

Análisis químico del agua

Los analistas ambientales necesitan conocer la naturaleza y las cantidades de los contaminantes y de otras especies químicas en el agua, el aire, el suelo y los sistemas biológicos. Por consiguiente, las técnicas modernas de análisis químico, empleadas adecuadamente, son esenciales para la química ambiental y demás áreas afines. La evolución de la química analítica se ha caracterizado por el desarrollo de nuevas y mejores técnicas de análisis que permiten la determinación de niveles mucho más bajos de especies químicas y un incremento notable del número de datos a obtener.

En el anexo 2 se resumen los principales parámetros químicos que se determinan normalmente en el agua. Además de estos, puede determinarse la concentración de otros solutos, especialmente contaminantes orgánicos específicos, en relación con los riesgos sobre la salud específicos o incidentes de contaminación (Manahan, 2011).

Figura 8. Montaje de titulación volumétrica



Fuente: imagen tomada de <http://med.se-todo.com/himiya/3905/index.html>

Análisis volumétrico en aguas

La volumetría es un método en el que la señal es el volumen. Los métodos volumétricos se clasifican en cuatro grupos, según el tipo de reacción implicada. Estos grupos son las valoraciones ácido-base, en las que un ácido o base, agente valorante¹⁰, reacciona con un analito que es una base o un ácido; las valoraciones complexométricas (por formación de complejos) en las que interviene una reacción de complejación metal-ligando; las valoraciones redox, en las que el agente valorante es un agente oxidante o reductor y las valoraciones de precipitación, en las que el analito y el agente valorante reaccionan para formar un precipitado (Harvey, 2002).

Las aplicaciones de los métodos volumétricos en los análisis de la calidad del agua son, por ejemplo: la determinación de la acidez y alcalinidad del agua, que se basa en valoraciones ácido-base; la determinación de la dureza del agua, a partir de valoraciones complexométricas; la determinación de cloruros mediante valoración de precipitación, y la valoración de redox en la determinación de cloruro residual.

Calibración y estandarización

Los analistas químicos distinguen entre calibración y estandarización. La calibración garantiza que el equipo o los instrumentos utilizados para medir la señal¹¹ funcionen correctamente, lo que se comprueba utilizando una referencia conocida que produce una señal exacta.

La estandarización es el proceso por el que se determina experimentalmente la relación entre la señal y la cantidad de analito. En los métodos de análisis total, la estandarización suele definirse por la estequiometría de las reacciones químicas responsables de la señal. Sin embargo, en los métodos de concentración la relación entre la señal y

10 Reactivo añadido a una disolución que contiene el analito y cuyo volumen proporciona la señal.

11 Medida experimental que es proporcional a la cantidad de analito existente en una muestra, arrojada por un equipo instrumental.

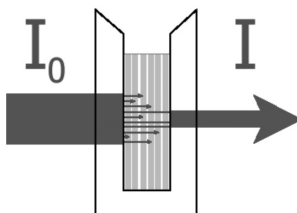
la concentración del analito es una función teórica que no puede calcularse sin mediciones experimentales (Harvey, 2002).

En las determinaciones de los parámetros químicos de la calidad del agua por métodos instrumentales, tales como la espectroscopia o fotometría, se requiere de la calibración del equipo para tener una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos. En la estandarización del método empleado se mide la señal de varias referencias, es decir, soluciones de concentraciones conocidas en las cuales se presenta una cantidad de analito definido. Esto permite visualizar gráficamente la relación entre la señal medida y la concentración del analito, lo cual es conocido como curva de calibración.

Métodos espectroscópicos de análisis

La radiación electromagnética, o luz, es una forma de energía cuyo comportamiento depende de las propiedades tanto de las ondas como de las partículas. Las propiedades ópticas de la radiación electromagnética, como por ejemplo la difracción, se explican mejor describiendo la luz como una onda. Sin embargo, muchas de las interacciones entre la radiación electromagnética y la materia, tales como la absorción y la emisión, se describen mejor considerando a la luz como una partícula o fotón (Harvey, 2002).

Figura 9. Atenuación de un haz de radiación por una solución absorbente



Fuente: <http://www.public.asu.edu>

En el análisis instrumental, la ley de la absorción, también conocida como la ley de Lambert y Beer, o simplemente Ley de Beer, da

información cuantitativa sobre cómo la atenuación de la radiación depende de la concentración de las moléculas que la absorben y de la distancia que recorre el medio absorbente. Cuando la luz atraviesa una solución de analito, la intensidad de la radiación disminuye como consecuencia de la excitación del analito. Cuanto mayor sea la trayectoria del rayo en la solución de analito de una concentración dada, habrá más especies que absorban la radiación y la atenuación será mayor (Skoog, 2001).

En la figura 8 se observa la atenuación¹² de una radiación monocromática a través de una solución absorbente (muestra que contiene el analito), con un espesor (el cual corresponde al espesor de la celda en cm), y una concentración molar (que corresponde a la muestra). Debido a las interacciones entre los fotones y las partículas absorbentes, la energía del rayo incidente I_0 disminuye hasta I .

La transmitancia (T) de la solución es la fracción de radiación incidente que transmite la solución. Esta suele expresarse como porcentaje de transmitancia (% T).

$$T = \frac{I}{I_0}$$

La absorbancia (A) de una solución está relacionada con la transmitancia en forma logarítmica. El aumento en la absorbancia de una solución se acompaña de una disminución en la transmitancia.

$$A = -\text{Log}(T) \qquad A = \text{Log} \frac{I_0}{I}$$

De acuerdo con la Ley de Beer, la absorbancia está relacionada linealmente con la concentración (c) de las especies absorbentes y con la longitud de la trayectoria de la radiación (b) en el medio absorbente;

$$A = \epsilon bc$$

12 En espectroscopia significa la disminución en la energía de un haz de radiación por unidad de área. Disminución del número de fotones por segundo en el rayo.

Donde $A_0 = Ebc$ es una constante de proporcionalidad llamada absorptividad molar ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

Las aplicaciones de la Ley de Beer permiten calcular las absorptividades molares de las especies, si se conocen sus concentraciones. También se puede utilizar el valor de la absorbancia medida para conocer la concentración, siempre que se conozca la absorptividad molar y la longitud de la trayectoria de la radiación. Sin embargo, la absorptividad es una función de diversas variables, tales como el disolvente, la composición de la solución y la temperatura; de ahí que los valores de absorptividad que se encuentran en la literatura varíen dependiendo de las condiciones en las que se realice la medición.

Para conocer la absorptividad en las condiciones del análisis se preparan varias soluciones patrón del analito en el mismo disolvente y a una misma temperatura. Con las soluciones patrón se construye una curva de calibración de absorbancia frente a la concentración (Skoog, 2001).

Algunas de las pruebas de análisis que aquí se presentan, emplean equipos fotométricos que permiten determinar la concentración de un analito a ciertas longitudes de onda, dependiendo de su naturaleza química. Para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos se sugiere realizar curvas de calibración previas a la medición de la muestra. Estas consisten en la preparación de soluciones de concentraciones conocidas del analito. Posteriormente se debe realizar la medida de absorbancia para la construcción de la curva de calibración, la cual presenta una tendencia lineal, que por análisis de regresión se halla el valor de la pendiente y el intercepto. La ecuación lineal que se obtiene permite calcular la concentración de una solución desconocida de dicho analito.

Tabla 21. Guía 3. Determinación de acidez y medición de pH

Competencia	Reconocer la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Reconocer las sustancias que causan acidez en el agua, su impacto y aplicación en el contexto de la definición de la calidad de las aguas, teniendo en cuenta además el tipo y uso al que se destinen. Conocer el método de medición establecido en la normatividad vigente. Comprender el concepto de pH y su relación con la acidez causada en el agua
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda.
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas.
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

Fuente: elaboración propia.

Medición de pH

Fundamento teórico

El termino pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno. En términos generales, se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los microorganismos. Tanto por estos factores como por las relaciones que existen entre pH, alcalinidad y acidez (Romero, 2002).

Tabla 22. Lista de instrumentos para medición de pH

Materiales	Reactivos	Equipos
Beaker de 250 ml	Agua destilada	Medidor de pH (pH-metro)
Papel secante		

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Medidor de pH (pH-smetro)



Fuente: Tomado de (<http://www.laborkomplekt.ru/?page=7&sid=6&srid=62&iid=444>)

Método potenciométrico

Procedimiento

1. Retire el capuchón¹³ que protege el extremo del electrodo.
2. Enjuague el electrodo con agua destilada.
3. Sumerja el electrodo en la muestra de agua.

¹³ Es un protector que contiene una solución de almacenamiento del electrodo KCl 3M.

4. Permita un tiempo de lectura hasta la estabilización de la medida.
5. Registre el valor medido.
6. Retire el electrodo y enjuáguelo con agua destilada.
7. Seque el electrodo y coloque nuevamente el capuchón.

