CI51D/CI71I
CONTAMINACIÓN DE RECURSOS HIDRÁULICOS
Por: Jorge Castillo G.

INDICADORES

TEMPERATURA: En realidad corresponde a una concentración de calor, puesto que **:**

$$C = C_P \ \gamma \quad V \quad T^o$$

$$\textit{luego} \qquad T^o = \frac{1}{C_P \gamma} \quad \frac{C}{V}$$

En que C es la cantidad de calor en calorías
C_p es el calor específico
γ es la densidad del agua
V es el volumen de agua y
Tº es la temperatura

- La temperatura es importante porque todas las especies requieren de un rango de temperatura para poder vivir.
- Además, la velocidad de las reacciones químicas, y por lo tanto de las enzimáticas, es dependiente de la temperatura. En general, a mayor temperatura, mayor velocidad de reacción (Ecuación de Arrhenius, $K(T) = A \cdot \exp(E_a/RT)$).
- La solubilidad de los gases en el agua, en general, aumenta al disminuir la temperatura.

pH

Definición **:**

$$\mathbf{pH = - \log [H^+]}$$

siendo $[H^+]$ la concentración de iones H^+ en moles por litro.

El agua pura es neutra, es decir,

$$\mathbf{[H^+] = [OH^-]}$$

Además, la constante de ionización del agua a 25 grados centígrados es

$$\mathbf{K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}}$$

luego, para el agua neutra

$$\log [H^+] + \log [OH^-] = 2 \log [H^+] = -14$$
$$-\log [H^+] = pH = 7$$

El pH es un parámetro importante para**:**

Coagulación química y decantación
Desinfección
Ablandamiento
Control de corrosión
Vida acuática
Procesos biológicos

Medición **:** Método colorimétrico (muchas interferencias)
Método del electrodo de vidrio (estándar)

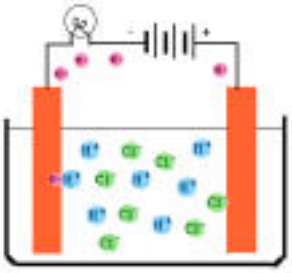
Ejemplo **:**

Calcular el pH de una solución que contiene $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ gm/l de iones OH^-.

$(OH^-) = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ (gm/l) / 17 gm/mol $= 10^{-9}$ moles/litro
$(H^+) = 10^{-14}/10^{-9} = 10^{-5}$ pH = 5

CONDUCTANCIA ESPECIFICA

En las figuras siguientes, si se agrega sal al electrolito disminuye la resistencia eléctrica y la ampolleta se prende



Ley de Ohm : $I = \frac{V}{R}$

La resistencia **R** varía en forma aproximadamente lineal con la longitud **L** e inversamente proporcional con la sección transversal **A** del conductor.

$$\frac{V}{I} = R = \rho \frac{L}{A}$$

ρ **:** coeficiente de resistividad o resistividad específica = VA/IL (ohm·cm)

El inverso de la resistividad específica es la conductividad específica, **K,** que tiene la siguiente expresión**:**

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{IL}{VA}\left(\frac{1}{ohm\,cm}\right) = \frac{IL}{VA}\left(\frac{mho}{cm}\right)$$

En la práctica se usa corriente alterna de 1.000 a 3.000 ciclos por segundo, para evitar que se produzca electrólisis, y un voltaje de sólo 1,5 volts.

La conductancia específica del agua varía entre 0,2 a 5 micromhos por centímetro, para el agua destilada, y 6.000 micromhos por centímetro para el río Salado afluente del Loa. El río Salado, III Región es más salino y tiene 300 gr/l de salinidad.

Bibliografía **: SPIEGLER,** Salt Water Purification
Walter-Lorch, Handbook of Water Purification.

TURBIEDAD

La turbiedad es un parámetro que mide el contenido de partículas del agua a través de la difusión de la luz que se produce por reflexión en la superficie de éstas.

Permite medir la claridad o pureza visual del agua y es muy importante para controlar el abastecimiento de agua potable o para otros usos, cuando los demás problemas de contaminación ya están resueltos.

