 4.0 y 0.5 mg/L en recipientes que contienen 2,5.

---

**MEDIDA DE LA DBO CON VARIAS DILUCIONES DE LA MUESTRA**

Usando porcentajes de mezcla		Pipetas directamente en el frasco de 300 mL	
% mezcla	Rango de DBO	mL	Rango de DBO
0,01	20000 - 70000	0,02	30000 - 105000
0,02	10000 - 35000	0,05	12000 - 42000
0,05	4000 - 14000	0,1	6000 - 21000
0,1	2000 - 7000	0,2	3000 - 10500
0,2	1000 - 3500	0,5	1200 - 4200
0,5	400 - 1400	1,0	600 - 2100
1,0	200 - 700	2,0	300 - 1050
2,0	100 - 350	5,0	120 - 420
5,0	40 - 140	10,0	60 - 210
10,0	20 - 70	20,0	30 - 105
20,0	10 - 35	50,0	12 - 42
50,0	4 - 14	100,0	6 - 21
100,0	0 - 7	300,0	0 - 7

---

# REFERENCIAS

Análisis físico químico del agua.

<http://www.monografia.com/trabajos15/analisis-bioquimico-agua>

APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17a. edición, 1989.

DQO. 2000. Demanda de oxígeno y materia orgánica.

<http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/vertemas.asp?IDTema>

FAO II. Métodos de análisis.

<http://www.fao.org.pe/docrep/TO845S/to845s0a.htm#>

GARAY, J.; RAMIREZ G.; BETANCOURT, J.; MARIN, B., CADAVID B., PANIZZO, L.; LESMES, J., SANCHEZ, H. y A.

FRANCO. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR, Santa Marta, 177p. (Serie Documentos Generales N° 13).

GRENBORG, A.; L. CLESCERL y A.D. EATON. 1998. Standards Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. APHA/AWWA/WEF, Washington, D.C. 1230 P.

KIRCHMER C, J. HDT 24. Control de calidad en los análisis de agua. Hojas de divulgación técnica. CEPIS. <http://www.cepis.org.pe>

RODIER, J. Análisis de las aguas. Barcelona. Ediciones Omega S.A., 1989.

RUIZ, Rafael. Guía de Laboratorio: Hidroquímica, Universidad de Cartagena, 1998

SALAS, H. 2000. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 25 p

UNESCO, 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. 87pp.

VARCACEL, M. "Principios de Química Analítica" Editorial Springer-Verlag Ibérica, S.A. (Barcelona 1999)