Expresión de los resultados

La medida de pH se expresa en unidades de pH.

- Medir el pH y registrar la medida en la tabla 24.

Determinación de la acidez

Fundamento teórico

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de reaccionar con una base fuerte a un pH designado. El valor medido puede variar significativamente según el punto final de pH o el indicador utilizado en la determinación. La acidez es una medida de una propiedad agregada del agua y solamente se puede interpretar en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra. Los ácidos minerales fuertes, los ácidos débiles (como el carbónico y el acético) y las sales hidrolizantes (como sulfatos de aluminio o hierro) pueden contribuir a la acidez medida de acuerdo con el método de determinación.

Los ácidos contribuyen a la corrosividad e influyen en la velocidad de las reacciones químicas, la especiación química y los procesos biológicos. La medición también refleja un cambio en la calidad del agua de la fuente (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2000).

La acidez se origina en la disolución de CO_2 atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en las descargas de aguas residuales industriales. Su efecto corrosivo en aguas residuales es de gran importancia, así como su posible efecto destructor o alterador de la flora y fauna de fuentes receptoras. Algunos residuos industriales, por su alto contenido de acidez mineral, pueden requerir pretratamiento de neutralización antes del tratamiento biológico (Romero, 2004).

Interferencias

Las muestras que contienen sulfato de hierro y aluminio se caracterizan por lo impreciso y transitorio del vire de la titulación con fenolftaleína, que se verifica a la temperatura ambiente; en consecuencia, se obtienen mejores resultados titulando la muestra a la temperatura de ebullición. Esto es útil para el control de las plantas de agua cuando la fuente de abastecimiento se ha contaminado con ácidos minerales y sales ácidas provenientes de los drenajes ácidos de minas y de algunos desechos industriales. El calor acelera la hidrólisis del sulfato de hierro y aluminio, permitiendo la terminación rápida de la titulación. Esta determinación proporciona una estimación de la cantidad de cal que se pueda necesitar para que tales aguas sean satisfactorias para uso general.

El cloro libre residual disponible puede decolorar el indicador de anaranjado de metilo en un medio ácido y este efecto se puede vencer decolorando la muestra con una gota de tiosulfato de sodio 0,1N.

Tabla 23. Lista de instrumentos para la determinación de la acidez

Materiales	Reactivos
Erlenmeyer de 250 ml	NaOH 0,02N
Pipeta volumétrica de 50 ml	Indicador de Fenolftaleína
Bureta de 25 o 50 ml	Indicador de anaranjado de metilo
Embudo	
Soporte universal	

Fuente: elaboración propia.

Método

Titulométrico con indicadores acido-base de anaranjado de metilo y fenolftaleína.

Procedimiento

- a) Acidez al anaranjado de metilo
 - 1. Tome 50 ml de muestra en un matraz erlenmeyer.

2. Agregue dos gotas del indicador anaranjado de metilo.
 3. Titular con hidróxido de sodio 0,02N valorado, hasta que el color vire a un débil tono anaranjado, característico de pH 4,5.
 4. Tomar la lectura de mililitros de hidróxido consumido.
- b) Acidez a la fenolftaleína
1. Tome 50 ml de muestra en un matraz erlenmeyer.
 2. Agregue tres gotas del indicador de fenolftaleína.
 3. Titular con hidróxido de sodio 0,02N valorado, hasta la aparición del tinte rosa débil, característico de pH 8,3.
 4. Tomar la lectura de mililitros de hidróxido consumido.
- c) Acidez a la fenolftaleína a la temperatura de ebullición
1. Tome 50 ml de muestra en un matraz erlenmeyer.
 2. Agregue tres gotas del indicador de fenolftaleína.
 3. Titular la muestra caliente con hidróxido de sodio 0,02N valorado al vire rosa permanente.
 4. Tomar la lectura de mililitros de hidróxido consumido.

$$Acidez\ en\ \frac{mg}{L}\ CaCO_3 = \frac{A * N * 50000}{mL\ muestra}$$

Donde

A = Volumen de NaOH valorado en ml

N= Concentración del NaOH

Al reportar los resultados en la tabla 24, especifique el indicador usado y la temperatura a la que se verificó la titulación.

- Calcular la acidez mineral y carbonácea de la muestra.

Tabla 24. Registro de datos de la determinación de acidez

Datos	1	2	3	4
Vol. Muestra (ml)				
Vol. NaOH adicionado				
Concentración de NaOH				
Acidez				
Indicador acido-base				
Temperatura (°C)				
Medida de pH (UpH)				

Fuente: elaboración propia.

Calidad de la muestra de agua

- Realice una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, frente a los resultados obtenidos de la determinación de la acidez realizada y la relación con el pH.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper appears to be a standard notebook page or a sheet of stationery.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 25. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Aceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Se logra realizar todos los procedimientos				
Aprendió a realizar los métodos de análisis químicos				
La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación

Referencias

American Public Health Association; American Water Works Association y Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos.

Harvey, D. (2002). *Química analítica moderna*. (Primera edición). España: Mc Graw-Hill.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (17 de mayo de 2000). *Calidad del agua. Determinación de la acidez y Determinación de la alcalinidad, NTC-4803* Bogotá, D.C.: Icontec.

Determinación de la alcalinidad

Tabla 26. Guía 4. Determinación de la alcalinidad

Competencia	Reconocer la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Reconocer las sustancias que causan alcalinidad en el agua, su impacto y aplicación en el contexto de la definición de la calidad de las aguas, según sea su tipo y uso al que se destinen. Identificar el método de medición establecido en la normatividad vigente
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

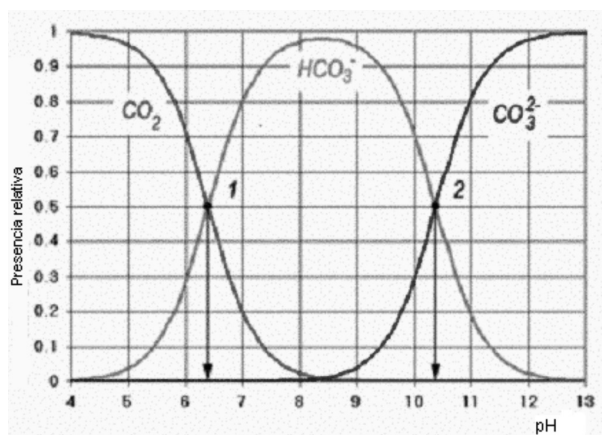
Fuente: elaboración propia.

Fundamento teórico

La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final empleado. La alcalinidad es la medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas, solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e hidróxido (OH^-), se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos también pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos u otras bases que estén presentes.

La alcalinidad superior a las concentraciones de metales alcalino-térreos es de vital importancia para determinar la aptitud de un agua para irrigación. Las mediciones de alcalinidad se emplean en la interpretación y control de los procesos de tratamiento de aguas. Las aguas residuales domésticas tienen una alcalinidad menor, o ligeramente mayor, que las de suministro. Los iones hidroxilo presentes en una muestra, como resultado de disociación o hidrólisis de solutos, reaccionan con adiciones de ácido estándar. En consecuencia, la alcalinidad depende del pH de punto final empleado (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2005).

Figura 11. Formas de carbono inorgánico a diferentes pH



Fuente: Ramírez, 2016 (en línea).

La capacidad de la alcalinidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, en la remoción de amoníaco y en tratamientos anaerobios.

En el proceso de nitrificación se necesita suficiente alcalinidad para reaccionar con la acidez producida en la reacción. Por otra parte, aguas residuales con alcalinidad cáustica reaccionan con el CO_2 producido por la actividad microbial para generar bicarbonato y reducir el pH (Romero, 2004).

Puede haber aguas de igual pH y distinta alcalinidad. El pH depende de la relación:

$$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{CO}_2} \text{ y } \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{CO}_3^{2-}}$$

Y no a las cantidades totales de cada uno de ellos.

Interferencias

Por su acción blanqueadora en algunas aguas, el cloro libre residual disponible afecta la respuesta del color del indicador. Se puede eliminar esta interferencia mediante la adición de cantidades mínimas de tiosulfato de sodio, sin pérdida de significación en la exactitud.

Otro factor de interferencia lo constituye el carbonato de calcio y el hidróxido de magnesio finamente divididos, que se producen en los procedimientos de ablandamiento con cal soda y que causan un desvanecimiento del vire; este material suspendido se debe eliminar, antes de la titulación, por filtración de la muestra a través de papel filtro fino.

Las sales de ácidos inorgánicos débiles (fosfórico, silícico) y de ácidos orgánicos pueden contribuir a la alcalinidad.

Tabla 27. Lista de instrumentos para la determinación de la alcalinidad

Materiales	Reactivos
Erlenmeyer de 250 ml	H ₂ SO ₄ 0,02N
Pipeta volumétrica de 50 ml	Indicador de fenolftaleína
Bureta de 25 o 50 ml	Indicador de anaranjado de metilo
Embudo	
Soporte universal	

Fuente: elaboración propia.

