ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA
Y CIENCIAS DEL MAR

CALIDAD DE AGUA

(FMAR – 01677)
Versión 1.0

José V. Chang Gómez, Ing. M. Sc.
E mail: jvchang @ espol.edu.ec

Guayaquil – Ecuador

POLÍTICAS DE CURSO

Explicación sobre el contenido y alcance de las políticas de curso. Las clases combinarán teoría y práctica. Estarán orientadas a las carreras que se imparten en la FIMCM de la ESPOL.

El profesor actuará como un facilitador, con apoyo de ayudas audiovisuales, lectura de reportes, investigación sobre temas específicos relacionados con la calidad del agua, y apuntes de clase.

Forma de evaluación:

☐ Tareas y actuación presencial:	20%
☐ Trabajo de investigación:	20%
☐ Examen escrito:	60%

El examen del primer parcial, así como el final se evalúan considerando esta proporción. Además, el examen final es acumulativo. Las clases prácticas se harán en el laboratorio de acuerdo a la disponibilidad de horarios.

El examen de mejoramiento es sobre 100 puntos, y en él no se incluyen tareas ni trabajos de investigación. El contenido del programa de la materia es proporcionado en un archivo adjunto, formato de la Secretaría Técnica Académica, y detalla los temas que serán cubiertos en el desarrollo del curso.

Objetivos

Objetivo General

Al término del semestre los estudiantes estarán en posibilidad de establecer la relación entre los factores abióticos y el manejo de la calidad del agua en la producción de las especies bioacuáticas, así como la perspectiva ambiental para varias aplicaciones.

Objetivos específicos

- ☐ Estarán aptos para aplicar métodos y manejo de indicadores de calidad de agua que inciden en la producción.
- ☐ Podrán realizar tareas prácticas de control de las aguas tanto naturales como la de estanques.
- ☐ Tendrán habilidad para el cálculo del índice de calidad de agua, y sus principales indicadores.
- ☐ Identificación y evaluación de factores contaminación en un cuerpo de agua y su respectiva caracterización ambiental de acuerdo a las normas y reglamentos vigentes en la legislación ambiental ecuatoriana.

Programa de estudios …. (1/3)

Unidad 1

Definición de Calidad de Agua. Ciclo Hidrológico. Cuencas Hidrográficas. Contaminación del agua. Factores que afectan la calidad del agua. Índice de calidad de agua (ICA).

Unidad 2

Indicadores o parámetros de calidad de agua que conforman el ICA. Introducción a la metodología de cálculo de este índice. Relación entre los factores abióticos en los medios productivos. Introducción. Temperatura. Salinidad, turbidez y color. Plancton. Oxígeno disuelto. pH. Dióxido de Carbono. Prácticas de laboratorio.

Unidad 3

Manejo de oxígeno disuelto: su importancia. Relación con la producción. Medios para controlar el O_2: biológicos químicos y mecánico. Tablas de productividad DBO: ejemplo de cálculo. Control de malezas acuáticas. Solución. Prácticas de laboratorio.

Unidad 4

Importancia del ICA para identificación y evaluación de zonas contaminadas en cuerpos hídricos. Fertilizantes inorgánicos: importancia, tasas, cálculos de suministros. La incidencia en la producción de organismos hidrobiológicos. Métodos de aplicación.

Unidad 5

Fertilizantes orgánicos: importancia, tasas, cálculos de suministros. La incidencia en la producción de organismos hidrobiológicos. Métodos de aplicación.

Programa de estudios ….. (2/3)

Unidad 6

Suministro de cal agrícola. Relación con la alcalinidad total y la producción. Otros factores que influyen en el suministro de la cal. Aplicación de la cal en los estanques. Reducción de pH.

Unidad 7

Eliminación de la turbidez de arcilla. Métodos y aplicación de materia orgánica. Alumbre: su importancia. Yeso de tipo agrícola.

Unidad 8

Otros factores. Amoníaco. Ácido Sulfúrico. Alcalinidad total. Dureza total.

Unidad 9

La alimentación de los peces y la relación con la calidad de agua. Mejoramiento de la calidad de agua por tratamientos químicos.

Unidad 10

Tratamiento y análisis de agua: muestreos de aguas. Implementos y equipos paras su análisis. Visibilidad del disco Secchi. Glosario de términos.

Programa de estudios …. (3/3)

Unidad 11

Amplificación biológica de pesticidas en cadena trófica de un estuario. Ecosistemas en lagos y embalses. Luz y zonificación. Clasificación de lagos. Práctica de medición de parámetros en lago.

Unidad 12

Tipos y características de lagos. Densidad del agua y estratificación térmica. Perfiles temperatura versus profundidad. Perfiles Oxígeno versus profundidad. Calidad de agua en lagos y embalses. Presentación de trabajos de investigación.

Unidad 13

Tendencias en nivel de agua, temperatura y radiación solar. Tipos de estratificación. Número de Fraude para lagos. Clasificación por estabilidad. Número de Richardson. Ejemplos de cálculo para determinar estratificación de lagos. Presentación de trabajos de investigación.

Unidad 14

Coeficiente de difusión. Ecuación de balance de materia. Ejemplo de aplicación. Análisis de resultados de mediciones de campo.

Unidad 1

- Definición de Calidad de Agua.
- Ciclo Hidrológico.
- Cuencas Hidrográficas.
- Contaminación del agua.
- Factores que afectan la calidad del agua.
- Índice de calidad de agua (ICA).

Aspectos generales

- La calidad del agua es función tanto de la fuente de agua propiamente dicha, como la de su potencial uso.
- La calidad de un cuerpo de agua puede estar definida no sólo en términos de las características y requerimientos del sistema hídrico que suministra el agua, sino también de acuerdo con los requisitos exigidos a los efluentes que se descargan en el cuerpo receptor.
- Esta premisa se cumple en la mayoría de las situaciones reales en las que grandes o medianas ciudades utilizan el mismo río aguas arriba como suministro y abastecimiento de agua potable y también como sitio de descarga de sus efluentes municipales aguas abajo.
- El agua conducida por los ríos finalmente alcanzará los océanos y por ende causará un potencial impacto ambiental en las zonas costeras y estuarinas.

Definiciones

- **Calidad del Agua**: Atributos que presenta el agua, de manera tal, que reúna criterios de aceptabilidad para diversos usos.
- Incluye todos los factores que influyen en el uso beneficioso del agua:
  - físicos,
  - químicos, y
  - biológicos
- En términos de acuicultura, cualquier característica que afecte la supervivencia, reproducción, crecimiento o manejo de especies acuáticas, es una variable de calidad de agua.
- Es beneficioso en la determinación del potencial de un cuerpo de agua para el desarrollo de la acuicultura:

  a) mejorando las condiciones ambientales en las piscinas,

  b) evitando el stress vinculado a enfermedades,

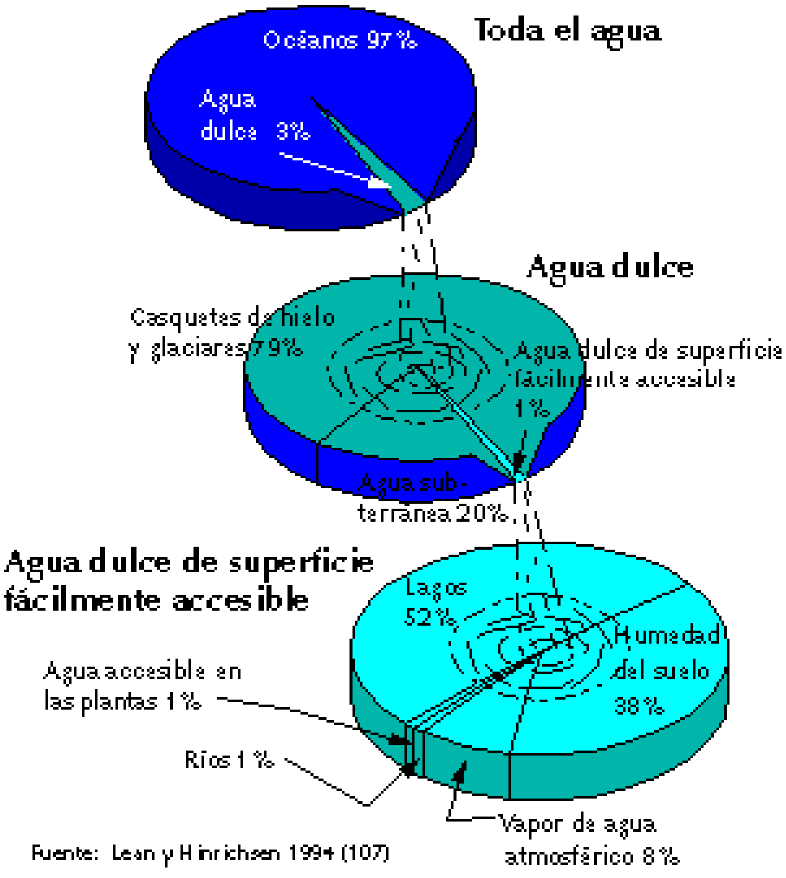
  c) problemas de parásitos, y

  d) produciendo especies acuáticas en forma más eficiente.

Distribución porcentual del agua

- Casi el 71% de la superficie del planeta Tierra están cubiertas de agua.
- El agua disponible en la Tierra se encuentra principalmente formando parte de los océanos. Cerca del 97% del volumen total está en el mar.
- Alrededor de 2,25% (36 millones de km3) es agua congelada de los glaciares y capas de hielo polares.
- La mayor parte del 0.75% (8 millones de km3) restante está como agua dulce en las aguas superficiales y subterráneas, y el 0.2 % flota en la atmósfera.
- Siendo indispensable para la vida, es necesario conocer sus características, usos, situación ambiental actual, y pronósticos para proteger este recurso.