El método estándar consiste en la aplicación de un instrumento sencillo, denominado Turbidímetro Jackson.

Básicamente el turbidímetro Jackson mide la altura de agua a la que se pierde la silueta de una llama de vela de cera de abejas, de fabricación estandarizada. Esta altura se compara con una tabla, elaborada por Jackson, en la que relacionó las alturas de extinción de la silueta de la llama con concentraciones de tierra de diatomeas, algunos de cuyos valores se muestran en la tabla siguiente:

Relación entre profundidad de extinción y turbiedad según Jackson

Profundidad (cm)	Turbiedad (mg/l de tierra de diatomeas)
2,3	1000
10,8	200
48,1	40
72,9	25

En este sentido, la turbiedad medida por el turbidímetro Jackson se puede interpretar como la concentración de la tierra de diatomeas, usada por Jackson, que hubiera producido una extinción de la llama a la misma altura a la que la produce la muestra analizada. En la actualidad el turbidímetro de Jackson ya no se usa en la práctica, sino que se utilizan otros instrumentos de más fácil aplicación y que han sido calibrados con el turbidímetro Jackson.

Entre las dificultades que ofrece la aplicación directa del turbidímetro Jackson se pueden mencionar las siguientes**:**

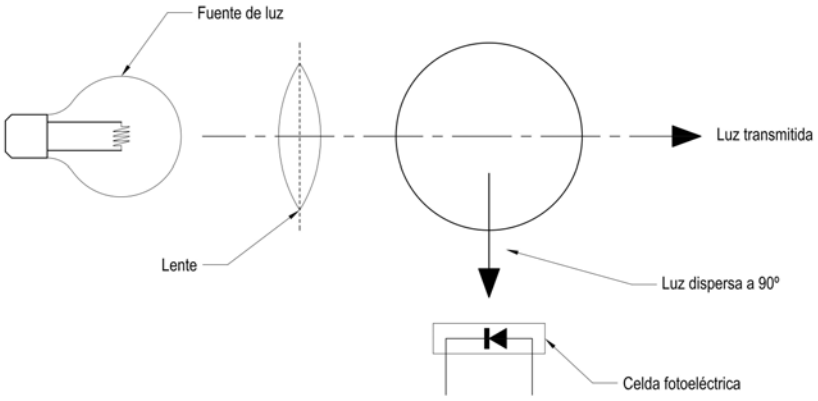
- dificultad de transporte y fragilidad

- necesidad de diluir las muestras cuando la turbiedad es mayor que 1.000 por la pérdida de sensibilidad (se supone relación lineal entre la turbiedad y el grado de dilución del agua).

- imposibilidad de medir cuando la turbiedad es inferior a 25, ya que ello obligaría a utilizar un tubo muy largo.

Esta última limitación es importante ya que la Norma Chilena de calidad del agua potable establece como máximo valor admisible, para el agua que se suministra en servicios públicos, 5 unidades Jackson. Es decir, el turbidímetro Jackson no permite medir las turbiedades en el rango más importante. Por este motivo, en los equipos disponibles en el mercado se ha establecido una equivalencia con los **NEFELÓMETROS**, que utilizan formacina como agente de calibración. La calibración se hace con una suspensión de formacina que equivale a 40 unidades Jackson y que se define como con una turbiedad de 40 unidades nefelométricas **(UNT)**. Las turbiedades menores se derivan a partir de ésta por simple dilución.

ESQUEMA DE UN NEFELÓMETO



Los nefelómetros tienen un principio de funcionamiento diferente a los turbidímetros. Estos últimos funcionan por comparación entre la luz incidente y la trasmitida, en la misma dirección.