Método volumétrico

Se determina por titulación con una solución valorada de un ácido mineral fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico, bien sea electrométricamente o por medio de indicadores. El indicador de fenolftaleína permite cuantificar la fracción de la alcalinidad atribuible al hidróxido y a la mitad del carbonato. Para determinar la alcalinidad ocasionada por el hidróxido, carbonato y bicarbonato se emplean indicadores que responden en el ámbito de pH de 4 a 5.

Las titulaciones de alcalinidad a la fenolftaleína y de la alcalinidad total son útiles para calcular las dosis de productos químicos que se requieren en el tratamiento de aguas naturales. Las relaciones estequiométricas entre hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos solo son válidas en ausencia de concentraciones significativas de radicales de ácidos débiles distintos de oxidrilo, carbonato y bicarbonato.

Es importante conocer la acidez, la alcalinidad y los aniones que la producen para su uso en la industria de alimentos y para los problemas relacionados con el tratamiento de dichas aguas.

Procedimiento

- a) Alcalinidad a la fenolftaleína:
 - 1. Tome 50 ml de muestra en un matraz erlenmeyer.
 - 2. Agregue tres gotas de indicador de fenolftaleína.

3. Si genera una coloración rosa violeta, sí existe alcalinidad a la fenolftaleína.
 4. Titule con ácido sulfúrico 0,02N hasta decoloración.
 5. Tome la lectura de mililitros de ácido consumido.
 6. Calcular la alcalinidad a la fenolftaleína y registrar los datos en la tabla 28.
- b) Alcalinidad total:
1. Tome 50 ml de muestra en un matraz erlenmeyer.
 2. Si se determinó la alcalinidad a la fenolftaleína, se puede continuar utilizando la misma muestra, acumulando la cantidad de ácido consumido.
 3. Agregue cuatro gotas del indicador anaranjado de metilo, dando una coloración amarillenta.
 4. Titular con ácido sulfúrico 0,02N hasta un vire de color naranja correspondiente a pH 4,5.
 5. Tomar la lectura de mililitros de ácido consumido.
 6. Calcular la alcalinidad total y registrar los datos en la tabla 28.

$$\text{Alcalinidad en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ CaCO}_3 = \frac{A * N * 50000}{\text{Vol. muestra}}$$

Donde

A= ml del ácido estándar consumido.

N= Concentración del ácido estándar.

- ¿Qué importancia tiene el sistema amortiguador carbonato-bicarbonato para cuerpos de agua naturales?

Tabla 28. Registro de datos de la determinación de alcalinidad

Datos	1	2	3	4
Vol. Muestra (ml)				
Vol. H ₂ SO ₄ adicionado				
Concentración de H ₂ SO ₄				
Alcalinidad a la fenolftaleína				
Alcalinidad total				

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de las relaciones de alcalinidad

Los resultados obtenidos, a partir de las determinaciones a pH 8,3 y alcalinidad total (pH 4,5), ofrecen un medio de clasificación estequiométrica de las tres formas principales de alcalinidad presentes en muchas aguas:

- La alcalinidad de carbonato (CO₃²⁻) se presenta cuando el volumen a pH 8,3 no es 0, sino menor que la total.
- La alcalinidad de hidróxido (OH⁻) se presenta si el volumen a pH 8,3 supera la mitad de la total.
- La alcalinidad de bicarbonato se presenta si el volumen a pH 8,3 es menor de la mitad de la total. Estas relaciones pueden calcularse mediante el siguiente esquema, donde P es el volumen gastado a pH 8,3 y T es el volumen gastado a pH 4,5.

Tabla 29. Relación de alcalinidad con los tres principales tipos de aniones

Relación volúmenes en la titulación	Alcalinidad de hidróxidos mg/L CaCO ₃	Alcalinidad de carbonatos mg/L CaCO ₃	Alcalinidad de bicarbonatos mg/L CaCO ₃
F=0	0	0	T
F < ½ T	0	2F	T – 2F
F = ½ T	0	2F	0
F > ½ T	2F – T	2 (T - F)	0
F = T	T	0	0

Fuente: Rojas (1988).

F = Alcalinidad a la fenolftaleína, a pH 8,3

T = Alcalinidad total al naranja de metilo, a pH 4,5

Determine la especie de anión presente en la muestra, como se relaciona en la tabla 29, y complete en la tabla 30 los resultados obtenidos.

Tabla 30. Resultado de la relación de aniones presentes en la muestra de agua

Relación volúmenes en la titulación	Alcalinidad de hidróxidos mg/L CaCO_3	Alcalinidad de carbonatos mg/L CaCO_3	Alcalinidad de bicarbonatos mg/L CaCO_3
F = 0			
F < $\frac{1}{2}$ T			
F = $\frac{1}{2}$ T			
F > $\frac{1}{2}$ T			
F = T			

Fuente: Rojas (1988).

Calidad de la muestra de agua

- Escriba una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la determinación de la alcalinidad.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on its right side, suggesting it's resting on a surface.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 31. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Aceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Se logra realizar todos los procedimientos				
Aprendió a realizar los métodos de análisis químicos				
La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación.

Referencias

American Public Health Association. (1963). *Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho*. (11 edición). España: Editorial Interamericana S.A.

Romero, J. (2002). *Calidad del agua*. (Tercera edición). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (17 de mayo de 2000). *Calidad del agua. Determinación de la acidez y determinación de la alcalinidad, NTC-4803*. Bogotá, D.C.: Icontec.

Determinación de dureza

Tabla 32. Guía 5. Determinación de dureza

Competencia	Reconocer la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Reconocer las sustancias que le imparten dureza al agua, así como su origen, impacto y remoción, en el contexto de la calidad del agua Conocer los límites y métodos de análisis establecidos en la normatividad vigente
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

Fuente: elaboración propia.

Fundamento teórico

Se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

Tabla 33. Principales cationes que causan dureza en el agua y principales aniones asociados con ellos

Cationes	Aniones
Ca^{+2}	HCO_3^-
Mg^{+2}	SO_4^{-2}
Sr^{+2}	Cl^-
Fe^{+2}	NO_3^-
Mn^{+2}	SiO_3^{-2}

En menor grado, Al^{+3} y Fe^{+3} son considerados como iones causantes de dureza. En general, la dureza es igual a la concentración de cationes polivalentes del agua. Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto, así como en los recipientes, calderas o calentadores en los cuales se calienta.

El límite para dureza en agua potable es de 160 mg CaCO_3/L ¹⁴. Para aguas de caldera de presión intermedia el límite es 1 mg/L y de presión alta, 0.07 mg CaCO_3/L , en aguas de enfriamiento 650 mg CaCO_3/L . (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

14 Sin embargo, la resolución 2115 del 22 de junio de 2007, expedida por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establece un valor máximo aceptable en aguas para consumo humano de 300 mg CaCO_3/L .

Interferencias

Algunos iones metálicos interfieren con el procedimiento causando pérdida gradual del color, o que no se pueda identificar el punto de vire. Esta interferencia se reduce con la adición de ciertos inhibidores a la muestra de agua¹⁵.

Tabla 34. Lista de instrumentos para determinación de dureza

Materiales	Reactivos
Erlenmeyer de 250 ml	EDTA 0,01M
Pipeta volumétrica de 25 ml	Indicador de negro de eriocromo T
Pipeta volumétrica de 1 ml	Solución amortiguadora de NH_4OH para pH 10
Bureta de 25 o 50 ml	Indicador de murexida
Embudo	NaOH 1N
Soporte universal	

Fuente: elaboración propia.

Método

Volumétrico de EDTA (volumetría de formación de complejos).

El agente valorante de ácido Etilen-Diamino-Tetra-Acético (EDTA) y su sal disódica forman un complejo quelato soluble cuando se adicionan a una solución que contenga ciertos cationes metálicos. Si una pequeña cantidad del indicador negro de Eriocromo T es añadida a una solución acuosa que contiene iones de calcio y magnesio a un pH de $10 \pm 0,1$, la solución se tiñe de un color rojo vino; si se añade EDTA como titulante, el calcio y el magnesio reaccionará con él. Después de que suficiente cantidad de EDTA es añadida para reaccionar o capturar

¹⁵ Para ampliar este tema se puede consultar el libro *Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho de APHA*.

todos los iones de calcio y magnesio, la solución cambiara de color de rojo vino a color azul.

Se fija un límite de tiempo para la titulación de 5 minutos, cuyo propósito es reducir la tendencia a la precipitación de CaCO_3 , ya que con los incrementos de pH, durante la titulación, se corre el riesgo de que se precipiten carbonato de calcio e hidróxido de magnesio. Por esta razón, es importante fijar el pH a $10 \pm 0,1$ con la solución amortiguadora.

