

Capítulo 1. FUNDAMENTOS SOBRE QUÍMICA AMBIENTAL. EL AGUA. -----	5
1.1. INTRODUCCIÓN.-----	5
1.2. EL AGUA. -----	6
1.2.1. Recursos hídricos naturales. -----	6
1.2.2. Recursos hídricos en Colombia.-----	7
1.2.3. Ciclo Hidrológico. -----	8
1.3. PROPIEDADES DEL AGUA. -----	9
1.3.1. El agua: una sustancia poco común. ⁽⁹⁾ -----	9
1.4. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA. -----	11
1.4.1. Características físico-químicas de las aguas. -----	11
1.4.1.1. Características físicas. -----	11
1.4.1.1.1. Turbiedad. -----	12
1.1.4.1.1.1. Origen. -----	12
1.1.4.1.1.2. Unidades de medida. -----	12
1.1.4.1.1.3. Significado sanitario.-----	13
1.4.1.1.2. Color.-----	13
1.1.4.1.2.1. Origen. -----	13
1.1.4.1.2.2. Unidades de medida. -----	13
1.1.4.1.2.3. Significado sanitario.-----	14
1.1.4.1.2.4. Remoción. -----	14
1.4.1.1.3. Olor y sabor.-----	14
1.1.4.1.3.1. Origen. -----	14
1.1.4.1.3.2. Unidades de medida. -----	14
1.1.4.1.3.3. Significado sanitario.-----	14
1.4.1.1.4. Temperatura. -----	14
1.4.1.1.5. Sólidos.-----	15
1.4.1.1.6. Conductividad-----	16
1.4.1.2. Características químicas.-----	16
1.4.1.2.1. pH-----	16
1.1.4.2.1.1. Significado sanitario -----	17
1.4.1.2.2. Acidez -----	17
1.1.4.2.2.1. Origen. -----	17
1.1.4.2.2.2. Unidades de medida-----	18
1.4.1.2.3. Alcalinidad -----	18
1.4.1.2.4. Relación entre pH, alcalinidad y acidez: -----	19
1.4.1.2.5. Dureza-----	19
1.1.4.2.5.1. Origen. -----	19
1.1.4.2.5.2. Clasificación.-----	19
1.1.4.2.5.3. Remoción. -----	20
1.4.1.2.5.3.1. Dosificación de cal-----	20
1.4.1.2.5.3.2. Dosificación de soda-----	20
1.4.1.2.6. Oxígeno disuelto. ⁽¹⁾ -----	20
1.1.4.2.6.1. Significado sanitario -----	21
1.1.4.2.6.2. Unidades de medida-----	21
1.4.1.2.7. Fosfatos -----	21
1.4.1.2.8. Sulfatos-----	21
1.4.1.2.9. Hierro y Manganeseo -----	22
1.5. USOS DEL AGUA-----	23
1.6. CALIDAD DEL AGUA. -----	24
1.7. Legislación colombiana - parte agua-----	24

1.7.1. DECRETO 475 DE 1998 -	25
1.7.2. DECRETO 1594 DE 1984 -	26
1.8. LA CONTAMINACIÓN -	27
1.8.1. Origen:-----	27
1.8.2. Fuentes contaminantes.-----	28
1.8.3. Clases de contaminantes.-----	28
1.8.4. Tipos de contaminantes.-----	28
1.8.5. Cargas contaminantes-----	29
1.8.6. Control de contaminación.-----	30
1.9. CARACTERIZACION -	31
1.9.1. Programas de Caracterización.-----	32
1.9.2. Medición de caudales-----	33

Capítulo 1. FUNDAMENTOS SOBRE QUÍMICA AMBIENTAL. EL AGUA.

1.1. INTRODUCCIÓN.

A pesar de los múltiples tratados sobre la química del agua, un documento para motivar la profundización sobre el tema y la interrelación que debe tener con los estudios de la ingeniería sanitaria es siempre un aporte a la docencia universitaria, que tiene en cada caso una singularidad de región, de problemas o de orientación curricular que justifica emprender estas notas escritas.

El presente trabajo es fruto de los cursos sobre calidad del agua en la sede Manizales, de la Universidad Nacional de Colombia y pretende orientar a los estudiantes en la profundización sobre ingeniería ambiental, motivándolos por una parte a profundizar en los temas y, por otra parte, manejando una información básica complementaria a los cinco cursos de química que tiene previsto el plan de estudios de ingeniería química en su formación básica curricular.

Después de un capítulo introductorio sobre las generalidades del recurso agua, sus propiedades, usos y contaminaciones, pasando por la legislación ambiental colombiana se continúa con fundamentos sobre química y las aplicaciones sobre análisis cuantitativo aplicado a la calidad del agua ya sea residual, cruda o potable. Se realiza una base conceptual sobre los coloides enfatizando en los procesos químicos realizados en la coagulación y floculación de aguas, para terminar con nociones sobre bioquímica, bases de los tratamientos biodegradables.

Para iniciar un estudio más profundo sobre el agua desde el punto de vista ambiental y sanitario, es importante preguntarnos el por qué este recurso ha sido el primero en ser afrontado por organizaciones mundiales como la OMS y regionales como la OPS, por qué el número de simposios y seminarios temáticos, aparte de los congresos científicos, políticos y tecnológicos que cada año son realizados en el mundo.

Basta realizar una revisión a las dimensiones del recurso, cuantificar la disponibilidad del mismo y proyectar las necesidades que de él tiene la humanidad para su supervivencia y se tendrá una primera aproximación a la realidad que se debe afrontar por nuestras generaciones actuales, o se maneja cuidadosamente para entregar a las futuras generaciones la posibilidad de una calidad de vida acorde con el desarrollo del hombre o nos veremos enfrentados a manejar problemas de supervivencia cuyas consecuencias y secuelas estamos lejos de pensar.

Pero también es importante analizar el agua desde el punto de vista científico para conocer sus singularidades y las propiedades que hacen de ella una sustancia poco común, diríase una sustancia "rara", distinta a los compuestos que con su misma conformación molecular se pueden encontrar en la química.

Su importancia para la vida hace de ella un objeto permanente de estudio que seguramente no terminará mientras la humanidad continúe su uso indiscriminado en la industria, en la agricultura y como fuente de energía y mientras no se tenga una cultura sobre su uso y cuidados, que a manera de políticas ambientales y para ordenar el recurso, se consignan en la legislación colombiana.

1.2. EL AGUA.

1.2.1. Recursos hídricos naturales.

El agua, ese compuesto que vemos precipitarse de la atmósfera en los días de lluvia, que vemos correr por los ríos y quebradas, del cual sabemos que está contaminado pero que sin embargo nos llega todos los días a la casa y lo compramos en botellas para satisfacer la sed, es un recurso natural cuyas dimensiones debemos conocer como punto de partida para ubicar nuestro objeto de estudio y tener clara su importancia.

De acuerdo a los estudios realizados sobre balance de los recursos iniciados en la década de los setenta, la distribución de agua en el mundo es ⁽⁹⁾:

Tabla 1-1. Distribución de agua en el mundo.

Océanos y mares	97,0 %	1315 x 10 ⁶ Km ³
Casquetes polares	2,2 %	25- 30 x 10 ⁶ Km ³
Agua dulce	0,52 %	7 x 10 ⁶ Km ³
Agua en el ciclo hidrológico	0,06 %	

El agua de mar contiene 35 gramos de sal en cada litro de agua, los casquetes polares son muy alejados de las poblaciones, el volumen de agua realmente disponible en la tierra se estima en 7 millones de kilómetros cúbicos existentes en:

Lagos: 123.000 Km³; corrientes: 1230 Km³; mantos acuíferos hasta 800 metros de profundidad: 3 x 10⁶ Km³; aguas profundas: 4x 10⁶ Km³; atmósfera: 12.700 Km³.

Sólo la tercera parte de la tierra se encuentra bien dotada de agua, lo demás es árido y semiárido. El agua es un elemento esencial e insustituible en todos los órdenes de la vida. En ella viven y se multiplican casi todos los organismos: bacterias, virus, animales superiores y plantas. Para todos los seres vivos el agua contribuye a la formación de todos los distintos líquidos biológicos necesarios para los procesos metabólicos, en especial la asimilación y digestión de alimentos.

La sangre es agua en una proporción de 9/10 partes. El 70 % del peso de nuestro cuerpo es aportado por el agua.

1.2.2. Recursos hídricos en Colombia.

Colombia es un país con cerca de un millón de Km^2 de mares y más de 714.000 cuencas hidrográficas mayores de 10 Km^2 . Estos sistemas están divididos en las cuencas del Caribe, Pacífico, y Amazonas-Orinoco. Por su ubicación en uno de los lugares de mayor intercambio agua-atmósfera es un país privilegiado por su sistema hidrológico. Se estima que Colombia está entre los cuatro primeros países del globo por su potencial hídrico, medido através del rendimiento en litros/segundo/ Km^2 .

Colombia tiene excelentes recursos hídricos, con una variedad de precipitaciones que van desde 60 milímetros anuales en Uribia- Guajira, hasta 9287 en Quibdó-Chocó, pasando por 4199 mm en Villavicencio-Meta. Promedio anual: 2000 milímetros de lluvia anual, para los 114 millones de hectáreas planimétricas que conforman el territorio nacional.

La escurrentía del orden del 30% y la percolación, 20 %, para una pluviosidad de 2.000 mm anuales, suministra unos $40.000 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua arrojada al mar.