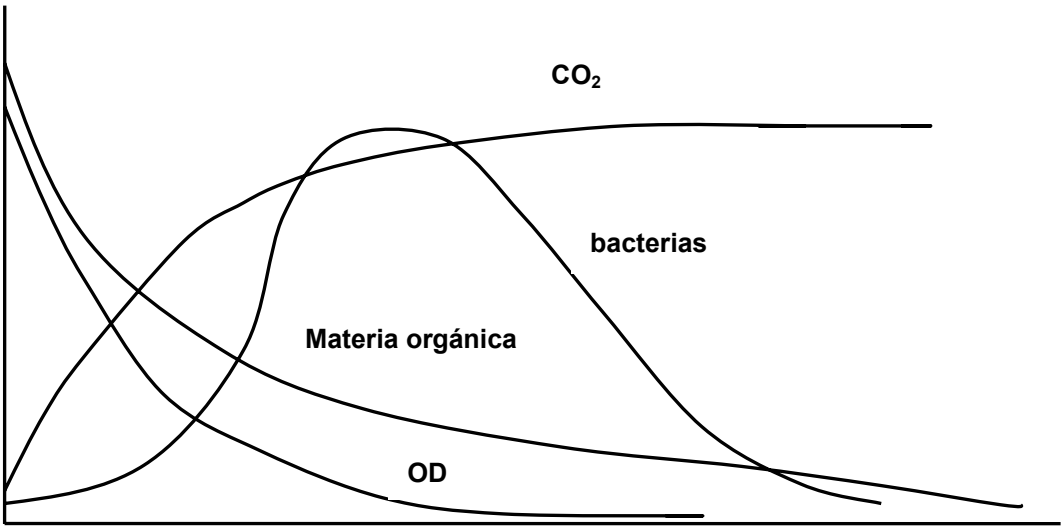
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda Bioquímica de Oxígeno es, más que un parámetro, una prueba indicadora de la capacidad de las aguas contaminadas para utilizar el oxígeno disuelto disponible.

Cuando existe materia orgánica en el agua y bacterias heterótrofas, éstas utilizan la energía contenida en los compuestos orgánicos a través de un proceso de oxidación y, de paso, producen su estabilización a compuestos inorgánicos, inertes o parcialmente oxidados.

$$CHO + O_2 + \text{bacterias} \rightarrow CO_2 + H_2O$$

Si se tiene una botella herméticamente cerrada, con materia orgánica, bacterias y oxígeno, entonces el contenido de estos componentes variará en el tiempo aproximadamente como se indica en la figura siguiente, en función del tiempo**:**



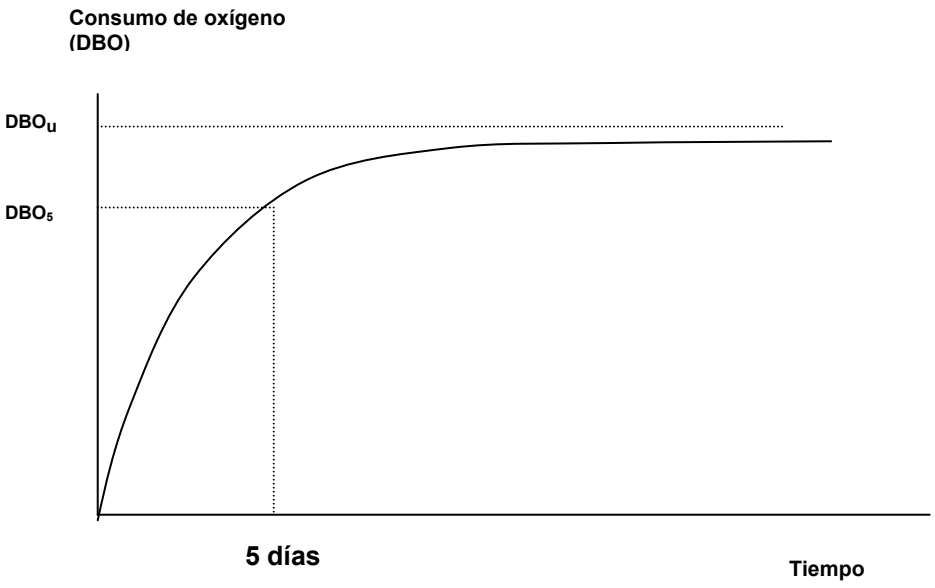
Este mismo gráfico se puede representar en términos del oxígeno consumido, con lo cual resulta la siguiente curva de consumo**:**

De la curva de consumo, los parámetros más comúnmente utilizados son las DBO_5, que corresponde al consumo al cabo de 5 días, y la DBO_u, que corresponde al valor asintótico a que tiende el consumo y representa el potencial total de consumo de oxígeno por parte de la materia orgánica, en un proceso natural de descomposición microbiana.