Figura 2. Distribución del agua en el mundo



Fuente: Lean y Hinrichsen 1994 (107)

Distribución a escala global

- El agua se distribuye en forma desigual entre los distintos compartimentos, y los procesos por los que éstos intercambian el agua se dan a ritmos heterogéneos.
- El mayor volumen corresponde al océano, seguido del hielo glaciar y después por el agua subterránea. El agua dulce superficial representa sólo una exigua fracción y aún menor el agua atmosférica (vapor y nubes).
- **Referencia: "http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico"**

Depósito	Volumen (en millones de km^3)	Porcentaje
Océanos	1370	97.25
Casquetes y glaciares	29	2.05
Agua subterránea	9.5	0.68
Lagos	0.125	0.01
Humedad del suelo	0.065	0.005
Atmósfera	0.013	0.001
Arroyo y ríos	0.0017	0.0001
Biomasa	0.0006	0.00004

Tiempo de residencia

Depósito	Tiempo medio de residencia
Glaciares	20 a 100 años
Nieve estacional	2 a 6 meses
Humedad del suelo	1 a 2 meses
Agua subterránea: somera	100 a 200 años
Agua subterránea: profunda	10.000 años
lagos	50 a 100 años
Ríos	2 a 6 meses

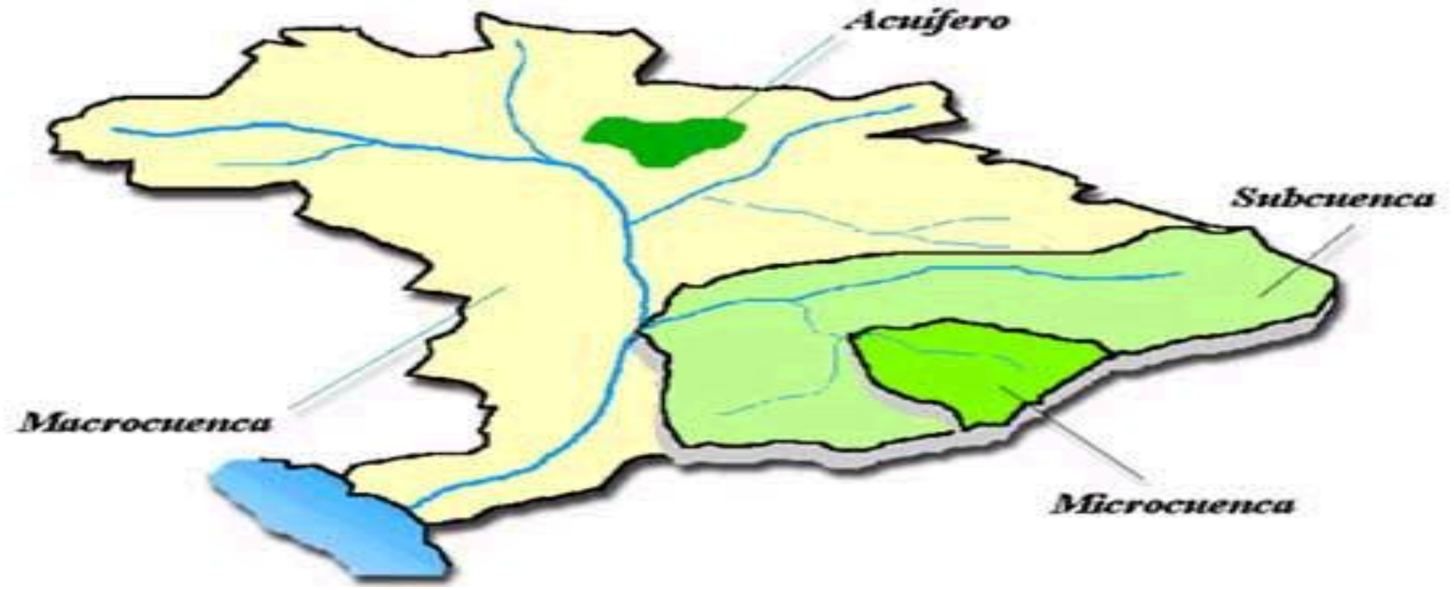
- El tiempo de residencia de una molécula de agua en un depósito es mayor cuanto menor es el ritmo con que el agua abandona o se incorpora a ese compartimiento .
- Es notablemente largo en los casquetes glaciares, a donde llega por una precipitación característicamente escasa y que abandona por la pérdida de bloques (icebergs) en los márgenes o por la fusión en la base del glaciar, donde se forman pequeños ríos o arroyos que sirven de aliviadero al derretimiento del hielo en su desplazamiento debido a la gravedad.
- El compartimiento donde la residencia media es más larga, aparte del océano, es el de los acuíferos profundos, algunos de los cuales son «fósiles» que no se renuevan desde tiempos remotos. El tiempo de residencia es particularmente breve para la fracción atmosférica, que se recicla muy deprisa.

Algunas características generales del agua

- Se considera que las propiedades físicas y químicas del agua son las responsables de que la Tierra sea tal como se conoce y que la vida misma es consecuencia de las propiedades tan especiales de la molécula de agua, ya que se considera que las primeras formas primitivas de vida comenzaron en una solución acuosa.
- La mayor parte es salobre y una parte muy pequeña es agua dulce.
- Contribuye a mantener el clima en la Tierra, disuelve a una gran cantidad de sustancias, que pueden llegar a ser contaminantes, y es esencial para las formas de vida conocidas en la Tierra.
- El agua se presenta principalmente como un líquido de características poco comunes, es un recurso natural indispensable para todos los seres vivos y en general forma parte de toda la materia viva.
- El ser humano la utiliza para realizar muchas de sus actividades como la agricultura, la industria, el transporte y otras actividades diarias.

Definiciones

- **Cuencas hidrográficas:** Territorio en el que distintos ríos y cursos de agua que lo riegan confluyen en un río principal.
- Cada una de estas cuencas está separada de las vecinas por la línea divisoria de las aguas que casi siempre coincide con la línea de las cumbres.
- El tema de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas cada vez se hace más importante para garantizar una buena calidad de agua a lo largo del cuerpo de agua.



Contaminación del Agua

- Es la introducción de material químico, físico o biológico en un cuerpo hídrico (ríos, lagos, océanos) que degrada la calidad del agua y afecta a los organismos vivos que viven en ella, como a los que la consumen.
- Este proceso varía desde la adición de sólidos suspendidos o disueltos, hasta descargas de contaminantes tóxicos persistentes tales como:
    - pesticidas,
    - metales pesados, y
    - compuestos químicos no degradables y bioacumulativos).

¿Qué es el Ciclo Hidrológico?

El **Ciclo Hidrológico** o **ciclo del agua** es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos de la hidrosfera. Se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención mínima de reacciones químicas, y el agua solamente se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico.

Se considera que el agua es un recurso renovable porque se recicla y se renueva continuamente mediante el ciclo hidrológico del agua.

El ser humano poco se preocupa por hacerla disponible y aprovechable con tratamientos para eliminar los contaminantes que se arrojan, por el contrario se fomenta el desperdicio y contaminación de este vital recurso renovable.

La Hidrología es el estudio de la circulación del agua en la naturaleza**.**

Abarca los aspectos físicos del llamado Ciclo Hidrológico, desde la evaporación de los mares por el movimiento de la humedad atmosférica, que controla

1. **El tiempo,**
2. **Las estadísticas de precipitación,**
3. **Recolección y escurrimiento de agua de lluvia de los arroyos y ríos**

✓ **Nota: Leer material de lectura adjunto.**

Reciclaje del agua de la Tierra

- El agua de la Tierra está en constante circulación. Se ha estado reciclando durante 3 mil millones de años.
- A este proceso se le conoce como el **ciclo del agua**.
- El ciclo comienza cuando el calor del Sol evapora al agua de los océanos, hacia la atmósfera, para luego formar a las nubes.
- Cuando las condiciones son las indicadas, las nubes descargan agua en forma de lluvia o nieve.
- La mayor parte de la lluvia cae sobre los océanos, pero el resto cae sobre tierra firme.
- Los ríos y corrientes, recogen agua del suelo, y lo regresan hacia el océano; de manera que el proceso comienza, desde el principio, nuevamente.
- El ciclo del agua nunca acaba, porque el agua salada de los océanos, constantemente suministra agua dulce a los continentes.

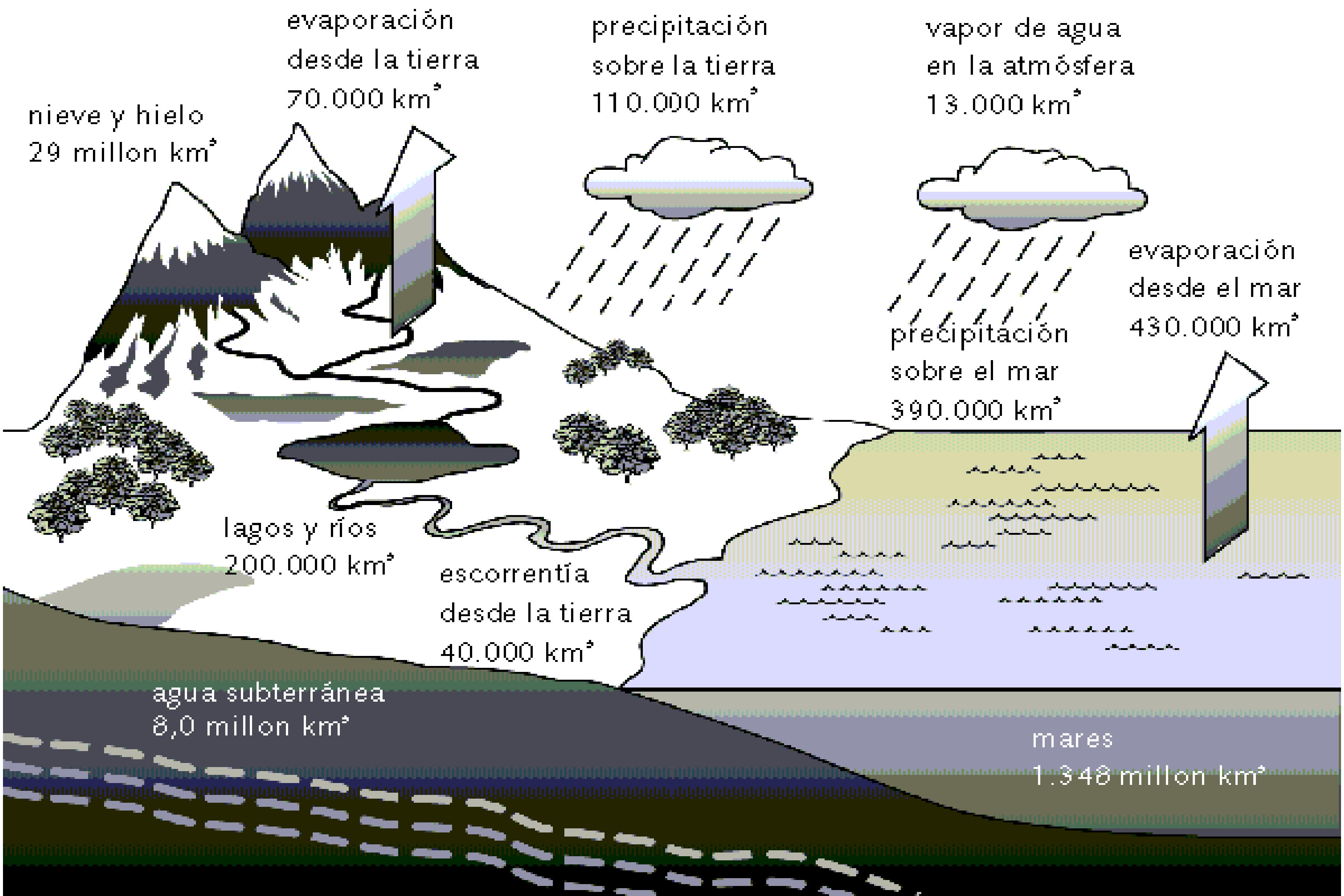
¿Cómo se realiza el ciclo del agua?