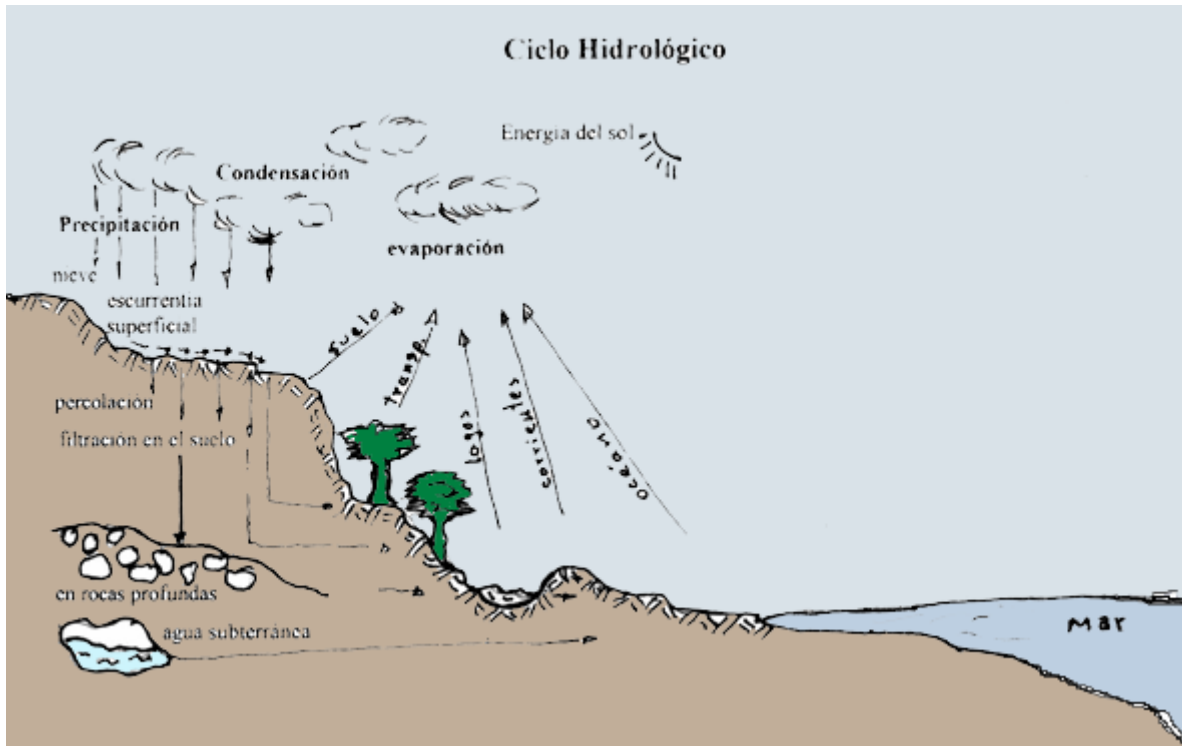
Con excepción de la Guajira, Colombia cuenta con una buena distribución de las aguas. Gran número de ríos, nacen en la parte alta de la montaña, más arriba de donde vive la población. Esta configuración proporciona ríos de alto gradiente y cuencas con alto potencial hidroeléctrico (del orden de 100 millones de kilovatios). El río Cauca y el río Magdalena atraviesan el territorio nacional de sur a norte y estamos sobre la cuenca amazónica y en la orinoquía, que hacen parte de las reservas más importantes del mundo.

Caldas maneja 48 microcuencas para abastecer las plantas de agua potable de los 25 municipios del departamento.

Manizales se abastece de RioBlanco, quebradas Cajones y California y del río Chinchiná para la potabilización del agua. La circundan, la quebrada Manizales y la quebrada Olivares que corren de oriente a occidente y terminan en el río Chinchiná después de recoger la mayoría de descoles de agua residual municipal.

El macizo volcánico del Ruiz abastece 37 municipios de tres departamentos: Caldas, Tolima y Risaralda. Sus nieves "perpetuas" manejan un régimen hidrológico con mayor caudal en las épocas de verano por los deshielos. De acuerdo al geógrafo Ernesto Gull los sistemas de páramo deben dejarse como una fábrica de agua que permita mantener nuestros recursos hídricos.

1.2.3. Ciclo Hidrológico.



El ciclo hidrológico representa el cambio permanente del agua entre sus diferentes estados y su participación en los procesos de vida de la tierra. Se puede representar de la siguiente manera:

El ciclo hidrológico es la ininterrumpida circulación del agua desde el océano al aire, de éste al suelo, de éste al río y otra vez al océano.



1.3. PROPIEDADES DEL AGUA.

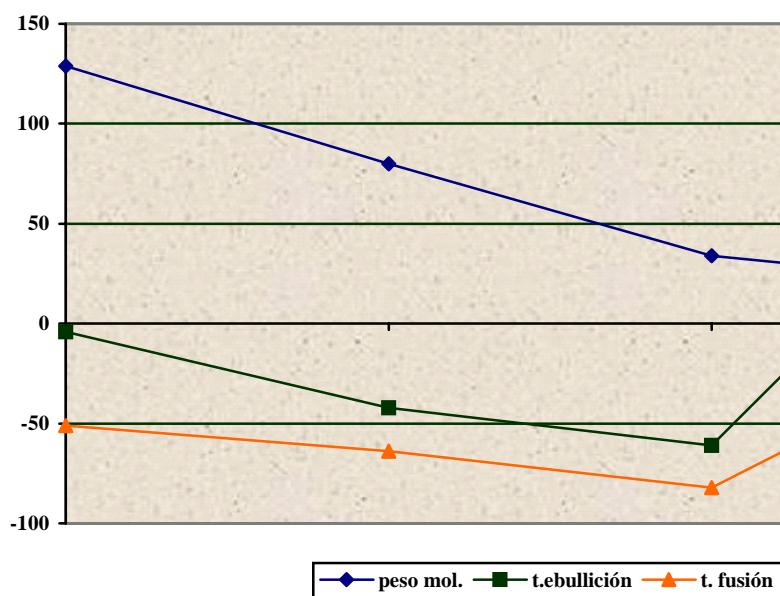
1.3.1. El agua: una sustancia poco común.⁽⁹⁾

Como compuesto químico, el agua presenta propiedades que se alejan de los compuestos que tienen una conformación molecular similar y sus características la hacen "especial" en su estudio porque:

- Es la única sustancia en estado natural que se presenta sobre la tierra, al mismo tiempo, bajo los tres estados: Sólido en los casquetes polares y nevados, líquido en los mares lagos y ríos, gaseoso como parte del aire se encuentra el vapor de agua.
- Su estructura molecular es análoga a la de las sustancias cuyas fórmulas moleculares son: H_2Te H_2Se H_2S H_2O y sin embargo se aleja de los valores esperados para sus temperaturas de fusión y ebullición:

Tabla 1-2. Propiedades esperadas del agua por comparación.

Sustancia	Peso molecular	Temp. Ebullición °C	Temp. Fusión °C
H_2Te	129	4	51
H_2Se	80	42	64
H_2S	34	- 61	82
H_2O	18	100	0



Los valores esperados serían:

- Temperatura de fusión - 95° C y
- Temperatura de ebullición - 80 ° C

- El volumen de las sustancias disminuye al enfriarse, pero el agua al llegar a 4°C se empieza a dilatar y a disminuir su densidad. A 0 °C ocurre una dilatación abrupta. Su volumen aumenta en una onceava parte al formar hielo. Se favorece así, la vida acuática en las épocas de invierno, ya que la capa de hielo por ser superficial no impide el desarrollo de los procesos biológicos, en los lagos y ríos.
- El agua tiene la tensión superficial más alta de todos los líquidos comunes. Por lo tanto tiene una gran capacidad erosiva.
- Tiene una gran capacidad de cohesión y se adhiere a la mayoría de las sustancias sólidas con que entra en contacto.

La combinación de la tensión superficial y la adherencia puede levantar una columna de agua, comportamiento que se conoce como **CAPILARIDAD** y se relaciona con la circulación del agua en los suelos y a través de las raíces y tallos de las plantas.

- Tiene capacidad de diluir muchas sustancias debido a su alto momento dipolar y a una alta constante dieléctrica

Es la sustancia que más se aproxima al solvente químico universal. Los lagos, ríos y mares son soluciones acuosas.

No se encuentra pura en la naturaleza.

Tabla 1-3. Propiedades del agua.

Temperatura	Densidad	Viscosidad absoluta	Viscosidad cinemática	Calor específico	Tensión superficial en aire
°C	gr/cm	Poises	stokes	Cal/gr	Dinas/cm
0	0.99987	0.01792	0.01792	1.0080	75.6
1	0.99993	0.01732	0.01732	1.0072	
2	0.99997	0.01674	0.01674	1.0064	
3	0.99999	0.01619	0.01619	1.0056	
4	1.00000	0.01568	0.01568	1.0049	
5	0.99999	0.01519	0.01519	1.0043	74.9
10	0.99973	0.01310	0.01310	1.0019	74.2
20	0.99823	0.01009	0.01010	0.9995	72.8
30	0.99568	0.00800	0.00804	0.9987	71.2
40				0.9987	69.56
50				0.9992	67.91
60				1.0001	
70				1.0013	
80				1.0029	
90				1.0050	
100				1.0076	58.9

Momento dipolar: 1.87 DEBYES

Constante dieléctrica: 80

1.4. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.