A veces se produce un incremento de la demanda en relación a la tendencia, producida por la nitrificación de los compuestos orgánicos nitrogenados, básicamente proteínas, denominada DBO de nitrificación

Forma de medir la DBO en la práctica**:**

Diluciones



Oxigenación
Inoculación y nutrientes
Efecto de la temperatura y de la luz
Unidades de expresión

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Si se mide la DBO_u de un compuesto decomposición conocida resulta un valor inferior a la demanda que se puede calcular en forma teórica. Por ejemplo, la glucosa se oxidaría de la siguiente forma**:**

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$$6\,(12) + 12\,(1) + 6\,(16) = 180$$
$$6\,(16) \cdot 2 = 192$$

Por lo tanto, se requerirían 192 gramos de oxígeno por cada 180 gramos de glucosa o, equivalentemente, 1,067 gramos de oxígeno por gramo de glucosa.

Si la glucosa está en una concentración de 300 mg/l se tendría una DBO_u teórica de 300x1,067 = 320 mg/l de oxígeno. En la práctica se consiguen valores del orden de 250 a 280 mg/l.

Esta diferencia se produce porque una parte de la glucosa es utilizada como fuente de energía y otra como materia prima para la síntesis molecular. La materia celular sintetizada es, a su vez, oxidada en el proceso conocido como respiración endógena, quedando un residuo inerte que, aunque orgánico, es de muy lenta descomposición. Gráficamente **:**

OXIDACIÓN
GLUCOSA **Oxidación (Respiración endógena)**
SINTESIS
Residuo Inerte

Hay compuestos orgánicos que naturalmente son poco degradables, como la lignina de la madera, y por lo tanto no serán adecuadamente medidos en una prueba de **DBO.**

La Demanda Química de Oxígeno, o **DQO,** consiste en determinar la capacidad de consumo de la materia orgánica contenida en el agua, independientemente de su degradabilidad frente a procesos bacterianos. Para esto se utiliza un oxidante fuerte ($K_2Cr_2O_7$, dicromato de potasio) con el cual se digiere la fracción orgánica durante unas dos horas. La demanda de oxígeno se mide en función de la cantidad de oxidante utilizado en la digestión.

La **DQO** no mide bien la demanda de oxígeno de algunos compuestos mejor oxidables bajo condiciones naturales, como el ácido acético, pero mide bien el consumo producido por otros compuestos lentamente degradables por acción bacteriana, como la glucosa.

Es posible relacionar las mediciones de **DQO** con las de **DBO,** con lo cual se obtiene un apreciable ahorro de tiempo, ya que los resultados de la DQO se pueden tener en aproximadamente 3 horas.

Dado que la materia orgánica más fácilmente degradable se degrada primero, a medida que se remueve DBO por tratamiento aumenta la relación **DQO/DBO.**

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

Productividad: Velocidad a la que los productores primarios (vegetales que hacen fotosíntesis) utilizan el carbón inorgánico (en forma de CO_2) para producir materia orgánica (fijación del carbono).

Si suponemos que la composición de la masa celular vegetal es similar a la de la glucosa, la reacción de fotosíntesis o producción es la siguiente**:**

$$\mathbf{6CO_2 + 6H_2O + luz\ solar \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2}$$