- Debe considerarse a la atmósfera como punto de partida del ciclo, donde el agua se acumula en la atmósfera bajo la acción de los procesos de evaporación que tienen lugar en la superficie del mar y de los continentes y también por acción de plantas y animales.
- Al ascender, el aire húmedo se enfría y luego se condensa parcialmente en forma de nubes; en definitiva, la atmósfera contiene agua en forma de vapor, de líquido o de cristales de hielo.
- Debido a la gravedad, el agua vuelve a caer al mar o a los continentes en forma de lluvia, nieve, granizo u otra forma de precipitación.
- Parte del agua caída vuelve sufrir el fenómeno de la evaporación o es expulsada de nuevo por los organismos vivos. Otra parte corre por la superficie o se infiltra en el suelo para formar cursos de agua. Éstos, a su vez, devuelven el agua al mar, punto de partida de un nuevo ciclo.
- El ciclo hidrológico, es un sistema complejo de circulación ininterrumpida que, de manera continua y a gran escala, asegura los procesos de bombeo, destilación y transporte del agua en todas sus formas.
- El fenómeno de la circulación del agua constituye una ilustración de la ley de conservación de la materia.

- La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra.
- El ciclo hidrológico puede ser visto, en una escala planetaria, como un gigantesco sistema de destilación, extendido por todo el Planeta.
- El calentamiento de las regiones tropicales debido a la radiación solar provoca la evaporación continua del agua de los océanos, la cual es transportada bajo forma de vapor de agua por la circulación general de la atmósfera, a otras regiones.
- Durante la transferencia, parte del vapor de agua se condensa debido al enfriamiento y forma nubes que originan la precipitación. El regreso a las regiones de origen resulta de la acción combinada del escurrimiento proveniente de los ríos y de las corrientes marinas.

Fuente: Educación Ambiental, Nociones de Ecología: www.marcano.com

Balance de Materia del Ciclo Hidrológico del Agua



Principales procesos del Ciclo del Agua

Los principales procesos del ciclo del agua son:

- **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 es complejo distinguir claramente entre la cantidad de agua que se evapora y la cantidad que es transpirada por los organismos, se suele utilizar el termino evapotranspiración.

  Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera.

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

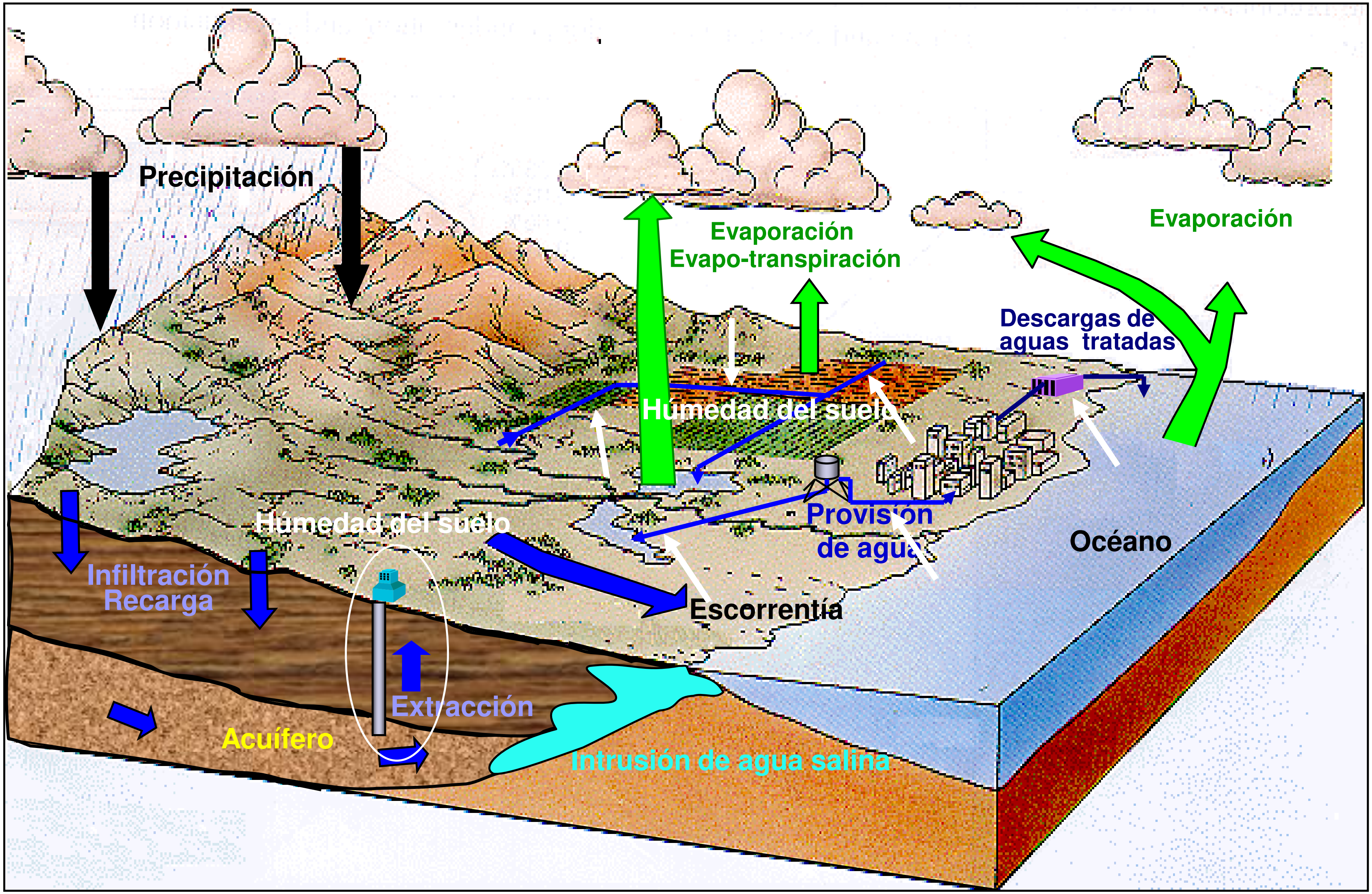
  En el caso de la lluvia, la nieve y el granizo (cuando las gotas de agua de la lluvia se congelan en el aire) la gravedad determina la caída; mientras que en el rocío y la escarcha el cambio de estado se produce directamente sobre las superficies que cubren.

Principales procesos …. continúa

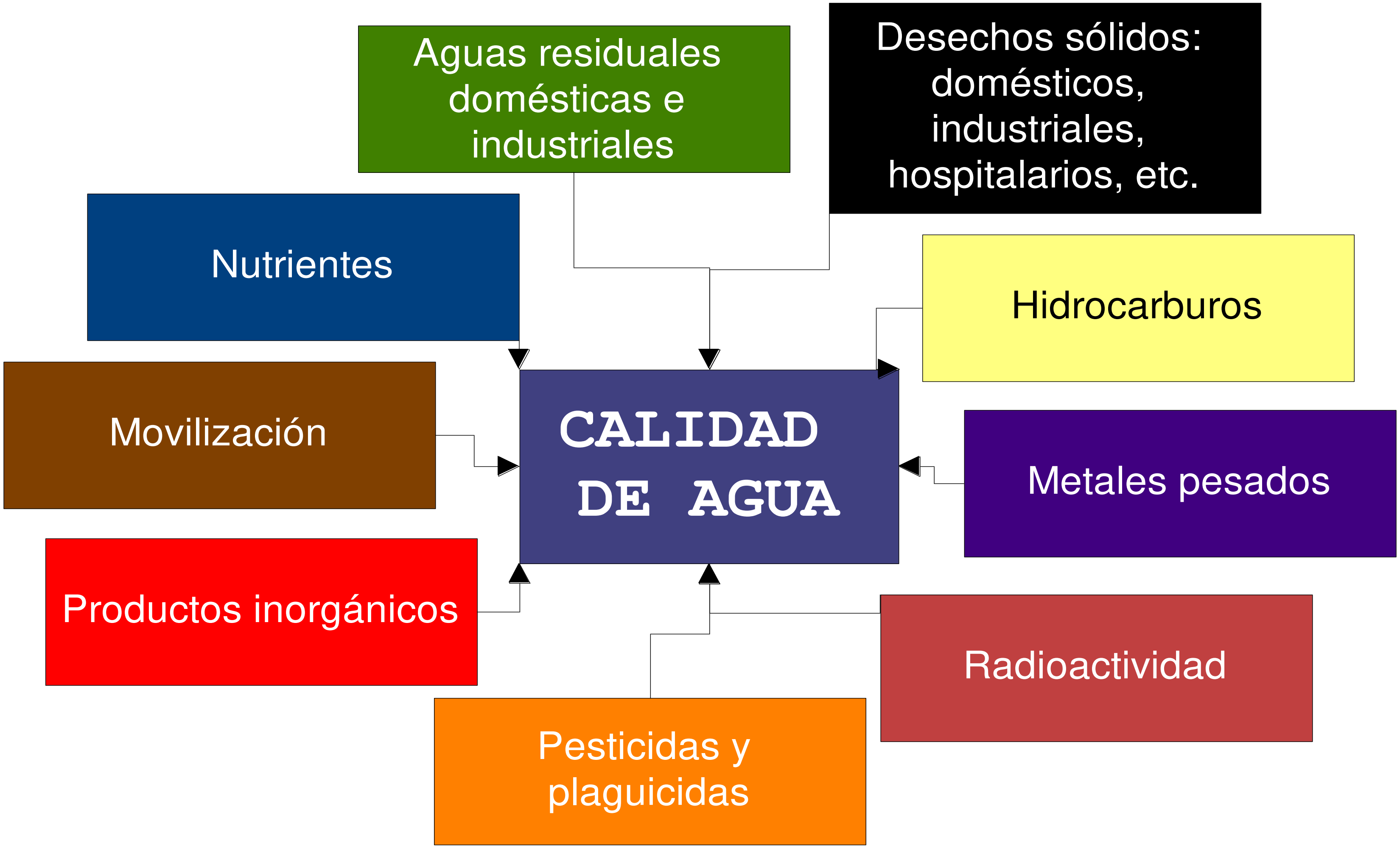
- **Infiltración:** Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal.

  Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, por la transpiración de las plantas. 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. La escorrentía es el principal agente geológico de erosión y transporte.
- **Circulación subterránea**: Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial. Se presenta en dos modalidades: primero, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas karstificadas, como son a menudo las calizas, la cual es una circulación siempre cuesta abajo; en segundo lugar, la que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable, la cual puede incluso remontar por fenómenos en los que intervienen la presión y la capilaridad.

El Ciclo Hidrológico y su vínculo ambiental



¿Cómo se afecta la calidad de agua?



Aguas residuales domésticas e industriales

Desechos sólidos: domésticos, industriales, hospitalarios, etc.

Nutrientes

Hidrocarburos

Movilización

CALIDAD DE AGUA

Metales pesados

Productos inorgánicos

Radioactividad

Pesticidas y plaguicidas

Factores que afectan la calidad del agua: factores físicos

Factores físicos: hay factores no controlables como precipitación, pesticidas, vientos, pero hay otros que se pueden controlar como el sitio, buen diseño y construcción de la piscina con fines acuícola, considerando las condiciones climatológicas y geológicas del sector.

Tiempo es el cambio a corto plazo de las condiciones atmosféricas.

Clima es cambio a largo plazo de las condiciones atmosféricas, es el promedio de estas condiciones a lo largo de un período de tiempo extenso.

El fenómeno de El Niño influye en factores como la temperatura del aire, radiación solar, cobertura de nubes, velocidad del viento, precipitación, presión atmosférica, evaporación. La corriente fría de Humboldt evita excesiva pluviosidad y disminuye la humedad.

Radiación solar.- es la cantidad de luz recibida. La altura es importante, al subir desciende la temperatura.

Los cuerpos de agua almacenan agua en estaciones cálidas para liberarlo en estaciones frías. El viento mezcla el aire-agua y da aireación.

Factores físicos ….(2)

Precipitación.- varía de lugar en lugar, y en períodos pequeños de tiempo. Sitios cálidos tienen más lluvias que sitios fríos. Sitios cercanos a la costa tienen mayor pluviosidad que sitios interiores ya que el aire desciende en sectores secos y sube en sectores húmedos. La pluviosidad nunca es constante y se la mide con un pluviómetro.

Evaporación.- relacionada con precipitación y temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa del aire y velocidad del viento. A mayor velocidad del viento, menor humedad relativa hay una elevada evaporación.

Luz.- intensidades mayores presentes al medio día, baja en la mañana. Tiene relación con la nubosidad, turbidez del agua.

Temperatura del agua.- varía en pequeños rangos durante el día debido a la elevada capacidad calorífica de la misma. En cuerpos de agua profundos las capas inferiores no presentan cambios significativos en la temperatura, las capas afectadas son las superficiales con variaciones de hasta 25°C.

Luz en la superficie de la Tierra

- Hay dos fuentes de radiación:
  - Directa: proviene del Sol
  - Difusa: proviene de las nubes y el cielo

Solo la luz absorbida puede ser utilizada para potenciar las reacciones químicas.

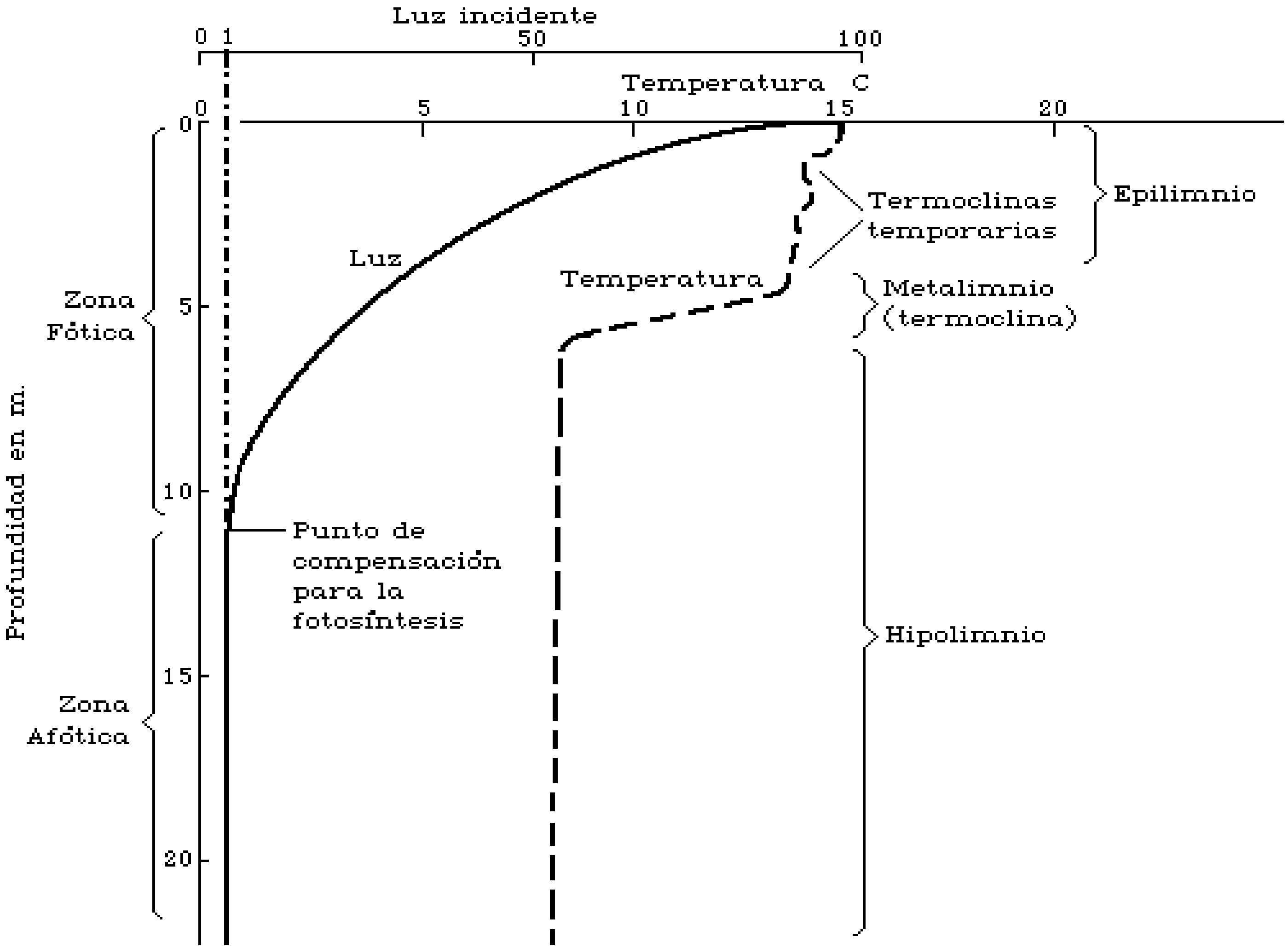
La clorofila absorbe vigorosamente las ondas rojas y violetas, reflejando así las ondas intermedias verdes y amarillas

- Los ecólogos han descrito la energía solar como el flujo de calorías de un nivel trófico al siguiente.
- Antiguamente se utilizaba el Langley (ly) que equivale a 1 cal/cm^2.

Luz en los ecosistemas acuáticos

- La cantidad de luz disponible a diferentes profundidades en los cuerpos de agua es importante para los aspectos ambientales.
- En cada incremento sucesivo de profundidad del agua, la luz de una longitud de onda determinada se reduce una proporción fija.
- La luz nunca se extingue de manera total, pero antes de que alcance niveles visualmente indetectables decae hasta alrededor del 1% de la intensidad en la superficie.
- Esto tiene un significado convencional porque describe de manera aproximada el nivel en donde la fotosíntesis algácea se reduce hasta el punto de que apenas iguala la respiración.
  - Esto se lo llama el **punto de compensación**.
  - Arriba está la **zona eufótica**, que es en la cual las células de fitoplancton prosperan.
- La turbiedad o turbidez de un medio hídrico es provocada por materiales en suspensión.
- La turbidez puede medirse de manera rudimentaria por el disco Secchi.

Luz en los ecosistemas acuáticos



Estructura estratificada de un lago templado. Las termoclinas temporarias son causadas por el calentamiento durante días calmos, y son destruídas cada noche por el referescante viento convectivo. La transparencia relativamente baja indica que el lago es eutrófico, es decir que tiene alta biomasa. (de Goldman y Horne, 1983)

Factores que afectan la calidad del agua: factores químicos

Fotosíntesis: es la producción de O_2, y está afectada por intensidad de luz, turbidez, presencia de nutrientes, etc. La luz morada se degrada fácilmente al entrar en el agua (rayos UV) mientras que los infrarrojos (IF) se transforman en cales.