El agua natural es una solución de diversos compuestos que se van adhiriendo al agua de acuerdo a los procesos del ciclo hidrológico y que le dan un carácter diferente a las aguas naturales de acuerdo a la composición de los suelos, a su ubicación y a los procesos físicos y químicos que se realizan durante su paso. El agua posee entonces unas características variables que la hacen diferentes de acuerdo al sitio y al proceso de donde provenga, estas características se pueden medir y clasificar de acuerdo a:

Tabla 1-4. Características del agua.

FÍSICAS	Turbiedad, Color, Olor, Sabor, Temperatura, Sólidos, Conductividad.
QUÍMICAS	pH, Dureza, Acidez/ alcalinidad, Fosfatos, sulfatos, Fe, Mn, Cloruros, Oxígeno disuelto, Grasas y/o aceites, Amoníaco, Hg. Ag. Pb. Zn. Cr. Cu. B.Cd. Ba. As., Nitratos, Pesticidas, etc.
BIOLÓGICAS Y MICROBIOLÓGICAS	Protozoarios (patógenos), Helmintos(patógenos), Coliformes fecales, Coliformes totales.

Las características propias de cada fuente de agua permiten su clasificación: agua potable, agua servida, agua residual industrial, aguas negras, etc.; permiten su uso: para consumo, riego, refrigeración, producción de vapor, como disolvente etc. y permiten su comparación en cuanto a la calidad que presenten para la misma aplicación.

El agua para consumo humano es la más estudiada de acuerdo a sus características, debido al impacto que tiene sobre la salud y después de investigar las causas de epidemias mundiales que fueron causadas por aguas contaminadas, devastando grandes centros urbanos, se llegan a plantear valores máximos permisibles de diferentes características.

Las investigaciones de la organización mundial de la salud han servido de base para manejar las normas de agua potable en los diferentes países y continúan siendo la guía para caracterización de las aguas. Se basan principalmente en la búsqueda de dosis letales de compuestos, orgánicos, inorgánicos, tóxicos y microorganismos que causen daño a la salud humana. Estas investigaciones se han realizado sobretodo en países en vía de desarrollo en los cuales los impactos son más evidentes.

1.4.1. Características físico-químicas de las aguas.

1.4.1.1. Características físicas.

Se miden en un agua los siguientes parámetros físicos:

Turbiedad, Color, Olor, Sabor, Temperatura, los Sólidos que contenga y la Conductividad específica.

1.4.1.1.1. Turbiedad.

Se aplica a las aguas que tienen materia suspendida y coloidal que interfiere con el paso de la luz a través del agua.

Es una medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través del agua.

1.1.4.1.1.1. Origen.

óxidos de hierro, de zinc, coloides, sólidos suspendidos.

En su mayoría provienen de arcillas de los suelos que conforman los lechos de los ríos.

Tabla 1-5. Principales tipos de Arcillas

Caolinitas	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8 + \text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_6)(\text{OH})_6$
Montmorilonita (bentonita)	$\text{Al}(\text{Mg})(\text{Si}_8\text{O}_{20})(\text{OH})_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
Ilita	$\text{K}_y\text{Al}_4(\text{Fe}_4\text{Mg}_4\text{Mg}_{16})(\text{Si}_6 \text{ Y Al}_y)\text{O}_{20}$
Moscovita	$\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20})(\text{OH})_4$

El tamaño de la partícula incide en la turbiedad, por la dificultad para sedimentar que presentan las partículas muy pequeñas especialmente los coloides, lo que se ilustra bien en la siguiente tabla⁽¹⁰⁾:

Tabla 1-6. Tamaño de partícula, área superficial y tiempo de sedimentación.

Diámetro de partícula mm.	Escala de tamaño.	Área superficial.	Tiempo de sedimentación.
10	Grava	3,15 cm ²	0,3 s
1	Arena Fina	31,50 cm ²	3 s
0,1	Arena Gruesa	315,00 cm ²	38 s
0,01	Sedimento	3150,00 cm ²	33 min
0,001	Bacteria	3,15 m ²	55 h
0,0001	Partícula Coloidal	31,50 m ²	230 días
0,00001	Partícula Coloidal	0,83 Ha	6,3 años
0,000001	Partícula Coloidal	2,83 Ha	63 años

1.1.4.1.1.2. Unidades de medida.

La turbiedad se mide en Jackson, que se utiliza actualmente sólo para calibración y patronamiento de modelos de turbidímetros.

Se relaciona en unidades nefelométricas de turbiedad o NTU.

Los turbidímetros se basan en el efecto Tyndall y el valor obtenido es función de la energía dispersada. Para calibrar los equipos se utiliza una solución inerte y cuantitativa de SiO₂. 1 mg/L de SiO₂ da una NTU de turbiedad.

1.1.4.1.1.3. Significado sanitario.

La turbiedad debe medirse y removerse por:

- Aspectos estéticos, la turbiedad es función de la contaminación del agua. Y no es aceptado un vaso de agua turbia para consumo humano.
- Aspectos económicos, para evitar tratamientos caseros, filtraciones y tiempos de sedimentación altos.
- Para facilitar la desinfección. Para cloración se debe tener una turbiedad menor de 1 NTU.
- Aspectos ecológicos. La turbiedad impide la fotosíntesis.
- Eficiencia de los procesos de tratamiento. Es un indicador de las operaciones de tratamiento efectuadas al agua, sobretodo en agua potable.

1.4.1.1.2. Color.

Es, en importancia, el segundo parámetro físico-químico del agua, y aunque está ligado a la turbiedad puede presentarse como una característica independiente.

- **Color verdadero o color real:** es debido a sustancias en solución. Se mide después de retirar la turbiedad por centrifugación, o sea después de retirar las sustancias suspendidas.
- **Color aparente:** incluye la turbiedad, o sea que se mide el color debido a sustancias en solución y en suspensión.

1.1.4.1.2.1. Origen.

Proviene de la disolución de materiales vegetales o minerales; debido a la presencia de materia orgánica en proceso de descomposición, como lignina y taninos; a óxidos de hierro, zinc y manganeso; a excretas de organismos vivos, algas verdes o verde-azules. El color está ligado a problemas de contaminación.

1.1.4.1.2.2. Unidades de medida.

Se mide en mg/L de Pt/Co. La intensidad del color es proporcional al platino. El Cobalto forma el complejo que permite medir el color.

Se mide por comparación visual con soluciones stock de color. Para esto se disuelven 1,246 gr. de cloroplatinato de potasio más 1 gr. de cloruro cobaltoso en 100 ml de HCl concentrado, lleva a un litro con agua destilada. La solución tiene por definición 500 unidades de color.

Se puede medir en Colorímetros, espectrofotómetros de luz visible con una curva patrón.

Se puede medir en tubos de Nessler, por comparación, sobre gradillas con una base blanca dispuesta en un ángulo a 45°.

El color aumenta con el aumento del pH.

1.1.4.1.2.3. Significado sanitario.

El mismo de la turbiedad.

El agua de consumo humano debe tener menos de 75 unidades de color.

1.1.4.1.2.4. Remoción.

Por oxidación (con permanganato), por coagulación, por paso a través de lechos de carbón activado, por filtración con antracita.

1.4.1.1.3. Olor y sabor.

Están íntimamente relacionados: " a lo que huele, sabe".

1.1.4.1.3.1. Origen.

Entre los orígenes más comunes se encuentran: la materia orgánica en solución, el ácido sulfhídrico: H_2S , el cloruro de sodio o sal de cocina $NaCl$, sulfatos de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos etc.

Los olores son más fuertes a temperaturas altas.

1.1.4.1.3.2. Unidades de medida.

Se miden por el No. Detectable de olor y

El No. Detectable de sabor.

La relación que existe entre 200 y los mililitros de agua problema que es necesario diluir a 200 con agua libre de olor y sabor, para percibir la primera traza de olor o sabor.

Actúan sobre el olfato y el gusto y su medición se realiza por cateo, con base en el manejo estadístico de los resultados.

1.1.4.1.3.3. Significado sanitario.

- Es una medida de la calidad del agua. Para evitar rechazos de los consumidores debe estar exenta de color y sabor.
- Por razones estéticas
- Como indicadores de contaminación, deben ser removidas las sustancias que los generan.

1.4.1.1.4. Temperatura.

Una corriente puede cambiar su temperatura por efectos climáticos naturales o por la introducción de desechos industriales.

Es importante porque actúa sobre procesos como la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, y por los cambios de viscosidad en los procesos de tratamiento, como desinfección por cloro, filtración, floculación, sedimentación y ablandamiento.

1.4.1.1.5. Sólidos.

Como materia sólida se clasifica toda la materia, excepto el agua, contenida en los materiales líquidos.

En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad de materia sólida contenida en una gran cantidad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas poluídas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento.