Procedimiento

A) Dureza total

1. Tome 25 ml de la muestra y 25 ml de agua destilada en un matraz erlenmeyer.
2. Agregue 1 ml de la solución amortiguadora.
3. Compruebe el pH de 10.
4. Agregue 4 gotas del indicador de negro de eriocromo T y agitar. Si hay presencia de promotores de dureza (iones Ca^{2+} y Mg^{2+}), la solución toma color vinotinto.
5. Titule con la solución valorada de EDTA 0,01M hasta viraje de color vinotinto a azul.

Nota. Se recomienda verificar el pH antes de empezar a titular. Adicionando rojo de metilo al indicador de negro T de eriocromo se obtiene un viraje doble: rojo-naranja a grisáceo-verde (indicador mixto).

- Registre la cantidad de EDTA consumido en la tabla 34.

B) Dureza cálcica. Como su nombre lo indica, es la parte de la dureza total atribuida a iones de calcio Ca^{+2}

1. Tome 25 ml de la muestra y 25 ml de agua destilada en un matraz erlenmeyer.
2. Agregue 1 ml de NaOH 1N.
3. Compruebe el pH entre 12 - 13
3. Agregue 2 gotas del indicador murexida (0,2 g del indicador sólido) y agitar. La solución tomará un color salmón.
4. Titule con la solución valorada de EDTA 0,01M hasta viraje de color lila.

- Registre la cantidad de EDTA consumido en la tabla 34.

Expresión de los resultados

La dureza total se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ CaCO}_3 = \frac{A * B * 1000}{\text{Vol. muestra}}$$

Donde

A= ml de EDTA consumidos

B= mg de CaCO_3 equivalente a 1ml de EDTA

La dureza de calcio:

$$\text{Dureza en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Ca} = \frac{A * B * 400,8}{\text{Vol. muestra}}$$

Donde

A = ml de EDTA consumidos

B = mg de Ca en CaCO_3 equivalentes a 1ml de EDTA

Tabla 35. Registro de datos de la determinación de dureza

Datos	Dureza total	Dureza cálcica
Vol. Muestra (ml)		
Vol. EDTA adicionado (ml)		
Concentración de EDTA (M)		
Valor de dureza determinado		

Fuente: elaboración propia.

- La agudeza del cambio de color en la titulación con EDTA aumenta, aumentando el pH cuando se realiza la determinación

de la dureza; sin embargo este no deber ser incrementado indefinidamente. Explique por qué no se debe incrementar el pH.

Calidad de la muestra de agua

Escriba una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, frente a los resultados obtenidos de la determinación de dureza realizada y clasifique el agua según su dureza (anexo 5). Tenga presente los valores máximos aceptables en la normatividad vigente.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 36. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Asceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Se logran realizar todos los procedimientos				
Se aprenden a realizar los métodos de análisis químicos				
La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación.

Referencias

American Public Health Association y American Water Works Association. (1963). *Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho*. (11 edición). México: Editorial Interamericana S.A.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Dureza Total en Agua con EDTA por Volumetría*. Colombia: IDEAM.

Sawyer, N.; P. McCarty y Parkin, G. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. (4 edición). Colombia; Editorial Mc Graw Hill.

Determinación de cloruros

Tabla 37. Guía 6 para la determinación de cloruros

Competencia	Reconoce la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Reconocer a los iones cloruro como un parámetro fundamental para la caracterización de las aguas y como indicadores de contaminación, así como el origen de los mismos, su impacto y aplicación en la definición de la calidad del agua. Conocer los límites y métodos de análisis establecidos en la normatividad vigente.
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda.
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

Fuente: elaboración propia.

Fundamento teórico

Los cloruros son aniones que generalmente se encuentran contenidos en las aguas naturales. La magnitud de su concentración es muy variable, siendo mayor, casi siempre, cuando aumenta el contenido mineral de las aguas.

En agua potable, lo recomendable es que el valor de los cloruros no exceda los 250 mg/L. Concentraciones mayores a esta dan al agua un sabor salado. Por otro lado, la determinación de la concentración de los cloruros en el agua es de gran utilidad como indicador de contaminación por aguas residuales domésticas. Así, por ejemplo, un incremento de cloruros en una fuente de abastecimiento de agua potable puede indicar contaminación, debido a que el hombre, al preparar sus alimentos, utiliza cantidades considerables de cloruro de sodio (sal de cocina), el cual es desechado en su totalidad a través de la orina y los excrementos. El incremento de cloruros en las aguas servidas es de aproximadamente 25mg/L con respecto al agua del abastecimiento.

Al tratamiento para eliminar el exceso de cloruros en el agua y en general de las sales se le llama desmineralización o conversión de agua salina. El problema limitante para obtener agua dulce, a partir de agua salada o de agua de mar, es de tipo económico. Los métodos existentes para esta conversión son relativamente caros; sin embargo, la escasez de fuentes de abastecimiento viene a ser un factor limitante en el crecimiento de muchas zonas del mundo, por lo que el uso de la desmineralización cada vez tiene mayor aplicación. Entre los tratamientos de desmineralización más comunes se encuentran la evaporación, condensación, intercambio iónico y ósmosis inversa.

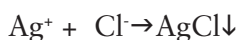
Tabla 38. Lista de instrumentos para la determinación de cloruros

Materiales	Reactivos
Erlenmeyer de 250ml	Solución de nitrato de plata 0,0141 N
Pipeta volumétrica de 50 ml	Solución indicadora de cromato de potasio
Pipeta volumétrica de 1 ml	Ácido Sulfúrico 1N
Bureta de 25 o 50 ml	Hidróxido de Sodio 1N
Embudo	Agua destilada
Soporte universal	

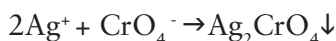
Fuente: elaboración propia.

Método argentométrico (método de Mohr)

En una solución neutra, o ligeramente alcalina, se puede usar el cromato de potasio para indicar el vire en la titulación de cloruros con nitrato de plata. Para esto se debe precipitar cuantitativamente el cloruro de plata antes de que se forme el cromato de plata rojo. Si se usa nitrato de plata (AgNO_3) en la titulación del ion cloruro, este se precipita como cloruro de plata blanco.



Para estimar la cantidad de AgNO_3 necesaria para reaccionar con todo el cloruro existente en la muestra, es indispensable determinar el punto de vire en el que todo el cloruro se ha precipitado como cloruro de plata. Este punto no se puede detectar a simple vista, a menos que se agregue un indicador a la muestra. Este indicador es cromato de potasio (K_2CrO_4), el cual, en una solución neutra o ligeramente alcalina, puede indicar el punto de vire porque una vez que se ha agotado el ion cloruro los iones de plata reaccionan con el cromato y forman un precipitado café rojizo.



El indicador le introduce un pequeño error al valor obtenido en la titulación de la muestra, debido a que entre sus impurezas contiene cloruros. Este error debe ser corregido restando al valor de la titulación obtenido para la muestra, el valor obtenido en la titulación de un blanco.

Las sustancias en las cantidades que normalmente se encuentran en el agua potable no interfieren. Los bromuros, yoduros y cianuros se registran como concentraciones equivalentes de cloruros. Los sulfuros, el tiosulfato y el tiosulfito interfieren al procedimiento pero pueden ser eliminados por un tratamiento con peróxido de hidrógeno. El ortofosfato en exceso de 25mg/L interfiere ya que se precipita como fosfato de plata. El hierro en exceso de 10 mg/L interfiere porque enmascara el punto de vire.

Procedimiento

1. Tome 50 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer y adicione 50 ml de agua destilada.
 2. Medir el pH de la muestra entre 7 y 10, ajustando el pH a este rango con ácido sulfúrico 1N o hidróxido de sodio 1N, según el caso.
 3. Agregue a la muestra 1 ml del indicador de cromato de potasio, el cual da a la muestra un color amarillo vidrioso.
 4. Titule con la solución valorada de nitrato de plata hasta un vire amarillo rojizo.
 5. Repita los pasos 1, 2, 3, 4 y 5 usando agua destilada como blanco. Un gasto de 0,2 a 0,3 ml para el blanco es usual en este método.
- En la tabla 38 registre el volumen en mililitros de nitrato de plata consumido.

Expresión de los resultados

Calcule la cantidad de cloruros por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Cloruros } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}^- = \frac{(A - B) * N * 35450}{\text{Vol. muestra}}$$

Donde

A = ml de AgNO_3 consumidos por la muestra

B = ml de AgNO₃ consumidos por el blanco

N = Normalidad de la solución de AgNO₃.

$$mg \frac{NaCl}{L} = \left(\frac{mg}{L} Cl^- \right) * 1,65$$

Tabla 39. Registro de datos de la determinación de cloruros

Datos	1	2
Vol. Muestra (ml)		
Vol. AgNO ₃ adicionado (ml) para la muestra		
Vol. AgNO ₃ adicionado (ml) para el blanco		
Concentración de AgNO ₃ (N)		
Valor de cloruros (mg/L Cl ⁻)		
Valor de cloruros (mg/L NaCl)		

Fuente: elaboración propia.