Color aparente: es producto de suspensiones no naturales que interfieren con la calidad del agua.

Color verdadero: es el color causado por materia suspendida a nivel coloidal, propia de esa agua.

Turbidez: es la decreciente habilidad del agua para transmitir la luz. Es causada por materia particulada en suspensión con dispersión desde muy pequeña hasta muy gruesa.

La turbidez y el color puede resultar de:

- partículas: arcillas, sedimentos por escurrimiento,
- materia orgánica: que es materia vegetal en descomposición,
- plancton: por presencia de fertilizantes.

Factores químico-ambientales …(1)

- Son importantes especialmente en acuicultura, nutrición, alcalinidad total, dureza total, son factores que regulan a las plantas.
- La **turbidez** regula la entrada de luz; la presencia por consiguiente de nitritos, nitratos, amonio, etc.
- Los **peces y crustáceos son poikilotérmicos** y su temperatura está controlada por el ambiente; que varía diaria y estacionalmente.
- La tasa de procesos bioquímicos esta controlada por la tasa de consumos de O2 o ley de Van Hoff que expresa**:"un aumento de 10°C en temperatura duplica la velocidad de reacción: consumo de O2".**
- El consumo de O2 se incrementa con la temperatura y sigue la ley de Van Hoff hasta llegar a un valor máximo. La tasa de consumo máxima de O2 es mantenida bajo un estrecho rango de temperatura.
- El consumo de O2 decrece relativamente a medida que la temperatura va incrementándose. Una temperatura letal es alcanzable decreciendo totalmente el consumo de O2.

Factores químico-ambientales ...(2)

El crecimiento es resultado de procesos bioquímicos. Roulan (1986) señala que muchas especies pueden vivir en un amplio **rango de temperatura:**

- ❑ organismos tropicales y subtropicales no crecen bien en rangos menores a 26 - 28°C.
- ❑ alta muerte en menores de 15 - 10°C.
- ❑ organismos cálidos crecen bien de 20 - 28°C.
- ❑ organismos fríos alta mortalidad > 25°C.

La temperatura en las piscinas no varia mucho. Si la temperatura varía en más de 4°C puede haber shock termal y hasta la muerte.

Color aparente.- se la puede hacer con disco Secchi y para ello hay rangos:

- ❑ < 0.20 m agua demasiado turbia (lodosa). Si es por fitoplancton elevada concentración de algas, con baja en el nivel de O2. Si es por turbidez, baja la producción.
- ❑ 0.20 – 0.30 m rango intermedio (inicio de problemas)
- ❑ 0.30 – 0.45 m si es por fitoplancton, rango óptimo
- ❑ 0.45 – 0.60 m fitoplancton escaso
- ❑ > 0.60 m agua demasiado clara, productividad inadecuada hay el peligro de crecimiento de malezas acuáticas.

Apariencia del agua

La apariencia es muy importante y puede haber natas producidas por algas y el color de la nata da el color al agua: rojo, amarillo, verde, negro son producidas por plancton (dinoflagelados) y no dan problemas.

Si es azul-verdosa está asociado con presencia de cianobacterias, hay necesidad de control de calidad de agua.

También pueden presentarse burbujas en el fondo que son gases como metano, butano, CO2. Si hay muchas, hay presencia de organismos descomponedores en el fondo.

La espuma es común en las piscinas de cultivo intensivo debido a la aireación y alimentación. Si la tasa de fotosíntesis es alta puede haber espuma. La película superior puede producirse por polen.

En piscinas claras (de especies bioacuáticas) con elevada turbidez hay algas bénticas, cuando se forman burbujas en el fondo van arrastrando sedimento y algas y no son buenas para la calidad de agua.

.

Apariencia del agua .. continúa

Color.- Si hay mucho humus en dilución, el agua se torna color café o té; si son partículas del suelo el color depende del tipo del suelo que posea.

El color café también se da en bosques y zonas pantanosas o donde se fertiliza con excrementos. El hierro da coloración amarillenta.

Si el color es café producido por humus con lecturas menores de 0.20 m de disco Secchi, la calidad del agua no es mala pero produce reducción en la entrada de luz y muerte de organismos bénticos.

El fitoplancton da color café, café-verdoso, café-amarillento, amarillo, verde. Colores indeseables son azul o azul-verdoso

Norma de calidad ambiental

- En el Ecuador existe la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes aplicada al Recurso Agua, contenida den el texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS, Diciembre 2002).
- La referida norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental (1999) y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.
- La presente norma técnica determina o establece:
  - Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
  - Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
  - Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

Objeto de la Norma

- ❑ La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua.
- ❑ El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.
- ❑ Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.

Criterios de calidad de agua

- ☐ **DEFINICIÓN DE CRITERIO DE CALIDAD DE AGUA**

Corresponde a un valor determinado por personas expertas en relación a los posibles usos que se le pueda dar al agua, por lo tanto, reflejará el conocimiento científico vigente hasta la fecha de elaboración del mismo.

- ☐ **CRITERIOS DE CALIDAD POR USOS**

a. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.
b. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
c. Criterios de calidad para aguas subterráneas.
d. Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.
e. Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
f. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
g. Criterios de calidad para aguas de uso estético.
h. Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
i. Criterios de calidad para aguas de uso industrial.

Criterios generales de descarga de efluentes

La mencionada norma de calidad ambiental también contiene la siguiente regulación:

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
3. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
   - a) Descarga a un cuerpo de agua dulce.
   - b) Descarga a un cuerpo de agua marina.

Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuarios.

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

1. **Consumo humano y uso doméstico.**
2. **Preservación de Flora y Fauna.**
3. **Agrícola.**
4. **Pecuario.**
5. **Recreativo.**
6. **Industrial.**
7. **Transporte.**
8. **Estético.**

En los casos en los que se concedan derechos de aprovechamiento de aguas con fines múltiples, los criterios de calidad para el uso de aguas, corresponderán a los valores más restrictivos para cada referencia.

Ref. TULAS, 2002.

Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico

Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:

1. Bebida y preparación de alimentos para consumo,
2. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,
3. Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional, deberán cumplir con los siguientes criterios (ver tabla 1):

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH_4	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN^-	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr^{+6}	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO_5	mg/l	2,0
Dureza	$CaCO_3$	mg/l	500

Tabla 1 … continúa **Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional**.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	μg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			**Ausencia**
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	$SO_4^{=}$	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o – 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Tabla 1 .... continúa **Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.**

Parámetro	**Expresado Como**	**Unidad**	**Límite Máximo Permisible**
Xilenos (totales)		µg/l	10 000
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	µg/l	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	µg/l	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de dicloropropano	µg/l	5
Diquat		µg/l	70
Glifosato		µg/l	200
Toxafeno		µg/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		µg/l	3
Dicloroetano (1,2-)		µg/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		µg/l	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		µg/l	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		µg/l	100
Diclorometano		µg/l	50
Tetracloroetileno		µg/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		µg/l	200
Tricloroetileno		µg/l	30
Clorobenceno		µg/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		µg/l	200
Diclorobenceno (1,4-)		µg/l	5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,01
Bromoximil		µg/l	5

Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios

- Se entiende por ***uso del agua para preservación de flora y fauna,*** su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuacultura.
- (Ref. TULAS 2002, Libro VI, Anexo 1 Norma de calidad de agua)
- Los ***criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna*** en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario, se presentan a continuación (ver tabla 3):

TABLA 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles		mg/l	0,5	0,5	0,5
Bifenilos policlorados/PCBs	Concentración total de PCBs.	mg/l	0,001	0,001	0,001
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6, 5-9	6, 5-9	6, 5-9, 5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H_2S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Amoniaco	NH_3	mg/l	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0

TABLA 3. ... continúa **Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.**

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,001	0,005
Cianuro Libre	CN^-	mg/l	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01	0,01
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/l	0,0003	0,0003	0,0003
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1
Materia flotante	visible		**Ausencia**	**Ausencia**	**Ausencia**

TABLA 3. … continúa **Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.**

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,025	0,1
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	μg/l	10,0	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	μg/l	10,0	10,0	10,0
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	0,005
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 3 Máxima 20	Condiciones naturales + 3 Máxima 32	Condiciones naturales + 3 Máxima 32
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		200	200	200

Además de los parámetros indicados dentro de esta norma, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- La turbiedad de las aguas de estuarios debe ser considerada de acuerdo a los siguientes límites:
- Condición natural (Valor de fondo) más 5%, si la turbiedad natural varía entre 0 y 50 UTN (unidad de turbidez nefelométrica);
- Condición natural (Valor de fondo) más 10%, si la turbiedad natural varía entre 50 y 100 UTN, y,
- Condición natural (Valor de fondo) más 20%, si la turbiedad natural es mayor que 100 UTN;
- Ausencia de sustancias antropogénicas que produzcan cambios en color, olor y sabor del agua en el cuerpo receptor, de modo que no perjudiquen a la flora y fauna acuáticas y que tampoco impidan el aprovechamiento óptimo del cuerpo receptor.

Unidad 2

- Indicadores o parámetros de calidad de agua que conforman el ICA.
- Introducción a la metodología de cálculo de este índice.
- Relación entre los factores abióticos en los medios productivos.
- Temperatura.
- Salinidad.
- Turbidez.
- Color.
- Plancton.
- Oxígeno disuelto.
- pH.
- Dióxido de Carbono.
- Prácticas de laboratorio.

Indicadores e índices ambientales

- **Indicador** podría definirse como la capacidad de un elemento para informar acerca de las condiciones y/o características del sistema al que pertenece.
- Los **indicadores** se refieren a medidas simples de factores o especies biológicas, bajo la hipótesis de que estas medidas son indicativas del sistema biofísico o socioeconómico. (Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, Larry Canter, 2002)
- Un **índice ambiental** es un número o clasificación descriptiva de una gran cantidad de datos o información ambiental cuyo propósito principal es simplificar la información para que pueda ser útil a los tomadores de decisión y al público.
- De esta forma un "**índice**" es una jerarquización o, en general, una ordenación de "indicadores" bajo la finalidad de cuantificar una o un conjunto de características del sistema en estudio, sin necesidad de abordarlo en su totalidad.