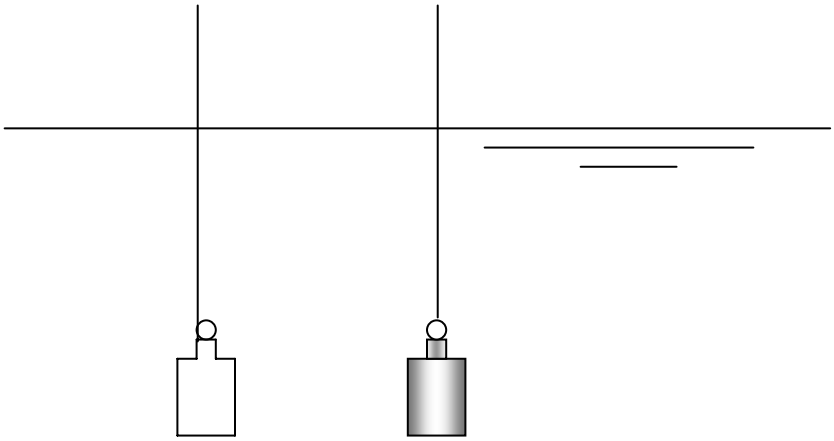
Por cada molécula de carbón fijada se genera una molécula de oxígeno residual. Debido a esto, es posible medir la producción primaria a través de la cantidad de oxígeno que se genera en la reacción de fotosíntesis.

Así como las plantas vivas generan oxígeno en presencia de luz, la materia orgánica consume oxígeno en presencia de bacterias (respiración) y normalmente ambos procesos coexisten, lo que hace difícil su medición. Una de las técnicas utilizadas para medir esto es la denominada de las **botellas clara y oscura o método del oxígeno.**

Método del Oxígeno (Botellas clara y oscura)

Consiste en confiar un volumen de agua en un par de botellas, una en la que puede penetrar la luz, denominada botella clara, y otra en la que no puede entrar la luz, denominada botella oscura. Normalmente la botella oscura se consigue envolviéndola en papel de aluminio. Ambas botellas se sumergen a la profundidad a que se quiere determinar la productividad durante un tiempo determinado, al cabo del cual se mide la concentración de oxígeno, la que se compara con la concentración inicial, que es la misma para las dos botellas.

En la botella clara se produce la fotosíntesis y la respiración, en cambio en la botella oscura sólo se produce la respiración.

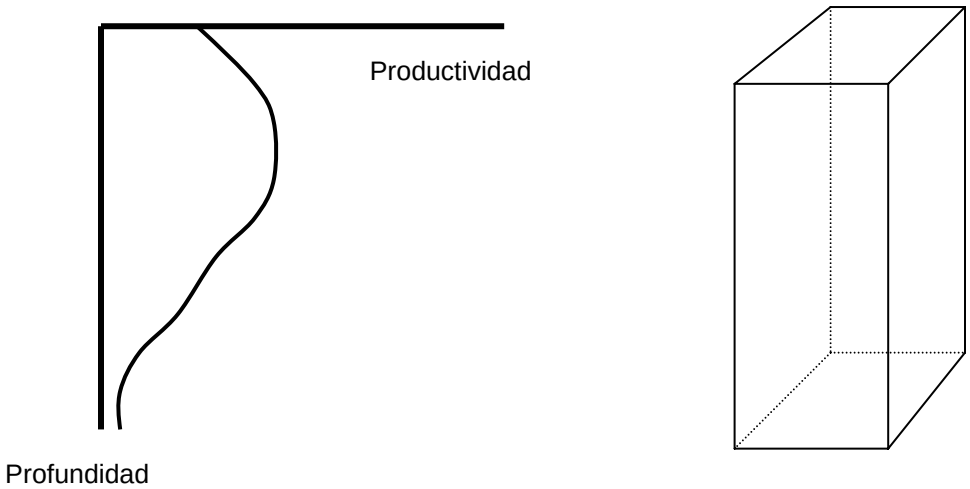


La diferencia entre la concentración inicial y final de oxígeno en la botella oscura representa la respiración, es decir, la cantidad de oxígeno que se consume por la descomposición bacteriana de la materia orgánica. La diferencia entre la concentración inicial y la final en la botella clara, en cambio, representa la producción neta, es decir, la producción menos la respiración. La diferencia entre la concentración de oxígeno de la botella clara y la botella oscura representa la producción total, es decir, la cantidad de oxígeno que se genera en el proceso de fotosíntesis (o producción primaria).