- Explique por qué, en la determinación de los cloruros, al valor obtenido en la titulación de la muestra se le debe hacer una corrección equivalente al valor obtenido en la titulación de un blanco.

Calidad de la muestra de agua

- Realice una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, frente a los resultados obtenidos de la determinación de cloruros.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 40. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Aceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Logró realizar todos los procedimientos				
Pudo aprender a realizar los métodos de análisis químicos				
La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación.

Referencias

American Public Health Association y American Water Works Association (1963). *Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho*. (11 edición). México: Editorial Interamericana S.A.

Harvey, D. (2002). *Química analítica moderna*. (Primera edición). España: McGraw Hill

Sawyer, N.; P. McCarty y Parkin, G. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. (4 edición). Colombia; Editorial Mc Graw Hill.

Determinación de cloro residual

Tabla 41. Guía 7. Determinación de cloro residual

Competencia	Reconocer la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Conocer y aplicar el método analítico para la medición de cloro residual y los límites establecidos en la normatividad vigente
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

Fuente: elaboración propia.

Fundamento teórico

La cloración del agua para suministro y residual sirve principalmente para destruir o desactivar los microorganismos causantes de enfermedades. Una segunda ventaja, especialmente en el tratamiento del agua de bebida, reside en la mejora general de su calidad, como consecuencia de la reacción del cloro con el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuro y algunas sustancias orgánicas.

El cloro aplicado al agua en su forma molecular o de hipoclorito sufre una hidrólisis inicial para producir cloro libre consistente en cloro molecular acuoso, ácido hipocloroso e ion hipoclorito. La proporción adecuada de estas formas de cloro libre depende del pH y la temperatura. En el pH de la mayoría de las aguas, predominarán el ácido hipocloroso y el ion hipoclorito.

El cloro libre reacciona fácilmente con el amoníaco y ciertos compuestos de nitrógeno, formando cloro combinado. Esta reacción produce cloraminas, monocloraminas, dicloraminas y tricloruro de nitrógeno. La presencia y concentraciones de estas formas combinadas dependen principalmente del pH, la temperatura, la proporción inicial de cloro-nitrógeno, la demanda absoluta de cloro y el tiempo de reacción (American Public Health Association; American Water Works Association, 1992).

Muestreo y almacenamiento

Cuando el cloro está disuelto en agua no es estable, esto quiere decir que disminuye rápidamente el contenido de cloro de las muestras o soluciones, en particular en las soluciones débiles. La exposición a la luz solar u otras de gran intensidad, lo mismo que la agitación, aceleran la disminución del cloro presentes en tales soluciones. Por lo tanto, se recomienda que las determinaciones de cloro se inicien inmediatamente después del muestreo, evitando luz y agitación excesivas. No se pueden almacenar las muestras que se van a analizar por cloro.

Tabla 42. Lista de instrumentos para la determinación de cloro residual

Materiales	Reactivos
Erlenmeyer de 250 ml	Solución de tiosulfato de sodio 0,025N
Pipeta volumétrica de 50 ml	Solución indicadora de almidón soluble
Pipeta volumétrica de 1 ml	Ácido acético glacial
Bureta de 25 o 50 ml	Yoduro de potasio
Embudo	Agua destilada
Soporte universal	Solución de yodo 0,0282N

Fuente: elaboración propia.

Método yodométrico

El cloro libera yodo libre de las soluciones de yoduro de potasio que tengan un pH de 8 o menos. El yodo liberado se titula con una solución valorada de tiosulfato de sodio, usando como indicador la solución de almidón. De preferencia, la reacción se debe verificar a valores de pH entre 3 y 4.

Interferencias

Aunque la titulación neutra disminuye al mínimo los efectos de interferencia por nitrito y sales mangánicas y férricas, se prefiere la titulación ácida por ser más exacta para la determinación del total de cloro residual disponible.

Debe usarse el ácido acético para la titulación ácida. El ácido sulfúrico solo se puede usar cuando haya certeza de que no hay sustancias interferentes. Jamás se debe emplear el ácido clorhídrico.

Procedimiento

1. Tomar un volumen de 50 ml de muestra.
2. Agregar 5 ml de ácido acético ajustando pH entre 3,0 a 4,0 y adicionar 1 gr de KI. Agitar la solución.

3. Titular con tiosulfato 0,025N hasta la desaparición máxima del color amarillo del yodo liberado.
4. Agregar 1 ml de la solución de almidón y continuar la titulación hasta la desaparición del color azul.
5. Titulación del blanco: se toma un volumen de agua destilada que corresponda al de la muestra usada para la titulación. Se agregan 5 ml de ácido acético, 1 gr de KI y 1 ml de solución de almidón. Según se requiera, se verifica la titulación del blanco A o B:

Titulación blanco A: Si se presenta el color azul, se titula con tiosulfato de sodio 0.025N, hasta la desaparición del color azul, registrando el resultado. Titulación Blanco B: Si no se presenta el color azul, se titula con solución de yodo 0.0282N hasta la aparición del color azul y se contra titula con tiosulfato 0.025N (titulación por retroceso)¹⁶, registrándose la diferencia como titulación B.

- Registre en la tabla 42 el volumen en mililitros de tiosulfato de sodio consumido.

Expresión de los resultados

Antes de calcular el contenido de cloro, se deduce la titulación del blanco A de la titulación de la muestra, o, si fuera necesario, se agrega el valor equivalente neto de la titulación del blanco B.

Para cuantificación del cloro en una muestra de agua

$$\frac{mg\ Cl}{L} \text{ como } Cl_2 = \frac{(A \pm B) * N * 35450}{Vol. muestra}$$

¹⁶ Titulación por retroceso es una valoración en la que primero se añade un reactivo a la disolución que contiene al analito y posteriormente se determina el reactivo libre sobrante tras su reacción con el analito (Harvey, 2002).

- Donde
- A= volumen (en ml) de tiosulfato de sodio consumido en la titulación de la muestra.
- B= volumen (en ml) de tiosulfato de sodio consumido en la titulación del blanco (positiva o negativa).
- N= Normalidad del tiosulfato de sodio.

Tabla 43. Registro de datos de la determinación de cloro residual

Datos	1	2
Vol. Muestra (ml)		
Vol. Tiosulfato de sodio adicionado (ml) para la muestra		
Vol. Tiosulfato de sodio adicionado (ml) para el blanco		
Concentración de Tiosulfato de sodio (N)		
Valor de cloro residual determinado		

Fuente: elaboración propia.

- Indique el origen de la muestra de agua colectada. En lo posible, describa la ubicación o cercanía a la planta de tratamiento o punto de distribución.

Calidad de la muestra de agua

- Realice una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las determinaciones de cloro residual. Tenga presente los valores máximos aceptables en la normatividad vigente (anexo 3).

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper appears to be a standard notebook page or a sheet of stationery.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 44. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Aceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Logró realizar todos los procedimientos				

Pudo aprender a realizar los métodos de análisis químicos				
La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación.

Referencias

American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos.

Sawyer, N.; P. McCarty y Parkin, G. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. (4 edición). Colombia: Editorial Mc Graw Hill.

Determinación de oxígeno disuelto

Tabla 45. Guía 8. Determinación de oxígeno disuelto (OD)

Competencia	Reconocer la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Comprender la importancia de la presencia de oxígeno disuelto en las aguas naturales, como indicador de la calidad del agua y su aplicación como parámetro de control de sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

Fuente: elaboración propia.

Fundamento teórico

El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida aerobia. El oxígeno es ligeramente soluble en el agua y la cantidad real que puede estar presente en una solución está determinada por a) la solubilidad del gas, b) la presión parcial del gas en la atmósfera, c) la temperatura y d) la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos).

Igualmente, las concentraciones de OD en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. En consecuencia, el análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales

y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004). La baja disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses.

En general, todo proceso aeróbico requiere una concentración de OD mayor de 0,5 mg/L. El suministro de oxígeno y las concentraciones de OD en tratamientos biológicos aerobios y aguas receptoras de aguas residuales son aspectos de vital importancia en el diseño, operación y evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales. La cantidad de oxígeno que se transfiere al agua residual en un tanque de aireación de un proceso de lodos activados, debe ser suficiente para satisfacer la demanda de la masa microbiológica existente en el sistema de tratamiento y para mantener un residual de OD del orden de 2 mg/L. En aguas naturales y para evitar efectos perjudiciales sobre la vida acuática se recomienda emplear concentraciones mayores a 4 mg/L (Romero, 2004).