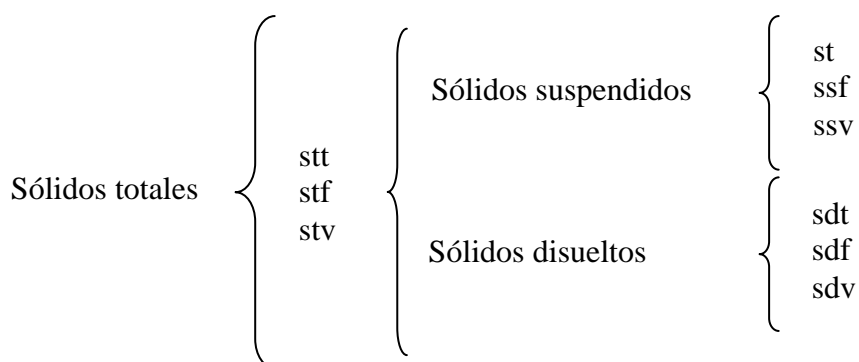
- **Sólidos totales:** los que permanecen como residuo después de haber secado a 103° C. Incluye el material disuelto y el suspendido. $ST = SS + SD$
- **Sólidos suspendidos:** residuo no filtrable o material no disuelto.
- **Sólidos disueltos:** son el residuo filtrable.

Sólidos volátiles: es lo que se pierde después de una calcinación a 600°C.

Se interpretan en términos de materia orgánica.

Sólidos fijos: es el residuo después de la calcinación.

Representan la materia inorgánica presente en la muestra estudiada.



- **Sólidos sedimentables:** el volumen de sólidos que sedimenta en una hora por cada litro de muestra, en un cono de Imhoff.
- **Unidades de medida.**
Se reportan como mg/ L de sólidos

St: 100-500 ml de muestra + Δ 103 °C \longrightarrow W cte \longrightarrow Δ 600 °C \longrightarrow W cte.

Ss: 100-500 ml de muestra + filtrar en crisol gooch con papel de filtro Whatman No. 40 Δ \longrightarrow 103 °C \longrightarrow W cte \longrightarrow Δ 600 °C \longrightarrow W cte.

Los sólidos disueltos, Sd, se calculan por diferencia o se somete el filtrado de los sólidos suspendidos a igual procedimiento de calentamiento o secado y calcinación.

Las cápsulas y los crisoles deben estar previamente pesados, hasta peso constante, después de calcinar a 600 ° C durante una hora, dado que la porcelana es higroscópica.

1.4.1.1.6. Conductividad

La conductividad específica de un agua es la medida de la habilidad para transportar una corriente eléctrica, varía con el tipo y cantidad de iones que contenga.

$$E = I R \quad R = \rho l/A \quad K = 1/l \quad \rho = \text{resistencia específica. Ohm-cm}$$
$$K = 1/\text{ohm-cm} = \text{mho/cm}$$

Depende de la temperatura. Una solución 0.01 N de KCl tiene una conductividad específica de 1411.8 micromoho/cm a 25°C.

Es una medida de los sólidos disueltos contenidos en el agua:

$$SD = C K_s \quad \text{donde: } C = \text{cte empírica que varía entre 0.55 y 0.9.}$$

Se toma como 0.7 generalmente en los análisis de caracterización.

Cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad, y por ello el valor de la conductividad es muy usado en el análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

Los conductímetros miden en $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C con errores menores a 1%, la conductividad eléctrica de la muestra medida entre caras opuestas de un cubo de 1 centímetro.

1.4.1.2. Características químicas.

Entre los múltiples parámetros químicos que se pueden determinar en las aguas los principales son: pH, dureza, sulfatos, acidez, cloruros, Hierro, alcalinidad, fosfatos, Manganeseo, Amonio, agentes oxidantes, aceites y grasas, Arsénico, Bario, Boro, Cadmio, Cromo, Cobre, Cianuros, fenoles, fluoruros, Mercurio, nitratos, Oxígeno disuelto, pesticidas, Plata, Plomo, Zinc, y otros elementos y sustancias que puedan estar contenidas en las aguas.

1.4.1.2.1. pH

Es una forma de expresar la concentración de iones Hidrógeno $[H^+]$ o más exactamente de su actividad. Se usa universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución.

$$pH = -\log [H^+] \quad pH = \log 1/[H^+]$$

La escala va de 0 hasta 14 y 7 representa la neutralidad.

Concentraciones excesivas de H^+ afectan el agua en algunos de sus usos y por esta razón es una medida de polución en potencia.

El pH es el que controla el grado de disociación de muchas sustancias. No debe confundirse con la acidez o la alcalinidad.

La presencia de carbonatos, fosfatos y de iones similares dan al agua un poder bufferizante y entonces la adición al agua de un ácido o de una base en tales condiciones no causa mayor efecto en el pH.

1.1.4.2.1.1. Significado sanitario

- El pH es importante en el proceso de potabilización del agua sobretodo en:
 - La Coagulación. Hay un valor de pH para el cual el proceso es más eficiente.
 - La Desinfección. La reacción del hipoclorito adiciona iones H^+ , disminuyendo el pH
$$HOCl \longrightarrow 2 H^+ + OCl^-$$
- la suavización o ablandamiento se controla con pH.
- es vital en los procesos aerobios y anaerobios.
- Se debe controlar en las marchas analíticas.
- Es importante en los procesos de estabilización: es Corrosiva si disuelve metales y es Incrustante si precipita metales El agua debe ser estable, para lo cual se usa el índice de Langelier: $I = pH - pH_{saturación}$.

1.4.1.2.2. A c i d e z

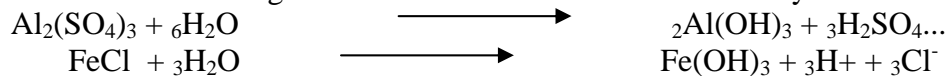
La acidez de un agua es su capacidad para donar protones.

1.1.4.2.2.1. Origen.

- 1- porciones ionizadas de ácidos débiles tales como gas carbónico, ácido tánico, ácido fosfórico, ácidos grasos y compuestos proteicos.



- 2 – sales hidrolizables de algunos metales como sulfato de aluminio y sulfato ferrosos



- 3 - ácidos minerales, cuando el pH es bajo, muestra presencia de ácidos minerales fuertes como: HCl , H_2SO_4 , HNO_3 .

El CO₂ es el principal causante de la acidez en aguas naturales, se introduce de la atmósfera cuando la presión parcial del CO₂ en el aire es mayor que la presión parcial del CO₂ en el agua.

/-- a. mineral ---- /-- CO₂ + S.h.---/

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

pH = 4.3 cambio del metil naranja

pH = 8.5 cambio de la fenolftaleína

En la curva de titulación del ácido carbónico, la neutralización o punto final estequiométrico sólo se obtiene cuando pH = 8,5 por lo tanto TODAS LAS AGUAS CON pH POR DEBAJO DE 8,5 PRESENTAN ACIDEZ.

No se puede confundir pH con acidez; ésta puede ser mayor en soluciones de pH=7 que en soluciones de pH= 6, por ejemplo.

1.1.4.2.2. Unidades de medida

Se expresa en mgr de CaCO₃/L

Se titula un volumen específico de la muestra con NaOH 0,1N.

pH= 4.3 A.M.= acidez mineral (3)

pH= 8,5 F = A.M. + CO₂ + S.H. (1+2+3)

pH=8,5 Fcaliente= A.M. + S.H. (3+2)

F - Fcaliente= CO₂ (1+2+3-3-2=1)

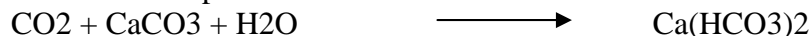
Fcaliente - A.M.=S.H. (3+2-3=2)

1.4.1.2.3. Alcalinidad

Se define como el poder de una solución para neutralizar los iones H⁺ y se debe primordialmente a las sales de los ácidos débiles, tales como carbonatos, bicarbonatos, boratos, silicatos y fosfatos, y unos pocos ácidos orgánicos que son muy resistentes a la oxidación biológica (ácidos húmicos) y llegan a formar sales que contribuyen a la alcalinidad total.

La alcalinidad debida a hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos es tan alta que hace despreciable la contribución de otros materiales.

Los bicarbonatos representan las mayores formas de alcalinidad porque se forman en cantidades considerables por la acidez del CO₂ sobre los materiales ácidos del suelo:

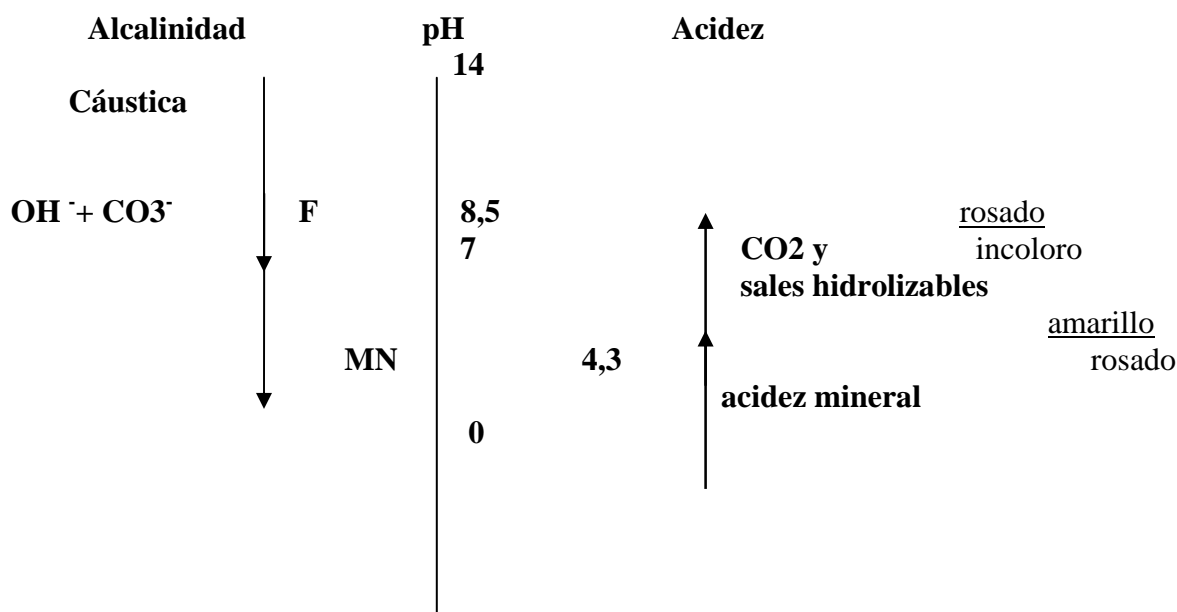


No se considera que la alcalinidad cause daño al hombre, pero se encuentra asociada al pH, la dureza y los sólidos disueltos que si pueden producir efectos deletéreos.