Índice de Calidad de Agua (ICA)

- El Índice de Calidad del Agua indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura.
- Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA ≈ 0 %, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del ICA ≈ 100%.
- El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas:

1. La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua.
2. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada indicador, de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación.

Desarrollo del ICA

- Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro (Ii).
- Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (Wi) según su orden de importancia respectivo.
- Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

Parámetros considerados para determinar el ICA global

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno
2. Oxígeno Disuelto
3. Coliformes Fecales
4. Coliformes Totales
5. Potencial de Hidrógeno
6. Dureza Total
7. Sólidos Disueltos
8. Sólidos Suspendidos
9. Cloruros
10. Conductividad Eléctrica
11. Alcalinidad
12. Grasas y Aceites
13. Nitrógeno de nitratos
14. Nitrógeno amoniacal
15. Fosfatos totales
16. SAAM
17. Color
18. Turbiedad

Parámetros del ICA: Importancia relativa

Parámetro	Peso (W_i)	Parámetro	Peso (W_i)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5.0	Nitrógeno en nitratos (NO_3^{-1})	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	3.0	Potencial de Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales (PO_4^{-3})	2.0	Cloruros (Cl^{-1})	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal (NH_3)	2.0	Turbiedad	0.5

Fórmula del ICA

$$\mathrm{ICA} = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

donde el subíndice *i* identifica a cada uno de los 18 parámetros antes presentados, por lo que *i* = 1, 2, …, 18, y *n* = 18.

Fuente: Semarnap, Comisión Nacional del Agua, 1999.

Indicadores de calidad de agua

- Es importante tener claro que un índice ambiental, tal como el **ICA**, no es lo mismo que un indicador ambiental.
- Se han utilizado plantas como indicadores de las condiciones del agua y suelo, especialmente porque estas condiciones afectan el potencial agro ganadero (Odum,1959).
- En relación a los efectos de la contaminación, un **organismo indicador** es una especie seleccionada por su sensibilidad o tolerancia a los diversos tipos de contaminación y sus efectos.
- En cuanto a **calidad del agua,** los diversos grupos que han sido elegidos como indicadores comprenden bacterias, protozoos, algas, macroinvertebrados, macrofitos y peces.

Categorías del ICA

- Además del ICA general, es posible calcular los valores del ICA para las categorías siguientes:
    1. Materia orgánica,
    2. Bacteriológico,
    3. Material iónico,
    4. Material en suspensión, y
    5. Nutrientes.
- Para la obtención de estos índices se utiliza la misma fórmula de ICA general (promedios ponderados), y los coeficientes correspondientes para cada parámetro.
- En la tabla 1 se indica la agrupación de los parámetros de acuerdo a esta clasificación.

Tabla 1. Agrupación de parámetros para ICA’s particulares

Parámetro	Clasificación	Parámetro	Clasificación
pH	Material iónico	Nitrógeno de nitratos	Nutrientes
Color	Material suspendido	Nitrógeno amoniacal	Nutrientes
Turbiedad	Material suspendido	Fosfatos totales	Nutrientes
Grasas y Aceites	Material suspendido	Cloruros	Material iónico
Sólidos Suspendidos	Material suspendido	Oxígeno Disuelto	Materia orgánica
Sólidos Disueltos	Material iónico	DBO	Materia orgánica
Conductividad Eléctrica	Material iónico	Coliformes Totales	Bacteriológico
Alcalinidad	Material iónico	Coliformes Fecales	Bacteriológico
Dureza Total	Material iónico	SAAM	Nutrientes

Tabla 2. Coeficientes de Ponderación por parámetro

Parámetro	Importancia
pH	1.0
Color	1.0
Turbiedad	0.5
Grasas y Aceites	2.0
Sólidos Suspendidos	1.0
Sólidos Disueltos	0.5
Conductividad Eléctrica	2.0
Alcalinidad	1.0
Dureza Total	1.0
Nitrógeno de Nitratos	2.0
Nitrógeno Amoniacal	2.0
Fosfatos Totales	2.0
Cloruros	0.5
Oxígeno Disuelto	5.0
DBO	5.0
Coliformes Totales	3.0
Coliformes Fecales	4.0
SAAM	3.0

Potencial de Hidrógeno pH
Ecuación / Grafico 1

- $IpH = 10^{0.2335\ pH + 0.44}$

Si el pH es menor que 6.7 ....(2a)

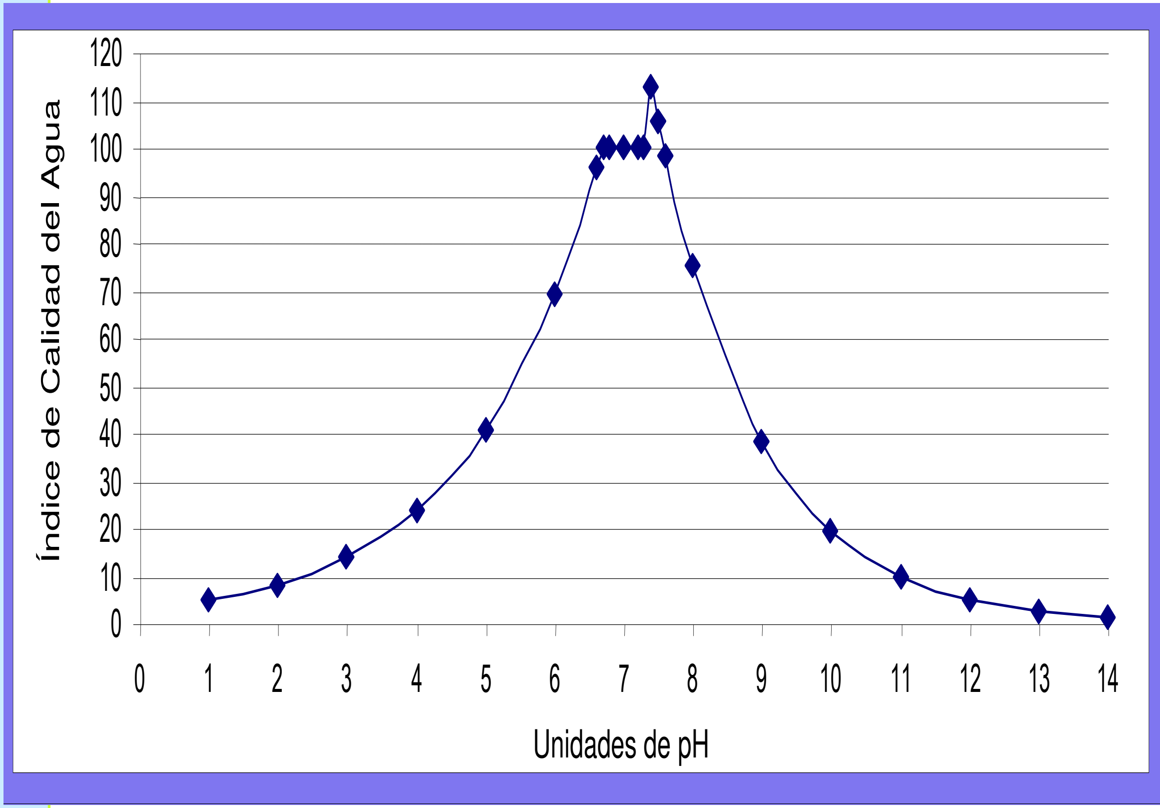
- $IpH = 100$

Si el pH está entre 6.7 y 7.3 ....(2b)

- $IpH = 10^{4.22 - 0.293\ pH}$

Si el pH es mayor que 7.3 ....(2c)

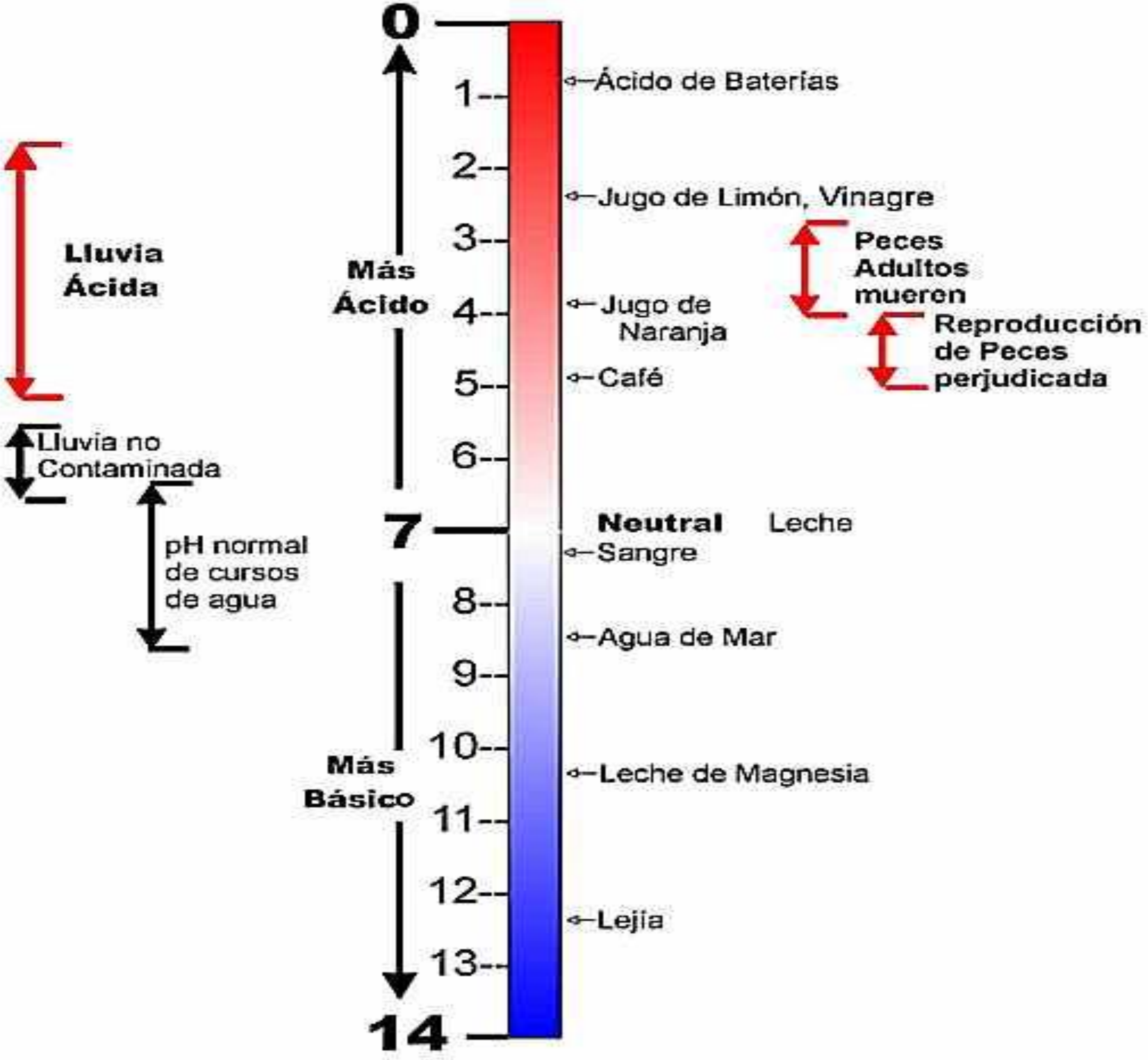
El gráfico 1 muestra el comportamiento de las ecuaciones.