Tabla 46. Lista de instrumentos para la determinación de oxígeno disuelto

Materiales	Reactivos
Erlenmeyer de 250 ml	Solución de tiosulfato de sodio 0,025N
Pipetas graduadas de 10 ml	Solución de almidón al 10 %
Pipeta volumétrica de 1 ml	H ₂ SO ₄ concentrado
Bureta de 50 ml	Solución de KIO ₃ 0,01M
Embudo	Solución alcalina de KI (5 % de KI y 33 % de NaOH)
Soporte universal	Solución ácida de KI (1 % de KI y H ₂ SO ₄ 1:3)
Botellas Winkler	Solución MnSO ₄ •4H ₂ O al 50 %

Fuente: elaboración propia.

Método yodométrico (método Winkler)

El método Winkler se basa en un análisis yodométrico, realizado a través de una titulación redox, es el más exacto y fiable para analizar OD. La muestra obtenida se trata con sulfato manganoso (MnSO_4), hidróxido de sodio (NaOH) y yoduro de potasio (KI)¹⁷, y finalmente se acidifica con ácido sulfúrico (H_2SO_4). Inicialmente se obtiene un precipitado de hidróxido manganoso, $\text{Mn}(\text{OH})_2$, el cual se combina con el OD presente en la muestra para formar un precipitado carmelito de hidróxido mangánico, $\text{MnO}(\text{OH})_2$. Con la acidificación, el hidróxido mangánico forma el sulfato mangánico que actúa como agente oxidante para liberar yodo del yoduro de potasio. El yodo libre es el equivalente estequiométrico del OD en la muestra y se valora con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,025N.

Para minimizar el efecto de los materiales interferentes existen algunas modificaciones del método yodométrico. La modificación de la azida elimina la interferencia causada por los nitritos (esta es la más común en efluentes tratados biológicamente y en muestras incubadas para la prueba de la DBO); se emplea en el análisis del OD en la mayoría de aguas residuales, efluentes y aguas superficiales, especialmente si las muestras tienen concentraciones mayores de $50 \mu\text{g NO}_2^-/\text{N/L}$ y no más de 1 mg de hierro ferroso/L. Los compuestos oxidantes y reductores interfieren en la determinación (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004).

Nota: El buen resultado del método depende de la manipulación de la muestra. En todos los pasos hay que asegurarse de que no se introduzca ni pierda oxígeno la muestra. La muestra se debe recoger en una botella winkler¹⁸.

17 El hidróxido de sodio y yoduro de potasio se combinan en una solución única.

18 Recoger la muestra con cuidado, no dejar la muestra en contacto con el aire ni agitarla para que no varíe su contenido gaseoso. Se debe recoger en un frasco winkler de 300 mL de capacidad. Véase el método de toma de muestras de la APHA (American Public Health Association; American Water Works Association, 1992).

Procedimiento

1. Si la muestra no fue tomada en botella winkler, realice el siguiente paso: a un erlenmeyer de 250 ml con tapa esmerilada adicione la muestra de agua cuidadosamente, de tal manera que no se produzca turbulencia que altere el oxígeno disuelto, hasta 0,5 cm por debajo del borde de la porción del recipiente esmerilado.
2. Añada 2,0 ml de la solución de MnSO_4 con una pipeta graduada por debajo del nivel del agua y luego 2,0 ml de la solución alcalina de KI también por debajo del nivel del agua.
3. Tapar el erlenmeyer con cuidado para que no se introduzcan burbujas de aire e invertir cuidadosamente para homogenizar la solución y distribuir uniformemente el precipitado formado.
4. Esperar a que el precipitado se sedimente por lo menos unos 3 cm del borde del frasco y por debajo del tapón añadir 5,0 ml de H_2SO_4 concentrado (cuidadosamente por debajo del nivel del agua). Volver a tapar y mezclar hasta que el precipitado se disuelva completamente.
5. Traspase cuidadosamente el contenido a un erlenmeyer de 500 ml y titule rápidamente con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025N hasta que el color amarillo del yodo palidezca.
6. Añada 3 ml de la solución de almidón y continúe titulando hasta que desaparezca completamente el color azul.
7. Registre el volumen de titulante consumido.
8. Puede calcular O_2 mg/L de muestra teniendo en cuenta que: 1ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025N es equivalente a 0,2mg de OD, si se titula un volumen equivalente a 200 ml de la muestra original, cada mililitro de tiosulfato que se consuma es igual a 1 mg/L de OD.

Expresión de los resultados

El oxígeno disuelto se expresa en ppm (mg/L) y se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{mg}{L} O_2 = \frac{A * N * 8000}{Vol.muestra}$$

Donde

A= volumen de tiosulfato de sodio (en ml) consumido en la titulación de la muestra.

n= Normalidad del tiosulfato de sodio.

- Registre los datos en la tabla 46.

Tabla 47. Registro de datos de la determinación de oxígeno disuelto

Datos	1	2
Vol. Muestra (ml)		
Vol. Tiosulfato de sodio adicionado (ml) para la muestra		
Concentración de Tiosulfato de sodio (N)		
Valor de OD determinado		

Fuente: elaboración propia.

Calidad de la muestra de agua

Escriba una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la determinación de oxígeno disuelto.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 48. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Aceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son los adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Logró realizar todos los procedimientos				
Aprendió a realizar los métodos de análisis químicos				
La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación.

Referencias

American Public Health Association; American Water Works Assosiation; Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos.

Romero, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. (Primera edición). Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Baird, C. y Cann, M. (2008). *Environmental chemistry*. (4 edición). Estados Unidos: W.H. Freeman and Company.

Determinación de hierro

Tabla 49. Guía 9. Determinación de hierro

Competencias	Reconocer la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Reconocer al hierro como principal causante de la modificación de las características organolépticas del agua (color, olor y sabor), así como su origen, impacto y remoción, en el contexto de la calidad del agua Conocer los límites y métodos de análisis establecidos en la normatividad vigente
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

Fuente: elaboración propia.

Fundamento teórico

En las muestras filtradas de aguas superficiales oxigenadas, el hierro raramente alcanza concentraciones de 1 mg/L. Por otro lado, el hierro del agua puede ocasionar manchas en la ropa de lavado y en la porcelana. En condiciones reductoras, el hierro existe en estado ferroso. En ausencia de iones que forman complejos, el hierro férrico no es significativamente soluble a menos que el pH sea muy bajo. Al exponerlo al aire o al añadir oxidantes, el hierro ferroso se oxida al estado férrico y puede hidrolizarse para formar óxido férrico hidratado insoluble (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 1992).

La presencia del hierro en las aguas subterráneas suele atribuirse a la disolución de rocas y minerales, principalmente a los óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos que contiene este metal. El hierro se encuentra en los minerales de silicatos de las rocas ígneas; los piroxenos, anfíboles y algunas micas suelen contener también este metal. Adicionalmente se encuentran en la forma de diversos óxidos, tales como la magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3) y limonita ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Los minerales sulfurados y carbonatados también son fuentes importantes de hierro, por ejemplo, la pirita (FeS_2) y la siderita (FeCO_3).

La precipitación de hierro puede provocar dificultades en procesos de tratamiento de aguas, tales como en los de intercambio iónico para los procesos de ablandamiento. En este caso, se debe realizar la eliminación del hierro antes de iniciar la operación de intercambio (American Water Works, 1975).

Tabla 50. Lista de instrumentos para la determinación de hierro

Materiales	Reactivos	Equipos
Embudo de separación	Agua destilada	Fotómetro, 510 nm
Erlenmeyer	HCl concentrado	Plancha de calentamiento
Pipeta de 2 ml Pipeta de 10 ml	Solución de hidroxilamina (NH ₂ OH•HCl) al 10 %	
Perlas de ebullición	Solución tampón de acetato de amonio	
Balón volumétrico de 50 ml	Solución de fenantrolina	
Embudo		

Fuente: elaboración propia.

Nota: el material de vidrio debe ser lavado previamente con HCL y enjuagado con agua destilada.

Método colorimétrico. Método de fenantrolina

Se disuelve el hierro. Luego se reduce al estado ferroso por ebullición con ácido e hidroxilamina y se trata con 1,10-fenantrolina a pH 3,2 a 3,3. El complejo rojo naranja que se forma es un quelato de tres moléculas de fenantrolina por cada átomo de hierro ferroso.

La solución coloreada obedece a la ley de Beer y su intensidad es independiente del pH entre 3 y 9. Un pH entre 2,9 y 3,5 asegura un rápido desarrollo del color en presencia de un exceso de fenantrolina.

Procedimiento

Hierro total

1. Tomar 50 ml de la muestra en un erlenmeyer.
2. Adicionar 2 ml de HCl concentrado y 1 ml de hidroxilamina.
3. Introduzca perlas de ebullición al erlenmeyer y caliente a ebullición hasta reducir el volumen de 15 a 20 ml.
4. Enfriar a temperatura ambiente y trasvasar a un balón volumétrico de 50 ml.