La alcalinidad se controla en los procesos de: coagulación, ablandamiento, estabilización, procesos biológicos y en el tratamiento de residuos industriales ácidos ó básicos.

Se mide en mg de CaCO_3/L , titulando la muestra con HCl 0,1N con fenolftaleína ($\text{pH}=8.5$) y con naranja de metilo ($\text{pH}=4.3$).

1.4.1.2.4. Relación entre pH, alcalinidad y acidez:



1.4.1.2.5. Dureza

El agua dura es la que requiere mucho jabón para ejercer su acción limpiadora, formando incrustaciones cuando se eleva la temperatura.

El agua blanda necesita más agua para retirar el jabón, disuelve el CO_2 y corroe.

"Ni tan blanda que corroa ni tan dura que incruste".

1.1.4.2.5.1. Origen.

Presencia de iones metálicos divalentes Ca^{++} , Mg^{++} , Sr^{++} , Fe^{++} , Mn^{++} .

Dureza Total = Dureza Ca + Dureza Mg .

1.1.4.2.5.2. Clasificación.

0 - 75 mg de CaCO_3/L	blandas
75 - 150 mg de CaCO_3/L	moderadamente duras
150 - 300 mg de CaCO_3/L	duras
> 300 mg de CaCO_3/L	muy duras

DC: dureza carbonácea equivale a la alcalinidad de los bicarbonatos.



DNC: Es la debida a sulfatos, nitratos o cloruros:



DT: dureza total

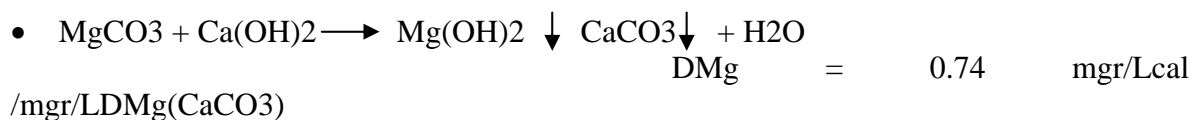
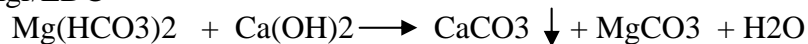
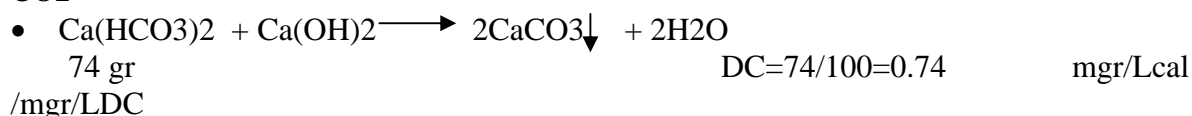
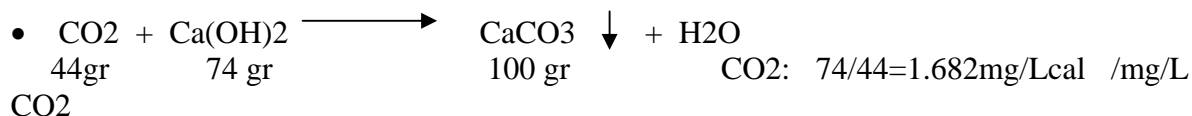
Sí la $DT > \text{alcalinidad}$, entonces, la $DC = \text{alcalinidad}$ y la $DNC = DT - DC$

Si la $DT < \text{alcalinidad}$, entonces la $DT = DC$ y la $DNC = 0$

1.1.4.2.5.3. Remoción.

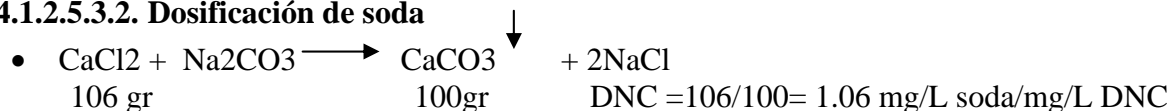
La remoción de la dureza o proceso de ablandamiento o de suavización, se realiza con cal para remover la dureza carbonácea y con soda para retirar la dureza no carbonácea.

1.4.1.2.5.3.1. Dosificación de cal



- Se adiciona un exceso para compensar las impurezas de los reactivos y la elevación del pH para precipitar el Magnesio. Exceso = 50 mg/L de cal

1.4.1.2.5.3.2. Dosificación de soda



- exceso = 50 mgr / L soda

1.4.1.2.6. Oxígeno disuelto.⁽¹⁾

Todos los gases de la atmósfera son solubles en agua en algún grado. El oxígeno es pobremente soluble y no reacciona químicamente con el agua.

La cantidad de oxígeno que está en el agua se denomina oxígeno disuelto. La solubilidad es directamente proporcional a la presión parcial.

La ley de Henry puede utilizarse para calcular la cantidad de O₂ presente en condiciones de saturación y a una temperatura dada:

$$C_{eq} = \alpha p_{gas} \quad \alpha_{O_2 \text{ a } 20^\circ C} = 43.8 \text{ mgr / L-atm}$$

La solubilidad disminuye con la salinidad. En aguas frescas la concentración de OD fluctúa entre 14.6 mg/L a 0°C y 7 mg/L a 35°C, cuando la presión atmosférica es de una atmósfera.

1.1.4.2.6.1. Significado sanitario

- El OD se utiliza para el control de la contaminación en aguas naturales, las cuales deben tener condiciones favorables para el crecimiento y reproducción de la población de peces y organismos acuáticos, suministrando niveles de oxígeno suficientes y permanentes.
- Se mide para asegurar las condiciones aerobias de un tratamiento.
- Los cambios biológicos producidos en un residuo líquido se conocen por la concentración de oxígeno disuelto.
- sirve como base para calcular la DBO.
- Es un factor de corrosión del hierro y el acero y se controla o elimina en sistemas de distribución de agua y vapor.

1.1.4.2.6.2. Unidades de medida

mgrO₂/ L analíticamente se mide por el método de Winkler o yodimétrico. También por electrodos específicos.

1.4.1.2.7. Fosfatos

El Fósforo con el Nitrógeno son considerados como nutrientes esenciales para los organismos que toman parte de los procesos biológicos de las aguas naturales, de las aguas negras y de los tratamientos de desechos industriales; lo necesitan para reproducción y síntesis de nuevos tejidos celulares.

Son de interés para fines sanitarios los fosfatos o sus formas moleculares hidratadas o los polifosfatos.

1.4.1.2.8. Sulfatos

El ion sulfato es uno de los que se presenta en mayor cantidad en aguas naturales. Todas las aguas naturales contienen sulfatos que provienen de yeso y minerales similares. Resultan también de la oxidación de sulfuros, sulfitos o tiosulfatos de los suelos.

Su determinación es importante porque produce efectos característicos sobre las personas cuando su concentración es alta.

Causa problemas en el mantenimiento y tratamiento de aguas.

1.4.1.2.9. Hierro y Manganeseo

Sus óxidos abundan en la naturaleza en forma de minerales y como parte constituyente de las arcillas y limos. Las formas oxidadas son insolubles en agua y las reducidas (ferrosa y manganosa) son solubles.

Los compuestos férricos y mangánicos que predominan en las aguas son insolubles e incorporan los iones metálicos al agua en forma de bicarbonatos ferroso y manganoso, causado por una doble acción química y biológica.

Cuando se analiza hierro se debe especificar si el contenido es en suspensión, en solución o es el Hierro total.

1.5. USOS DEL AGUA

El hombre utiliza el agua para la producción agrícola, la producción industrial y para consumo o uso doméstico. Para 1978 los consumos por uso en el mundo eran de:

Tabla 1-7. Usos y cantidades anuales de agua. 1978.

Uso	Cantidad (Km ³ / año)	%
Agrícola	2800	88
Industrial	230	6.6
Doméstico	170	5.4

A pesar de que el agua para consumo es la de menor demanda, el 70 % de la población mundial no cuenta con agua salubre y menos potable en cantidades adecuadas. 25.000 personas mueren diariamente por enfermedades propagadas por agua insalubre como: malaria, tifo, disentería, hepatitis, cólera, etc., sobretodo en países en vía de desarrollo donde los tratamientos de potabilización no cubren a toda la población y muchas veces son deficientes por falta de monitoreo de las plantas municipales.

El 90 % de las enfermedades infantiles se originan en aguas insalubres.

La industria utiliza aproximadamente, 230.000 millones de metros cúbicos por año, de los cuales 180.000 millones terminan contaminados y contaminan a su vez 25 veces su propio volumen.