Normalmente la productividad primaria es máxima en un punto próximo a la superficie del agua, y decrece con la profundidad, a medida que disminuye la intensidad de la luz.

Si se integra a la productividad (mg de carbón fijado por m^3 y por día) a lo largo de la profundidad, se tiene la productividad por unidad de superficie del lago (mg de carbón fijado por m^3 y por día).

Productividad vs. Profundidad



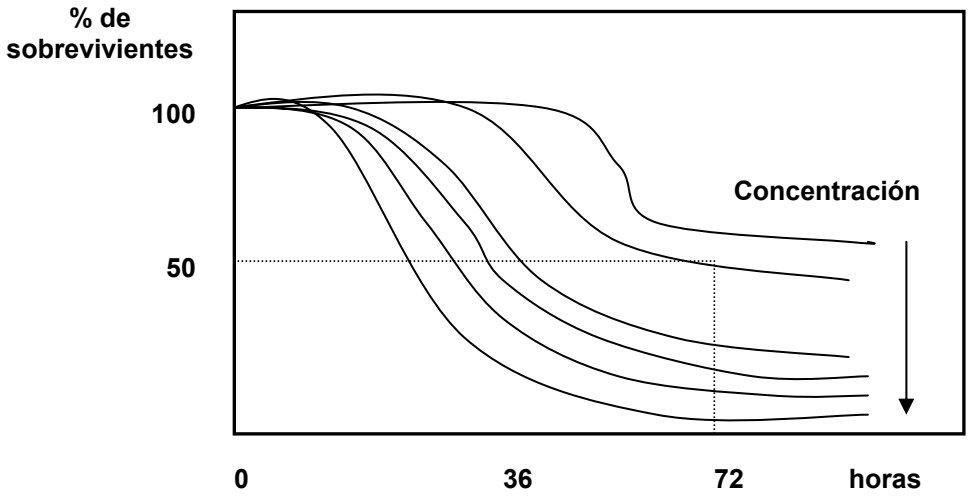
La productividad se puede expresar en términos de mg O_2/l·día o mg O_2/m^3·día. Si se integra la productividad a lo largo de la vertical en un lago o laguna, entonces se expresa en términos de producción de oxígeno por unidad de superficie y de tiempo.

BIOENSAYOS

Permiten medir la toxicidad de un contaminante o una mezcla de contaminantes, por medio de la evaluación de sus efectos en una población de seres vivos.

Normalmente se expresa en términos de la Concentración Letal del 50% en 72 horas: $\mathbf{CL_{50}}^{\mathbf{72}}$

El gráfico siguiente ilustra la manera como se hacen los cálculos.



Antiguamente se utilizaban solamente peces, pero la tendencia es usar organismos cada vez más pequeños y, por lo tanto, más fáciles de tener en grandes cantidades. Desde hace una tiempo se utilizan microcrustáceos, como la

Daphnia Magna, y últimamente se utilizan bacterias fluorescente, que pueden ser medidas con mucha facilidad.

COLIFORMES

Método del Número Más Probable **(NMP)**

El método del Número Más Probable se basa en que existe la posibilidad de detectar la presencia o ausencia de microorganismos del tipo coliformes en el agua pero no es posible hacer un recuento directo de éstos. Los coliformes fermentan el caldo lactosa (ahora se usa más el caldo Lauril Sulfato Triptosa para aguas residuales y el caldo lactosa para alimentos) a 35º C en incubadora entre 24 y 48 horas (se confirma con caldo Bilis al 2% a 35º C). Los fecales además fermentan el caldo EC a 44,5º C (a baño María).

Si se toman varias diluciones diferentes de agua con un cierto contenido de microorganismos, entonces es lógico pensar que la probabilidad de obtener un resultado positivo, es decir presencia de ellos, será mayor cuanto menor es la dilución.

El Número Más Probable de microorganismos se encuentra tabulado en función de las combinaciones de resultados positivos y negativos para diferentes diluciones

Bibliografía **: SPIEGLER,** Salt Water Purification
Walter-Lorch, Handbook of Water Purification.