- 5. Agregar al balón 10 ml de solución tampón de acetato de amonio, 4 ml de solución de fenantrolina y diluir con agua destilada hasta la línea de aforo.
- 6. Agitar suavemente y dejar en reposo de 10 a 15 minutos para la revelación del color en la solución.
- 7. Realice la lectura de concentración de hierro total en el fotómetro¹⁹ a 510 nm.

$$\frac{mgFe}{L} = \frac{\mu g Fe \text{ (en 100mL de volumen final)}}{Vol.de la muestra \text{ (en mL)}}$$

Tabla 51. Registro de las concentraciones de hierro total

Muestras	1	2	3	4
Concentración de hierro total en mg/L				

Describa un método para la remoción de hierro.

19. Concentraciones tan bajas como 10 µg/L pueden determinarse con un espectrofotómetro provisto de celdas con un trayecto de luz de 5cm o más largo. Trátase el blanco con el procedimiento completo para la corrección. Concentraciones tan bajas como 10 µg/L pueden determinarse con un espectrofotómetro provisto de celdas con un trayecto de luz de 5cm o más largo. Trátase el blanco con el procedimiento completo para la corrección.

Calidad de la muestra de agua

Escriba una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la determinación de hierro total. Tenga presente los valores máximos aceptables en la normatividad vigente (anexo 3).

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines, typical of notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 52. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Aceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Logró realizar todos los procedimientos				
Aprendió a realizar los métodos de análisis químicos				

La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación.

Referencias

- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Icontec. (2000). *Determinación de hierro (método de la fenantrolina)*. NTC-4754. Icontec 2000-01-19. Colombia: Icontec.
- Sanks, R. (1979). *Water treatment plant design for the practicing engineer*. (Segunda edición). Estados Unidos: Ann Arbor Science.

Determinación de manganeso

Tabla 53. Guía 10. Determinación de manganeso

Competencia	Reconocer la importancia del análisis de la calidad del agua
Eje temático	Análisis químico del agua
Objetivo fundamental	Reconocer al manganeso como principal causante de la modificación de las características organolépticas del agua (color, olor y sabor), así como su origen, impacto y remoción, en el contexto de la calidad del agua Conocer los límites y métodos de análisis establecidos en la normatividad vigente
Objetivo de la guía	Registrar los resultados del análisis químico de una muestra de agua cruda
Curso	Laboratorio de tratamiento de aguas
Nombre y apellidos (código)	
Fecha	

Fuente: elaboración propia.

Fundamento teórico

El manganeso se encuentra en mayores proporciones en las rocas metamórficas y sedimentarias, mientras que en las de tipo ígneo su presencia apenas tiene importancia. Los óxidos de manganeso –tales como la manganita ($MnOOH$), pirolusita (MnO_2) y hausmanita (Mn_3O_4)– se acumularán en los suelos a medida que los constituyentes más solubles se separan por lixiviación de las rocas expuestas a la intemperie.

El hecho de que los minerales manganíferos sean menos abundantes que los ferríferos, explica el hecho que el hierro se encuentre con mayor frecuencia que el manganeso en las aguas subterráneas. Sin

embargo, los hidróxidos y carbonatos de Mn(II) son algo más solubles que los del hierro (II). A pesar de esto, las concentraciones de hierro y manganeso en las aguas subterráneas no suelen ser superiores a 10 y 2 mg/L, respectivamente (American Water Works, 1975).

Frecuentemente se necesitan medios especiales para eliminar el manganeso del agua, tales como precipitación química, ajuste de pH, aireación y empleo de materiales especiales de intercambio iónico. El manganeso se encuentra en las aguas residuales domésticas, efluentes industriales y corrientes receptoras (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 1992).

Tabla 54. Lista de instrumentos para la determinación de manganeso

Materiales	Reactivos	Equipos
Erlenmeyer de 250 ml	Agua destilada	Fotómetro de 525 nm
Pipeta de 5ml y 10 ml	H ₂ SO ₄ concentrado	
Espátula	HNO ₃ concentrado	
Vidrio de reloj	H ₃ PO ₄ al 85 %	
Balón volumétrico de 100 ml	AgNO ₃	
Balón volumétrico de 50 ml	Persulfato de amonio (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ sólido	
	H ₂ O ₂ al 30 %	
	Reactivo especial ²⁰	

Fuente: elaboración propia.

Método colorimétrico (método de persulfato)

La oxidación con persulfato de los compuestos manganosos solubles para formar permanganato se realiza en presencia de nitrato de plata.

20 Para preparar el reactivo especial, disuelva 75gr de H₂SO₄ en 400 ml de HNO₃ concentrado y 200 ml de agua destilada. Adicione 200 ml de ácido fosfórico H₃PO₄ al 85 % y 35mg de nitrato de plata (AgNO₃). Diluya la solución enfriada hasta 1 L. Puede preparar menor cantidad del reactivo especial, conservando las proporciones dadas en el procedimiento anterior.

El color resultante es estable durante 24 h, si existe un exceso de persulfato y si no hay materia orgánica.

Procedimiento

- 1. A una alícuota de la muestra en un erlenmeyer, adicionar 5 ml del reactivo especial y una gota de H₂O₂
- 2. Concentrar la solución a 90 ml por ebullición o diluir a 90 ml
- 3. Agregar 1 gr de (NH₄)₂S₂O₈ y llevar a ebullición por 1 minuto (no calentar en baño maría). Dejar en reposo por 1 minuto y enfriar rápidamente en baño de agua fría²¹
- 4. Diluir la solución a 100 ml con agua destilada y agitar suavemente
- 5. Realice la lectura de concentración de manganeso en el fotómetro.

Expresión de los resultados

$$\frac{mgMn}{L} = \frac{\mu g Mn (en 100mL de volumen final)}{Vol. de la muestra (en mL)}$$

Tabla 55. Registro de las concentraciones de manganeso

Muestras	1	2	3	4
Concentración de hierro total en mg/L				

- Describa un método para la remoción de manganeso.

21 Una ebullición muy prolongada da lugar a la descomposición del exceso del persulfato y, en consecuencia, a la pérdida del color del permanganato. Un enfriamiento demasiado lento tiene el mismo efecto.

Calidad de la muestra de agua

Escriba una conclusión acerca de la calidad de la muestra de agua, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la determinación de manganeso. Tenga presente los valores máximos aceptables en la normatividad vigente (anexo 3).

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Referencias

- Sanks, R. (1979). Water treatment plant design for the practicing engineer. (Segunda edición). Estados Unidos: Ann Arbor Science.
- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos.

Autoevaluación

Marque con una X la respuesta que mejor describa el nivel de satisfacción en el desarrollo de esta guía de aprendizaje.

Tabla 56. Autoevaluación

Logro	Insatisfecho	Aceptable	Satisfecho	Por mejorar
Las instrucciones son claras				
Los elementos de trabajo son adecuados				
El tiempo de trabajo es suficiente				
Logró realizar todos los procedimientos				
Aprendió a realizar los métodos de análisis químicos				
La información contenida en esta guía es apropiada				
Considera que se aprende con el desarrollo de esta guía				
Le gusta la dinámica de esta guía				

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: en este espacio complete alguna de sus respuestas de la autoevaluación.

Referencias

Sanks, R. (1979). *Water treatment plant design for the practicing engineer*. (Segunda edición). Estados Unidos: Ann Arbor Science.

American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos.

Anexos

Anexo 1. Calidad de la fuente de captación de agua

TABLA C.2.1.
Calidad de la fuente

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Si, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación+ Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

En ausencia de Normas Técnicas Colombianas, los métodos de análisis, deben hacerse de acuerdo con los métodos estándar: Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (APHA, AWWA y WPCF, 1995).

Fuente: Ministerio de Vivienda (2000). Título C, Sistema de potabilización RAS2000.

Anexo 2. Valores máximos aceptables para parámetros físicos del agua

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

ARTÍCULO 2º.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación:

Cuadro N°. 1 Características Físicas

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente: Resolución 2115 del 22 de junio de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007).

ARTÍCULO 3º.- CONDUCTIVIDAD. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano.

ARTÍCULO 4º.- POTENCIAL DE HIDRÓGENO. El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

Anexo 3. Valores máximos aceptables para parámetros químicos del agua

Cuadro N°. 4 Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

ARTÍCULO 9°.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE OTRAS SUSTANCIAS UTILIZADAS EN LA POTABILIZACIÓN. Además de lo señalado en los artículos 5°, 6], 7° y 8° de la presente Resolución, dentro las características químicas del agua para consumo humano se deberán tener en cuenta los siguientes valores aceptables para otras sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua, así:

1. El valor máximo aceptable del residual de aluminio derivado de su uso como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano en su forma (Al³⁺) será de 0,2 mg/L. Si se utiliza otro coagulante basado en sales de hierro, el valor máximo aceptable para el residual será 0,3 mg/L.

En el caso de utilizar otras sustancias químicas en el tratamiento del agua para consumo humano, el valor aceptable para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán las reconocidas por las Guías de la Calidad de Agua vigentes de la Organización Mundial de la Salud y adoptadas por el Ministerio de la Protección Social.