La agricultura depende del agua para abastecer los alimentos de la población y de la ganadería y su consumo se ha visto disminuído por las campañas que sobre este aspecto realizan las organizaciones mundiales y los gobiernos de los distintos países.

En el país, el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de salud de Colombia contempla en el capítulo III "La destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas, estuarinas y servidas."

El artículo 29 maneja como usos del agua:

- a) Consumo humano y doméstico
 - b) Preservación de flora y fauna
 - c) Agrícola
 - d) Pecuario
 - e) Recreativo
 - f) Industrial
 - g) Transporte
- Otros como: - asimilación y dilución de vertimientos
- uso estético.

Cada uso contemplado en el Decreto tiene unos niveles de calidad mínimos basados en las características más influyentes, que orientan a las autoridades ambientales en la concesión de las aguas y en autorización para abastecimientos. Permiten también al usuario adecuar los recursos a los diversos usos.

Para que una corriente de agua pueda utilizarse en el transporte y dilución de vertimientos, éste uso debe ser declarado oficialmente por la autoridad ambiental. A pesar de esto, todas las ciudades colombianas descolan las aguas domésticas en quebradas y cuerpos de agua que pasan cerca a sus zonas urbanas. Colombia apenas inicia un manejo de sus aguas residuales municipales con las plantas de Bucaramanga, Medellín y la reciente inaugurada en Bogotá.

El uso agrícola es tan intenso que, como ejemplo, en el beneficio del café se utilizaba, hasta hace unos años, 40 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco que se producía en la zona cafetera, donde se llegan a producir varios millones de toneladas/año, el plan educativo de los cafeteros está disminuyendo el agua de lavado de café hasta sólo cuatro litros de agua/kg café p.s. en los beneficiaderos ecológicos.

1.6. CALIDAD DEL AGUA.

Los valores que alcancen las diferentes características del agua la hacen propia para determinado uso y le imprimen una calidad específica que le permiten una clasificación. Estas características de calidad que deben alcanzar las aguas según el uso, llevan a manejar diferentes tratamientos de adecuación para alcanzar los valores propios.

La calidad de las aguas en el país esta regida en sus valores mínimos para cada uso, de acuerdo al Decreto 1594/84 y para agua potable se establecen los valores permitidos mínimos en el Decreto 475/98.

1.7. Legislación colombiana - parte agua

Colombia maneja una de las legislaciones más completas y exigentes en el panorama mundial en lo que se refiere a la parte ambiental. Esta legislación que arranca desde 1974 se desarrolla con base en los códigos nacionales de recursos renovables y a partir de allí se desprenden los diferentes aspectos que tienen que ver con las entidades encargadas de los manejos, las empresas de servicios públicos, la descentralización y la función municipal frente a los usos de los recursos, toda la legislación tarifaria y la base de los impuestos en esta materia. A partir de 1993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente y la parte agua que venía manejada por el Ministerio de Salud es acogida por el nuevo ministerio.

Desde el punto de vista de calidad de agua se podría resumir esta legislación en los siguientes decretos-ley:

Decreto 2811 de 1974	Código nacional de recursos renovables y Plan de manejo ambiental.
Ley 9ª de 1979	medidas sanitarias.
Decreto 2104 de 1983	Reglamenta el D. 2811 y la ley 9ª en recursos sólidos.
Decreto 2105 de 1983	Reglamenta Potabilización del agua.
Decreto 1594 de 1984	Reglamenta el D. 2811 y la ley 9ª. Usos del agua y recursos líquidos.
Decreto 951 de 1989	Reglamento para servicios de acueducto y alcantarillado.
Decreto 1842 de 1991	Estatuto nacional de usuarios de servicios públicos domiciliarios.
Decreto 2167 de 1992	Reestructuración del departamento nacional de planeación y crea las comisiones reguladoras de servicios públicos.
Ley 60 de 1993	le da competencia a los municipios para agua potable.
Ley 99 de 1993	crea el ministerio del medio ambiente.
Resolución 02 de 1994	normas para servicio de aseo.
Ley 136 de 1994	modernización de los municipios.
Ley 142 de 1994	Régimen de servicios públicos domiciliarios.
Decreto 1524 de 1994	Delegación en la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico.
Resolución 08 de 1995	Criterios y metodología para determinación de tarifas por empresas de servicios Públicos.
Decreto 1429 de 1995	Conformación de comités para el control social. (ley 142/94).
Resolución 12 de 1995	Evaluación de resultados. Criterios- indicadores- características- moderadores.
Decreto 475 de 1998	Normas técnicas de calidad de agua potable.

Los decretos más importantes sobre el recurso agua desde el punto de vista de calidad son:

1.7.1. DECRETO 475 DE 1998 -

"Por el cual se dictan normas técnicas de calidad de el agua potable"

Tiene 56 artículos distribuidos en ocho capítulos.

Capítulo I - Definiciones.

Capítulo II - Disposiciones generales.

Capítulo III - Normas organolépticas, Físicas, Químicas y microbiológicas de la calidad de agua potable.

Capítulo IV - Otras disposiciones.

Capítulo V - Vigilancia de la calidad de agua potable.

Capítulo VI - Información y registro.

Capítulo VIII - Medidas de emergencia.

1.7.2. DECRETO 1594 DE 1984 -

"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 09 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 2811 de 1974 en cuanto a usos del Agua y residuos líquidos".

Capítulo I - Definiciones.

Capítulo II - Del ordenamiento del recurso.

Capítulo III - de la destinación genérica de las aguas.

Capítulo IV - de los criterios de calidad para la destinación.

Capítulo V - de las concesiones y de las normas de vertimiento.

Capítulo VII - de los registros de los vertimientos.

Capítulo VIII - De la obtención de los permisos de vertimiento y de los planes de cumplimiento para usuarios existentes.

Capítulo IX - De los permisos de vertimiento y autorizaciones sanitarias.

Capítulo X - De las autorizaciones sanitarias. Disposiciones Generales.

Capítulo XI - De los procedimientos para la modificación de normas de vertimiento, y criterios de calidad.

Capítulo XII - De las tasas retributivas.

Capítulo XIII - de los estudios de efecto ambiental.

Capítulo XIV - de los métodos de análisis y de la toma de muestras.

Capítulo XV - De la vigilancia y control.

Capítulo XVI - De las medidas sanitarias, las sanciones y los procedimientos.

Estos decretos son la base para que las Entidades de manejo ambiental - EMAR- que en la actualidad son las Corporaciones Regionales Autónomas, vigilen y controlen el uso y la calidad de las aguas en el país.

Las plantas de potabilización de agua en los municipios tienen concesiones específicas para tomar parte del caudal de las cuencas y de acuerdo a las características del agua al entrar a la planta, se realizan las dosificaciones y se plantean los tratamientos más adecuados. La medición de características como turbiedad, color y alcalinidad son fundamentales para conocer el grado de calidad y la exigencia en los tratamientos de agua potable.

Una vez terminado el paso del agua por las distintas unidades de tratamiento, se almacena y se mide la calidad del agua que será suministrada a la población. Esta calidad es controlada en cada municipio y los Servicios de Salud certifican la calidad y el seguimiento que se hace de acuerdo a lo recomendado en el decreto 475/98.

Los valores mínimos para una agua potable se consignan en el decreto y son:

Art. 7 los criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

Tabla 1-8. Criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable.

CARACTERISTICAS	EXPRESADAS EN	VALOR ADMISIBLE
Color verdadero	Unidades de platino cobalto (UPC)	≤ 15
Olor y sabor		Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)	≤ 5
Sólidos totales	Mg/L	≤ 500
Conductividad	Micromhos/cm	50 – 1000
Sustancias flotantes	-	Ausentes

Art. 8 Los criterios químicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

a) criterios para elementos y compuestos químicos, diferentes a los plaguicidas y otras sustancias, que al sobrepasar los valores establecidos tienen reconocido efecto adverso en la salud humana:

se plantean 23 elementos o sustancias y se manejan los valores admisibles, por ejemplo las grasas y aceites deben estar ausentes.

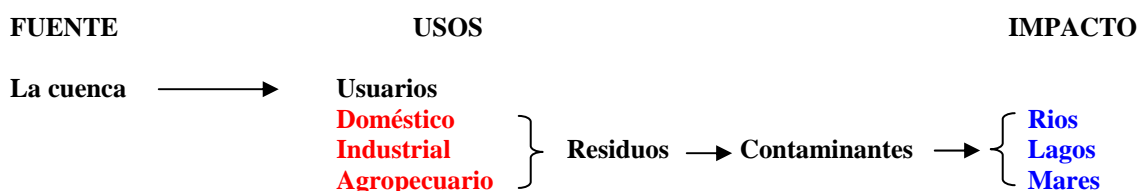
b) Criterios de calidad química para características con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud:

Se manejan 13 características con sus respectivos valores admisibles, reunidas de acuerdo a las sustancias que deben removerse en las plantas de agua potable. Para la dureza total, por ejemplo el valor admisible es de 160 mg/L expresada como CaCO_3 .

Artículo 9. El valor admisible del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución de agua potable, deberá estar comprendido entre 0.2 y 1.0 mg/litro.

Artículo 26. Ninguna muestra de agua potable debe contener E-coli en 100 cc. de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

1.8. LA CONTAMINACIÓN



1.8.1. Origen:

Lluvia: Arrastra partículas sólidas, gases.