Características del pH

- El pH es un ensayo común para determinar calidad de agua. Es la medida de iones hidrógeno en el agua, con escala en el rango de 0 a 14, siendo neutro el pH = 7. Es una escala logarítmica, es decir cada unidad de pH representa una potencia de 10 en acidez.
- Mediciones por encima de 7 son básicas (alcalinas), y por debajo de 7 son ácidas. Los puntos críticos para mortandad de peces están en el rango aproximado de pH = 4 ó pH = 11.
- Crecimiento y reproducción pueden ser afectadas entre pH = 4 a 6, y pH = 9 a 10 para ciertos peces.
- El pH afecta la toxicidad del amoniaco y nitritos.
- Puede variar en algunas piscinas en el transcurso del día, y a menudo está entre pH = 9 a 10 por períodos cortos en las tardes. El problema más común en piscinas es la acidez, en estos casos usualmente se utiliza óxido de calcio (CaO).

Escala del pH



Lluvia Ácida

Lluvia no Contaminada

pH normal de cursos de agua

Más Ácido

Más Básico

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

Ácido de Baterías

Jugo de Limón, Vinagre

Jugo de Naranja

Café

Neutral Leche

Sangre

Agua de Mar

Leche de Magnesia

Lejia

Peces Adultos mueren

Reproducción de Peces perjudicada

Unidad 3

- Manejo de oxígeno disuelto: su importancia.
- Relación con la producción.
- Medios para controlar el O2: biológicos químicos y mecánico.
- Tablas de productividad DBO: ejemplo de cálculo.
- Control de malezas acuáticas. Solución.
- Prácticas de laboratorio

Oxígeno Disuelto

- Su determinación es muy importante en ingeniería ambiental por que es el factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en un medio particular.
- A Partir del OD se puede cuantificar la DBO. Su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente, y por ello es un factor muy importante en la autopurificación de los ríos.
- Los valores de OD disminuyen con la temperatura. Concentraciones consideradas típicas para agua superficial están influenciadas por la temperatura, pero normalmente están entre 7 a 8 ppm (mg/l).
- La vida acuática requiere de OD. La mayoría de los animales acuáticos necesitan una concentración > 1ppm (mg/l) para sobrevivir. Dependiendo del tipo y condiciones de cultivo, necesitan de 4 a 5 ppm para evitar stress.
- Varía significativamente en aguas superficiales, y generalmente es muy bajo, o está ausente en aguas subterráneas.

Oxígeno Disuelto (OD) ......continúa

- En piscinas de producción acuícola el OD fluctúa debido a la producción de oxígeno fotosintética por parte de las algas durante el día, y el continuo consumo de oxígeno durante la respiración.
- El Od típicamente alcanza el máximo nivel en las últimas horas de la tarde, y un mínimo alrededor del amanecer.
- Causas de muerte o stress de peces por disminución de OD:
  - Cielo nublado, lluvia, muerte de plancton, alta densidad de siembra.
- El oxígeno es ligeramente soluble en agua. El agua en piscinas podría estar fecuentemente super-saturada con oxígeno con el bloom de algas.
- A nivel del mar, a una temperatura de 25°C, al agua pura contiene alrededor de 8 ppm (mg/l) de OD cuando está 100% saturada.
- En horas de la tarde, pueden haber niveles de 10 a 14 ppm en piscinas con bloom de algas saludables.

Variación de OD vs. T y S

Ref.: Parker, Rick; "Aquaculture Science", Delmar Publishers, 1995. ISBN 0-8273-6454-7

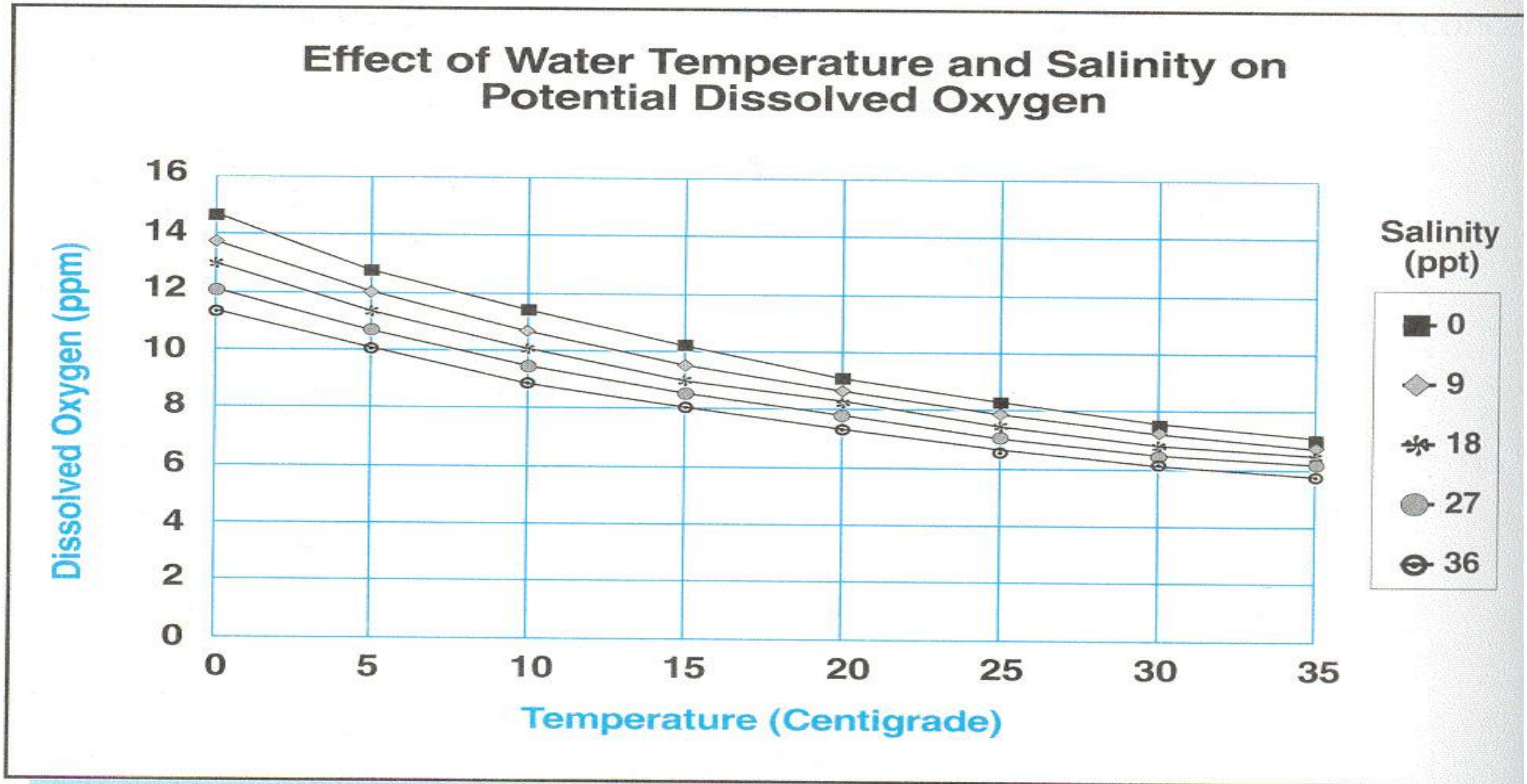


FIGURE 7-9 Increasing the water temperature or the salinity reduces its oxygen holding capacity.