2. El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro.

Fuente: Resolución 2115 del 22 de junio de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007).

Anexo 4. Parámetros químicos comúnmente determinados en el agua

Especies Químicas	Importancia en el agua	Método de análisis
Aceites y grasas	Contaminación industrial	Gravimetría
Acidez	Indicativo de contaminación ambiental o de drenajes ácidos de minas	Valoración (Titulación)
Alcalinidad	Tratamiento del agua, regulación, productividad de las algas	Valoración (Titulación)
Aluminio	Tratamiento del agua, regulación	AA ^a , ICP ^b
Amoníaco	Productividad de las algas contaminante	Espectrofotometría
Arsénico	Contaminante tóxico	Espectrofotometría, AA, ICP
Bario	Contaminante tóxico	AA, ICP
Berilio	Contaminante tóxico	AA, ICP, fluorometría
Boro	Tóxico para las plantas	Espectrofotometría, ICP
Bromuro	Intrusión de agua de mar, desechos industriales	Espectrofotometría, potenciometría, cromatografía iónica
Cadmio	Contaminante tóxico	AA, ICP
Calcio	Dureza, productividad, tratamiento	AA, ICP, valoración (titulación)
Carbono orgánico	Indicador de contaminación orgánica	Medición con CO ₂ por oxidación
Cianuros	Contaminante tóxico	Espectrofotometría, potenciometría, cromatografía iónica
Cloruros	Contaminación de agua salada	Valoración, Electroquímico, cromatografía iónica
Cloro	Tratamiento de agua	Espectrofotometría
Contaminantes orgánicos	Indicador de contaminación orgánica	Adsorción en carbón activado
Cobre	Crecimiento de plantas	AA, ICP

^a AA denota a la absorción atómica

^b ICP simboliza las técnicas de plasma inductivamente acoplado, PLA, por sus siglas en inglés, incluyendo la emisión atómica y la detección del compuesto atomizado por el plasma mediante espectrometría de masas.

Especies Químicas	Importancia en el agua	Método de análisis
Cromo	Contaminante tóxico (Cr hexavalente)	AA, ICP, Colorimetría
Demanda de oxígeno (Bioquímica) (Química)	Calidad del agua, contaminación Calidad del agua, contaminación	Microbiológico, Valoración (Titulación) Oxidación química, Valoración (Titulación)
Dióxido de carbono	Acción bacteriana, corrosión	Valoración (Titulación), cálculo
Dureza	Calidad del agua, tratamiento del agua	Valoración (Titulación), AA
Estroncio	Calidad del agua	AA, ICP, fotometría de flama o llama
Fenoles	Contaminación del agua	Destilación-Colorimetría
Fluoruros	Tratamiento de agua, tóxico a concentraciones elevadas	Espectrofotometría, potenciometría, cromatografía iónica
Fosfatos	Productividad de las algas, contaminación	Espectrofotometría
Fósforo (hidrolizable)	Calidad del agua, contaminación	Espectrofotometría
Hierro	Calidad del agua, tratamiento del agua	AA, ICP, colorimetría
Litio	Puede indicar cierta contaminación	AA, ICP, fotometría de flama o llama
Magnesio	Dureza	AA, ICP
Manganeso	Calidad del agua (manchas)	AA, ICP
Mercurio	Contaminante tóxico	Absorción atómica sin llama o flama
Metano	Acción bacteriana anaerobia	Indicador de gas combustible
Nitratos	Productividad de algas, toxicidad	Espectrofotometría, cromatografía iónica
Nitritos	Contaminante tóxico	Espectrofotometría, cromatografía iónica

Especies Químicas	Importancia en el agua	Método de análisis
Nitrógeno (Albuminoide) (Orgánico)	Material proteico	Espectrofotometría
	Indicador de contaminación orgánica	Espectrofotometría
Oxígeno	Calidad del agua	Valoración (Titulación), electroquímico
Ozono	Tratamiento del agua	Valoración
Pesticidas o plaguicidas	Contaminación del agua	Cromatografía de gases
pH	Calidad del agua, contaminación	Potenciometría
Plata	Contaminación del agua	AA, ICP
Plomo	Contaminante tóxico	AA, ICP, voltametría
Potasio	Productividad, contaminación	AA, ICP, fotometría de flama o llama
Selenio	Contaminante tóxico	Espectrofotometría, ICP, activación neutrónica
Sílice	Calidad del agua	Espectrofotometría, ICP
Sodio	Calidad del agua, intrusión de agua salada	AA, ICP, fotometría de flama o llama
Sulfatos	Calidad del agua, contaminación	Cromatografía iónica
Sulfito	Contaminación, consume oxígeno	Valoración, cromatografía iónica
Sulfuros	Calidad del agua, contaminación del agua	Espectrofotometría, valoración (Titulación), cromatografía
Surfactantes	Contaminación del agua	Espectrofotometría
Taninos, Lignina	Calidad del agua, contaminación del agua	Espectrofotometría
Vanadio	Calidad del agua, contaminación del agua	ICP

Yoduros	Intrusión de agua de mar, desechos industriales	Efecto catalítico, potenciometría, cromatografía iónica
Zinc	Calidad del agua, contaminación del agua	AA, ICP

Fuente: Manahan (2011).

Anexo 5. Clasificación de las aguas

0 – 75 mg/L CaCO_3	Agua blanda
75 – 150 mg/L CaCO_3	Agua semidura
150 – 300 mg/L CaCO_3	Agua dura
Mayor a 300 mg/L CaCO_3	Agua muy dura

Fuente: elaboración propia.

Referenciación general

Normas técnicas referenciadas

Las siguientes son las normas técnicas que pueden ser consultadas para una mayor información y desarrollo de los procedimientos aquí relacionados. Se presentan las normas expedidas por el Icontec y los métodos normalizados de la American Public Health Association (APHA).

Normas técnicas colombianas:

NTC-897 Calidad del agua. Determinación del contenido de sólidos.

NTC-3651 Determinación de pH.

NTC-4705 Calidad del agua. Determinación de oxígeno disuelto, (OD).

NTC-4706 Calidad del agua. Determinación de la dureza.

NTC-4707 Calidad del agua. Determinación de la turbiedad. Método nefelométrico.

NTC-4803 Calidad del agua. Determinación de la acidez y determinación de la alcalinidad.

NTC-4844 Calidad del agua. Determinación del ión cloruro.

NTC-5844 Calidad del agua. Determinación de color.

NTC-4754 Calidad del agua. Determinación de hierro. Método de la fenantrolina.

Métodos normalizados APHA:

2540B Sólidos totales secados a 103-105 °C.

2540C Sólidos totales disueltos secados a 180 °C.

2540D Sólidos totales en suspensión secados a 103-105 °C.

2540F Sólidos sedimentables.

2310B Acidez. Método de titulación.

2320B Alcalinidad. Método de titulación.

2340C Dureza. Método titulométrico de EDTA.

4500-O B Oxígeno disuelto. Método yodométrico.

3500-Fe D Hierro. Método de fenantrolina.

3500-Mn C Manganese. Método de persulfato.

4500-Cl- B Cloruros. Método argentométrico.

4500-Cl B Cloro residual. Método yodométrico I.

Leyes, decretos y legislación pertinente

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. República de Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Decreto 1575 de 2007 (mayo 9), “por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano”. Ministerio de la Protección Social. República de Colombia.

Resolución 2115 de 2007 (junio 22), “por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia.



Esta obra se editó en Ediciones USTA,
Departamento Editorial de la Universidad Santo Tomás.
Se usó papel propalcote de 300 gramos para la carátula y
papel bond beige de 75 gramos para páginas internas.
Tipografía de la familia Sabón. Impreso por Xpress.
2017.

El objetivo principal de este texto es orientar a estudiantes de pregrado en ingeniería y áreas afines, en los procedimientos de análisis de calidad del agua a nivel físico-químico, de igual forma, se abordan conceptos básicos y fundamentos de las técnicas de análisis. El desarrollo de dichas técnicas y competencias apropiadas le permite al estudiante discernir e interpretar resultados para definir la calidad de la fuente de agua en términos del grado de contaminación, lo que facilitará la toma de decisiones para establecer el tratamiento de potabilización apropiado siguiendo la normatividad vigente.

Este módulo contiene guías de aprendizaje, que establecen objetivos, competencias y procedimientos a desarrollar, lo cual puede ser considerado como instrumento de enseñanza en espacios académicos, ya que estas guías están elaboradas para una clase de 2 horas de laboratorio, como producto de la experiencia y prácticas pedagógicas de la autora.

Las guías de aprendizaje aquí expuestas promueven la realización en forma integral de actividades intelectuales e interpersonales que fomentan el trabajo en equipo y colaborativo, y su participación activa en la construcción y confrontación de sus procesos de aprendizaje.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS



978-958-631-966-9