Riego y lavado público: además de las que trae el agua lluvia, arrastra sólidos y detergentes.

Aguas domésticas:

- Lavado: arenas, partículas orgánicas, de cerámica, papel, detergentes, grasas, minerales, hidrocarburos, etc.
- De cocina: materia orgánica, residuos vegetales, grasas, aceites, detergentes.
- Residuos fecales: celulosa, proteínas, lípidos, con una composición general: 30% de nitrógeno, 3% ácido fosfórico, 6% de óxido de potasio. Microorganismos Coliformes: 260 millones de organismos Coliformes totales/habitante-día.

Industriales:

Contaminantes físicos: calor.

Materiales en suspensión: partículas, sales, óxidos metálicos, carbón, suspensión de arcillas, o aceites

Materiales en disolución: ácidos y bases, derivados de metales, cianuros, compuestos de azufre, sales de plomo, fósforo, cloruros etc.

Agropecuarias:

Detergentes y sales, hidrocarburos y derivados, aceites minerales, grasas, colorantes, taninos, sulfuros, lejías.

1.8.2. Fuentes contaminantes.

Las fuentes de contaminación de una corriente hídrica pueden clasificarse de acuerdo a su forma de llegada a ésta, así:

PUNTUALES: Se identifica el punto de descarga.

Por ejemplo efluentes industriales o de plantas de tratamiento que descolan a través de tubería o cámaras.

NO PUNTUALES: no se puede saber el punto de descarga. Por ejemplo las escurrientías, que puede tener distinto origen así.

- atmosféricas: lluvias ácidas. $\text{SO}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
 $\text{CO}_2 \longrightarrow \text{HCO}$

- Forestal: humus, 90% COT, solubles a pH básico. Á. Fúlvico. produce color, sólidos solubles y precursores de trihalometanos.

- agrícola: sólidos, herbicidas, pesticidas, N, P.

- aguas subterráneas: contaminan si hay derrames, por ejemplo de hidrocarburos.

1.8.3. Clases de contaminantes.

Los contaminantes se clasifican de acuerdo a sus características en:

Inorgánicos, Orgánicos, Biológicos, Radiológicos.

1.8.4. Tipos de contaminantes.

- **Conservativos.** Prevalecen en la fuente receptora. Se afectan por dilución. Sólidos disueltos o cloruros.

- **No conservativos.** Se degradan, $\delta C/\delta t = -K C$. microorganismos, temperatura, contaminantes Radiológicos.

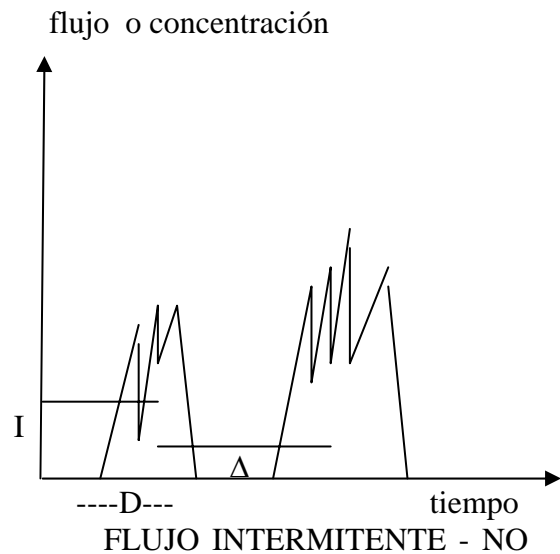
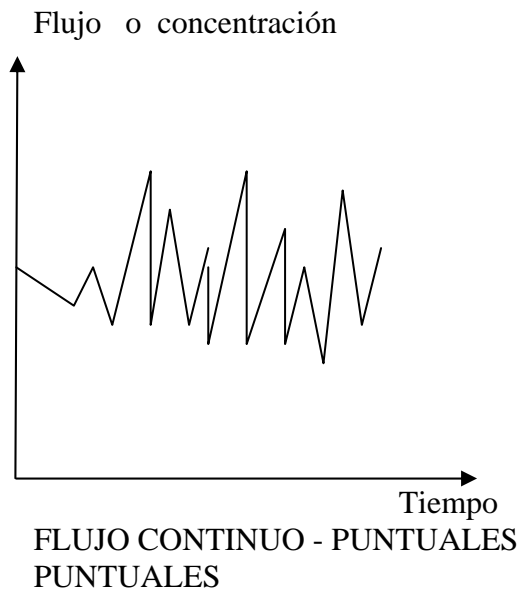
1.8.5. Cargas contaminantes

La cantidad de un contaminante debe evaluarse para su manejo y control, su carga dependerá de la concentración y el caudal de vertido que se genere, y depende de la fuente de donde provenga.

- Fuentes con flujo continuo.

$$W = Q C$$

Donde: **W:** carga cont. [M/T] K/día
Q: caudal. [V/T] M³/min.
C: concentración cont. [M/V] mgr./L



- Fuentes no puntuales. Flujo intermitente:
 Carga durante la escurrentía

$$Q_c = C I A$$

Donde: I= intensidad [L/T] cm/hora Qc=caudal [L/T] L/s
 C= coeficiente volumétrico de la escurrentia.

A= área que cubre la escurrentía [L²] m²

$$W_e = Q_c C$$

Carga promedia diferida: $W_p = W_e D/\Delta$

D= duración del evento. [T] Horas. Δ = intervalo entre eventos. [T] horas.

Las condiciones medias corresponden a un análisis estadístico.

1.8.6. Control de contaminación.

El artículo 72 del decreto 1594/84 y el 73 del mismo decreto contemplan las normas de vertimiento a un cuerpo de agua o a un alcantarillado público, con base en los siguientes parámetros:

pH	5 - 9	
Temperatura	$\leq 40^{\circ}\text{C}$	
Material flotante	ausente	
Grasas y/o aceites	remover 50% carga	
Sólidos suspendidos	remover 50-80% carga	
DBO ₅ ²⁰	remover 80% carga (usuarios nuevos)	
Ácidos, bases o soluciones básicas que puedan causar contaminación.	} ausentes en descargas a los Alcantarillados.	
Sustancias explosivas o inflamables		
Sólidos sedimentables		$\leq 10 \text{ mg/L}$

Para el ordenamiento del recurso se establecerán modelos de simulación de calidad y seguimiento periódico para obtener, por lo menos, la siguiente información:

DBO ₅ ²⁰	DQO	sólidos suspendidos
pH	temperatura	OD
Caudal	Coliformes	datos hidrobiológicos

El artículo 74 maneja las concentraciones para controlar las cargas de las sustancias de interés sanitario como As, Ba, Cd, Cu, Cr, fenol, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, CN⁻, Hg orgánico, etc.

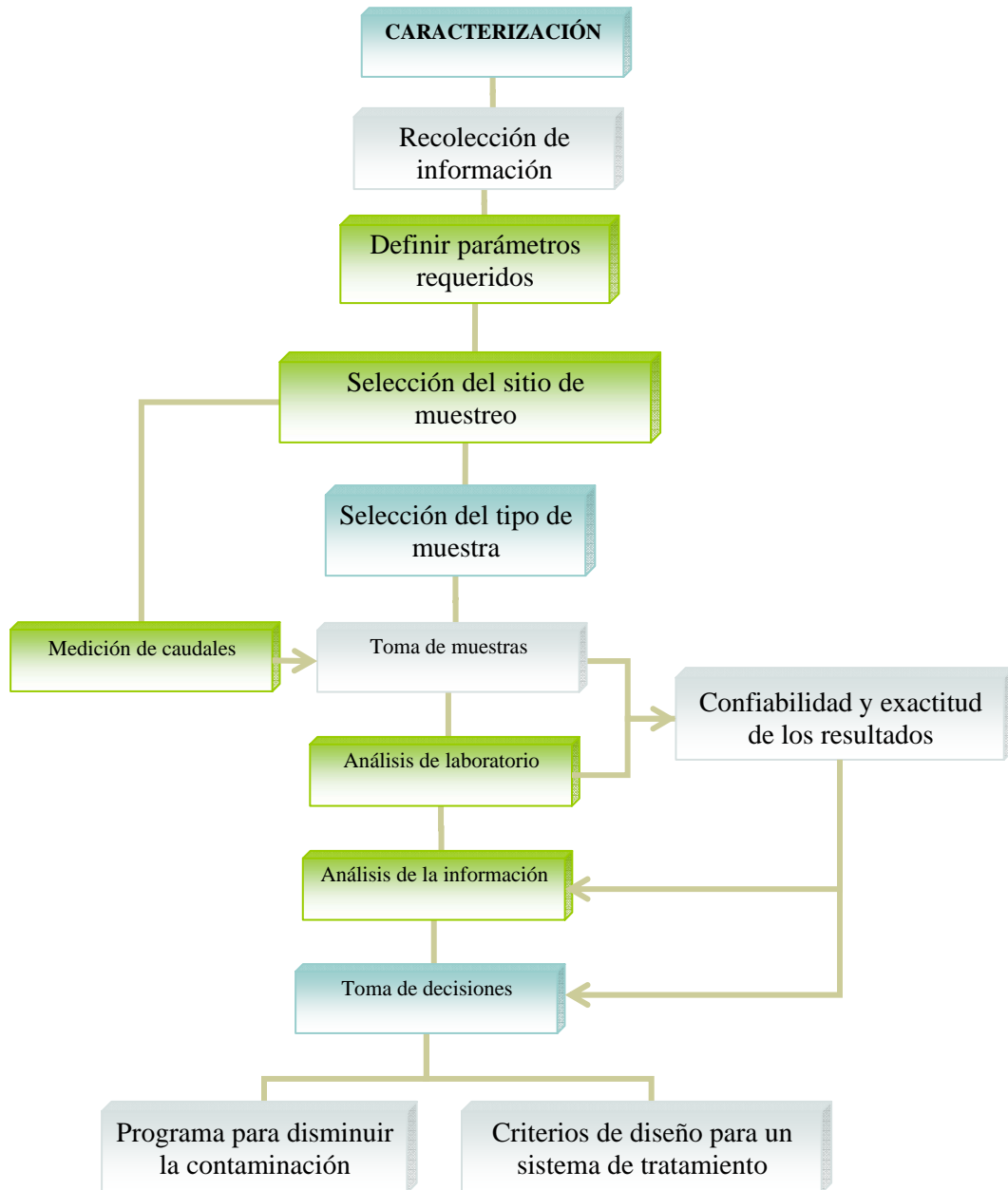
Las autoridades ambientales controlan la calidad de los vertimientos, en general, cada año y con base en las caracterizaciones se plantea un Plan de cumplimiento para adecuar los vertimientos a las calidades autorizadas por ley.