Oxigeno Disuelto: Signos y Manejo

- Si el OD alcanza bajos niveles, los peces mostrarán los siguientes signos:
  - Inactivos y no comen
  - Bocanadas de aire (jadeo) en la superficie del agua
  - Agrupados cerca del afluente
  - Crecimiento lento
  - Brote de enfermedades y parásitos
- Como medidas de prevención se aplican técnicas de manejo que incluyen:
  - Monitoreo de OD a intervalos de tiempo críticos
  - Evitar sobre alimentación
  - Apropiado nivel de siembra
  - Evitar sobre fertilización
  - Control del crecimiento de plantas
  - Implementar algún método de aireación
  - Mantener el agua en circulación

Calidad de Agua: Niveles de OD

Ref.:G.Tyler Miller, Jr., "Living in the Evironment", eighth edition, ITP, 1994. ISBN 0-534-19950-X

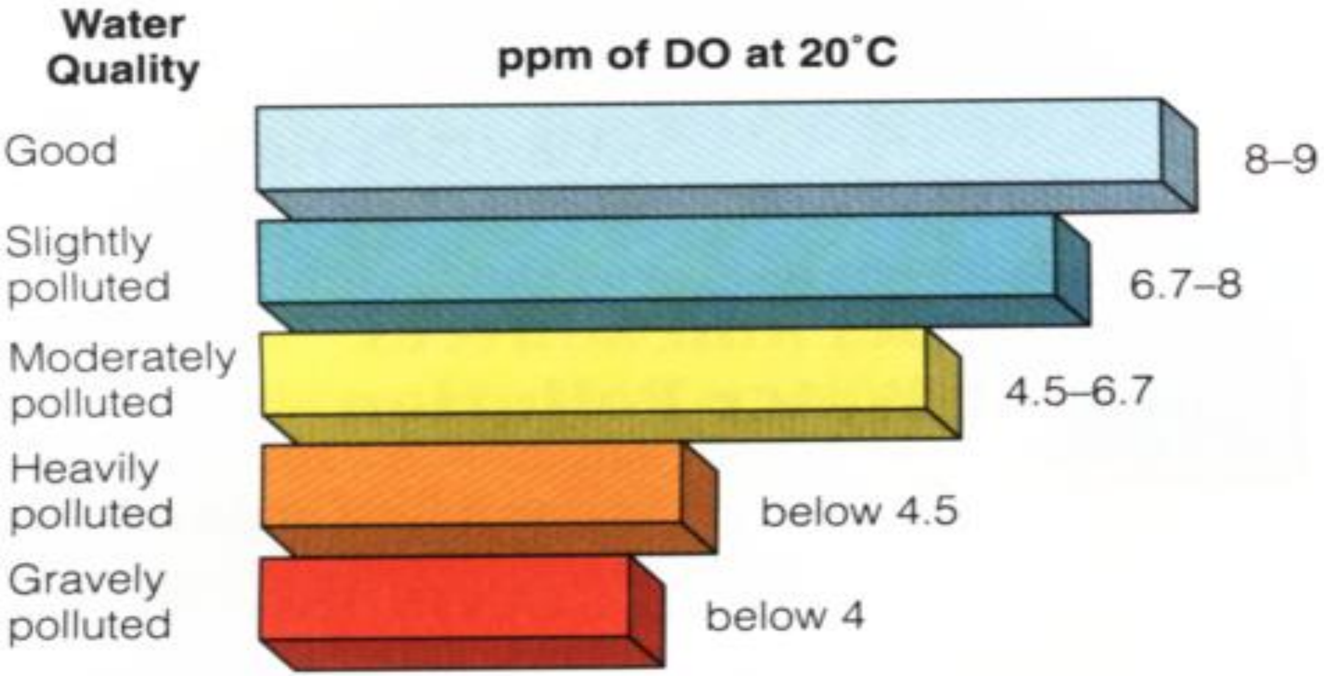


Figure 23-3 Water quality and dissolved oxygen (DO) content in parts per million (ppm) at 20°C (68°F). The solubility of oxygen decreases as the water temperature increases. Only a few species of fish can survive in water with fewer than 4 ppm of dissolved oxygen.

Oxigeno Disuelto vs. DBO

Ref.:G.Tyler Miller, Jr., "Living in the Evironment", eighth edition, ITP, 1994. ISBN 0-534-19950-X

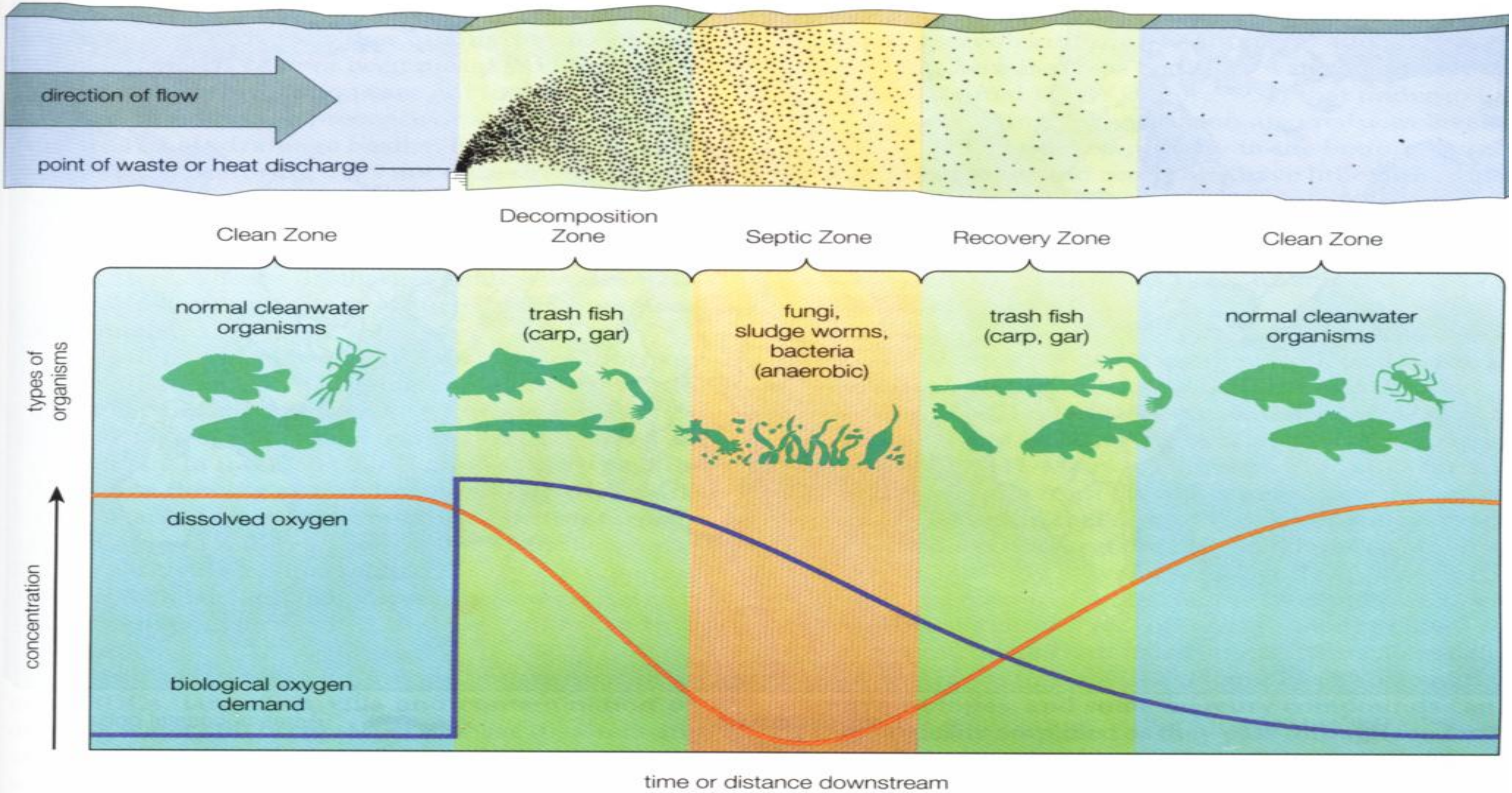


Figure 23-4 The oxygen sag curve (orange) versus oxygen demand (blue). Depending on flow rates and the amount of pollutants, streams can recover from oxygen-demanding wastes and heat if they are given enough time and not overloaded.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

- El indicador de contaminación orgánica más ampliamente usado, aplicable a aguas residuales y aguas superficiales, es la (DBO_5).
- Su determinación está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.
- Es un test estándar usado para determinar indirectamente el contenido de materia orgánica en una solución acuosa. Realmente mide el cambio en la concentración de oxígeno disuelto causado por los microorganismos mientras degradan la materia orgánica.
- Se expresa en mg/l por hora o por el tiempo total del test, y sirve para:
  1. Determinar cantidad de O_2 necesaria para biodegradar materia orgánica,
  2. Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales,
  3. Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento,
  4. Controlar el cumplimiento de limitaciones que están sujetos los efluentes.

Ecuaciones para cálculo del DBO_5

- Por razones de tipo práctico la cinética de la reacción de la DBO se formula de acuerdo con una reacción de primer orden, donde la tasa de oxidación es proporcional a la concentración de materia orgánica oxidable remanente, es decir, la tasa de reacción está controlada solamente por la cantidad de alimento disponible:

$$dL_t / dt = - k L_t$$

Donde,

L_t = concentración remanente de materia orgánica o DBO, en el agua para un tiempo t, *mg/l*

T = tiempo, *d*

K = constante de reacción, varía de 0.05 a 0.3, d^{-1}

- La cantidad de DBO en el instante t es: $L_t = L (e^{-kt})$,
- En tanto que y, la cantidad eliminada en el instante t es:

$$Y_1 = L - L_t = L (1 - e^{-kt})$$

La DBO_5 será: $Y_5 = L - L_5 = L (1 - e^{-5k})$

Ejemplo de Cálculo de la DBO

Determinar la DBO de 1 día y la DBO última de la primera fase para un agua residual cuya DBO a los 5 días a 20 ºC es de 200 mg/l. La constante de la reacción k (base e) = 0.23 d $^{-1}$.

☐ **Solución:**

1) Determinación de la DBO última: $L_t = L\, e^{-k\,t}$

$$Y_5 = L - L_5 = L\,[1 - e^{-5\,k}]$$

$DBO_5 = 200 \text{ mg/l} = L\,[\,1 - e^{-5\,(0.23)}\,] = L\,[1 - 0.316\,]$; **L = 293 mg/l**

2) Determinación de la DBO de 1 día:

$L_1 = L\, e^{-k\,1}$; $Y_1 = L - L_1 = 293\,[\,1 - e^{-(0.23)\,(1)}\,]$

Y $_1 = 293 - 293\,[\,0.795\,] = 293 - 233 =$ **60 mg / l**

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- La Demanda Química de Oxígeno DQO es una medida de la materia orgánica e inorgánica en el agua, que puede ser oxidada por un agente químico oxidante (normalmente bicromato de potasio) expresada en mg/l; es la cantidad de oxígeno disuelto requerida para la oxidación química completa de contaminantes.
- Por tanto la DQO de muestras de agua se incrementa con el aumento de la concentración de la materia orgánica.
- Una medición normal podría ser < 10 mg / L. Una lectura de 60 mg / L puede ser considerada como rica.
- Generalmente la DQO de un desecho es mayor a la DBO_5 debido a que más compuestos pueden ser oxidados químicamente que biológicamente.
- La DBO del agua se incrementa con el aumento del DQO, y ésta a su vez es generalmente utilizada para determinar DBO.