En la actualidad Colombia está manejando una política ambiental de pago por nivel de contaminación, generándose una tasa retributiva para cada usuario. Las tasas retributivas fueron establecidas en el Decreto 1594/84, pero sólo hasta hoy se inicia su reglamentación y cobro efectivo, por parte de las corporaciones autónomas regionales.

Tanto las empresas como los municipios han establecido plantas de tratamiento para sus aguas servidas, disminuyendo los montos de las tasas e iniciándose un proceso de recuperación de las fuentes de agua.

1.9. CARACTERIZACIÓN

Es la evaluación de la cantidad y la calidad de los constituyentes del agua, así como la evaluación de la variabilidad de estos constituyentes en el tiempo. Se sigue la siguiente secuencia de actividades⁽⁹⁾:



1.9.1. Programas de Caracterización.

Se adelanta un programa de caracterización para conocer las cargas y la calidad de un vertimiento, de ésta caracterización se deducen las tasas retributivas, para establecer programas de seguimiento y simulación de corrientes de agua y para los diseños de las plantas de tratamiento de aguas residuales o servidas. Por sus implicaciones un programa de caracterización debe incluir todos los aspectos que hagan que la información recogida sea exacta y adecuada para su utilización. Un programa de caracterización comprende:

1- recolección de información

a- factores que influyen en la calidad

- descargas o captaciones
- geografía de la región.
- topografía
- clima
- hidrología
- usos de la tierra
- urbanismo
- industrialización
- agricultura

b-usos del agua

- cantidad de agua requerida
- requerimientos de calidad

c- análisis efectuados con anterioridad

- registro de caudales

d-mapas de calidad y usos del agua

e- evaluación

- de factores que influyen en la calidad
- de necesidades de información para control y

f - planificación del muestreo

2 - selección de parámetros

categoría I. Parámetros conservativos.

Categoría II. No conservativos pero preservables

Categoría III. No conservativos y no preservables. (medir en el sitio).

3 - selección del sitio de muestreo

- Estudios preliminares áreas posibles
lugares donde es crítica la calidad
lugares donde las características son más significativas.
- Registro del sitio de muestreo: localización en mapas y en los formatos,
incluyendo localización y condiciones físicas del flujo.
- Requisitos: representatividad

- Medición de flujo
- Accesibilidad
- Distancia al laboratorio
- Seguridad
- Mezcla completa.

4 - Muestreo

- procedimiento específico para cada estación
- tener en cuenta la variabilidad. Al azar o cíclica.
- número de muestras: con base en la variabilidad y al nivel de confianza requerido.
- Tiempo de muestreo
- Frecuencia de muestreo
- Método de muestreo: manual o automático
- Tipo de muestras: - individuales o puntuales
- compuestas, con base en el espacio, o en el tiempo f (caudal)

$$V/n \cdot Q_m = v_i/Q_i$$
- recipientes.(revisar reacciones con el material).
- Cantidad de muestra. Se requieren dos litros.
- Cambios durante el transporte y el almacenamiento, químicos, físicos o biológicos.
- Preservación de las muestras.
- Aforo de caudales
- Equipo requerido para la toma de muestras

1.9.2. Medición de caudales

Para conocer el grado de contaminación de un residuo líquido es necesario además de la concentración de los distintos contaminantes, saber el caudal que lleva esa contaminación, así se puede calcular la carga contaminante de un vertimiento a un río o corriente de agua. Se requiere también para evaluar la calidad y los impactos sobre determinadas áreas y cuerpos de agua.

La mayoría de las mediciones de caudal se basan en que el caudal es el producto de una velocidad por una área transversal de flujo: $Q = v \cdot A$.

Dependiendo del tipo de vertimiento podemos tener distintos métodos de medir el caudal, así:

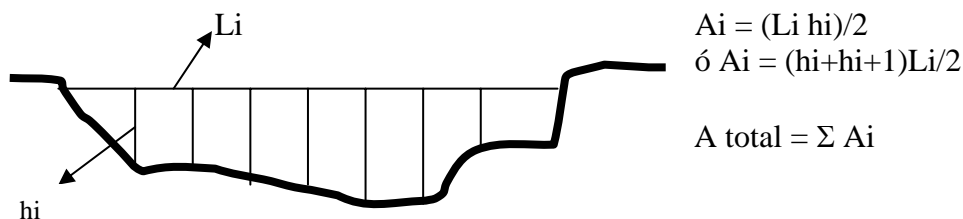
A- Canales Abiertos

- vertederos. Se calibran para conocer las constantes de la ecuación general y la relación altura de la cresta-caudal.
- flotadores.

- molinetes. Miden la velocidad en distintos puntos del canal o cuerpo de agua; así con el área transversal de flujo, sobre la cual actúa esta velocidad que se promedia, obtendremos la medida del caudal.

La velocidad se mide en el centro de la corriente a 2/3 de altura desde el suelo, con una hélice que marca las revoluciones en un tiempo dado, de acuerdo al flujo del fluido.

Se realizan por lo menos, tres medidas de tiempo y revoluciones en cada punto escogido. El área transversal se calcula de acuerdo a la forma del canal o lecho del río.



V_i de acuerdo a la fórmula de la hélice utilizada. $V_m = \sum V_i / i$

$$\text{Caudal} = A_{\text{total}} \times V_m$$

B- Descarga de tubos abiertos

- medir tiempo de descarga. Método volumétrico. Se mide el volumen recogido en un determinado tiempo, o el tiempo para recoger un determinado volumen. Debe realizarse por lo menos el promedio de tres mediciones en el mismo punto.
- orificio en el extremo del tubo. El cual debe estar calibrado para conocer la relación con el caudal que pasa.
- método de las coordenadas. Conociendo la forma de la cresta en sus ejes horizontal y vertical se puede inferir el caudal.

C- Métodos indirectos:

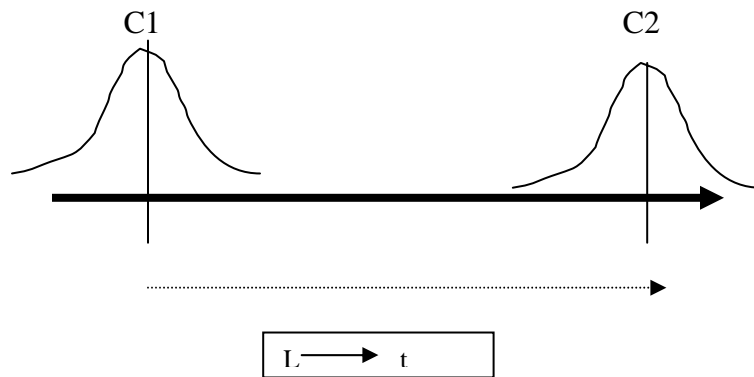
- Concentración de productos químicos. Llamada también prueba de trazadores, no es muy exacta pero permite conocer el caudal promedio en una longitud específica de una corriente o estructura civil.

Un trazador es una sustancia que sea soluble, compatible y que no reaccione con otros iones en la corriente, debe poderse analizar para conocer su concentración con facilidad. Se inyecta a flujo constante en la corriente o por medio de una descarga instantánea y luego se mide la concentración aguas abajo en un punto previamente escogido.

Se pueden utilizar como trazadores Rodamina al 20%, anilina, cloruro de sodio o color mineral.



$$Q(\text{galones/minuto}) = 2000 W / (C1 - C2)$$



- Medida de la temperatura. Permite conocer el caudal por medio de la variación de temperatura que produce un vertimiento en un cuerpo de agua.

Tabla 1-9. Promedio de las velocidades en determinados puntos de redes.

Velocidad de flujo	Ubicación
M/seg	
0.15-0.3	Por gravedad
0.3- 0.9	Entrada a bombas
1.2- 3.0	Salida de bombas
1.2- 2.4	Líneas de conducción

Tabla 1-10. Caudales para diferentes diámetros de tubería para $v = 1$ m/s.

Caudal en L/min sí $v = 1$ m/seg	Diámetro para $Sh = 40$
2.2	1/8"
11.8	1/2"
33.4	1"
129.9	2"
286.2	3"
492.8	4"
3053	10"