

Métodos Analíticos para aguas residuales.

Jesús Fernández y María Dolores Curt



1. DETERMINACIÓN DE pH

1.1. Principio del proceso

Se basa en la capacidad de respuesta del electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones H^+ . La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio.

Se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que esta fuerza electromotriz afecta al valor del pH.

1.2. Reactivos

Disoluciones estándar de pH (tampones 7, 4 y 9) para la calibración del equipo (pH-metro).

1.3. Procedimiento

- Se calibra el electrodo con disoluciones patrón (tampones) de pH conocido.
- Se coloca la muestra, en la que se ha introducido una varilla agitadora teflonada (imán), en un agitador magnético, y se agita.
- Se procede a leer el valor del pH cuando la lectura se estabilice en pH-metro con compensación de temperatura.

2. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD

2.1. Principio del proceso

La medida se basa en el principio del puente de Wheatstone, utilizándose un aparato diseñado a tal efecto, el conductímetro. Se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que la conductividad está estrechamente relacionada con la temperatura.

2.2. Procedimiento

- En el caso de que la conductividad de la muestra sea muy elevada, habrá que diluirla hasta que la medida entre en la escala del equipo.
- Se introduce la célula de conductividad en la muestra y se espera hasta que la lectura se estabilice (pocos segundos). Si se utiliza un conductímetro de lectura digital, la medida directa de la conductividad de la muestra aparece en la pantalla. Es recomendable utilizar equipos que tengan compensación de temperatura, en el caso contrario habría que efectuar dicha compensación manualmente.



Lectura de la conductividad eléctrica en un humedal con *Sparganium spp.*

© M.D. Curt

3. SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

3.1. Principio del proceso

Se filtra una muestra previamente homogeneizada, mediante un filtro estándar de fibra de vidrio (Whatman 934-AH; tamaño de retención de partículas de 1.5 µm), previamente tarado en seco. El residuo retenido en el mismo se seca a peso constante a 103 - 105° C.

El aumento de peso de filtro representa los sólidos totales en suspensión.

3.2. Procedimiento

Se taran individualmente en placas de vidrio los filtros estándar necesarios y se anota el peso inicial seco, determinado a 103-105°C.

Se filtra un volumen determinado de muestra homogeneizada a través de un filtro tarado, con una bomba de vacío.

Se seca en estufa a 103- 105° C hasta peso constante.

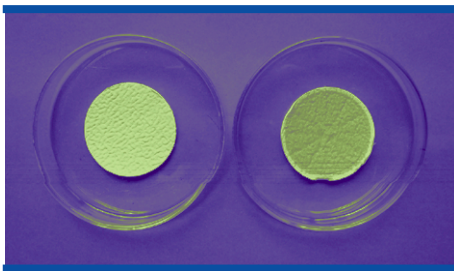
● Cálculos:

$$\text{Sólidos totales (mg/litro)} = \frac{[(A-B) * 1000]}{\text{Volumen de muestra (ml)}}$$

A: peso de residuo seco + filtro (mg)

B: tara del filtro (mg)

Filtros estándar para la determinación de sólidos totales en suspensión antes (placa izquierda) y después (placa derecha) del filtrado
© M.D. Curt



4. SÓLIDOS SEDIMENTABLES

4.1. Procedimiento

- Se llena un cono de Imhoff con la muestra bien homogeneizada, hasta la marca de 1 litro.

- Se deja sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación.

- Se mantiene en reposo durante 15 minutos más.

- Se registra el volumen de sólidos sedimentados en la parte inferior del cono. La determinación se expresa en mililitros de partículas sedimentadas por litro de muestra.



Ionómetro para el registro de las lecturas de electrodos selectivos
© M.D. Curt

5. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES (DQO)

5.1. Fundamento

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico.

La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta pH = 2- 3. Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros.

5.2. Principio del método del dicromato potásico

En condiciones definidas, ciertas materias contenidas en el agua se oxidan con un exceso de dicromato potásico, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y de sulfato de mercurio. El exceso de dicromato potásico se valora con sulfato de hierro y amonio.

5.3. Reactivos

- Sulfato de mercurio (Hg_2SO_4), para evitar interferencias de los haluros.
- Dicromato potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,25 N: Disolver 12,2588 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ previamente secado 24h en estufa a 105°C , en 1 litro de agua destilada.
- Solución de sulfato de plata en ácido sulfúrico: Disolver 5 g de Ag_2SO_4 en 540 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (densidad 1.84).
- Solución de sulfato de hierro y amonio 0,25 N ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ o SAL DE MOHR: Disolver 98,04 g de $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada. Añadir 20 ml de H_2SO_4 concentrado, enfriar y enrasar a 1 litro con agua

destilada. La solución debe estandarizarse diariamente, para determinar exactamente su normalidad, frente a la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.25N.

- Indicador de DQO o solución de ferroína: Disolver 1,485 g de 1,10 fenantrolina ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \times \text{H}_2\text{O}$) y 0,695 g de sulfato de hierro heptahidrato en agua destilada, y llevar a volumen de 100 ml.

- Valoración de la sal de MOHR:

Diluir en un matraz erlenmeyer de 100 ml de capacidad, 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N con agua destilada, hasta aproximadamente 100 ml. Añadir 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y enfriar. Añadir unas 5 gotas del indicador ferroína y valorar hasta viraje a rojo violáceo con sal de MOHR.

● Cálculos:

$$f = [\text{Volumen de } \text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2 \text{ 0,25 N utilizado } \times 0,25] / \text{Volumen de sal de MOHR consumido en la valoración.}$$

5.4. Procedimiento

- Se enciende la placa calefactora.
- Se pesan 0,44 g de HgSO_4 en matraz para reflujo de 100 ml. La cantidad propuesta de HgSO_4 es suficiente en la mayoría de los casos, para eliminar las posibles interferencias por Cl- en la muestra.
- Se colocan unas bolitas de vidrio en el matraz para favorecer la ebullición.
- Se añaden 20 ml de muestra.
- Se añaden lentamente 30 ml de la solución de sulfato de plata en ácido sulfúrico, con una pipeta de vertido, mezclando bien para disolver el HgSO_4 , y enfriar.
- Se añaden 12,5 ml de solución de dicromato potásico 0,25 N y se mezclan bien todos los productos añadidos.
- Sobre el matraz se dispone el elemento refrigerante (condensador del reflujo), y se somete a reflujo durante 2 horas.

- El conjunto se deja enfriar; el condensador del reflujó se lava con agua destilada, y después se separa el matraz del refrigerante.

- La muestra oxidada se diluye hasta 75 ml con agua destilada y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

- Se añaden unas 5 gotas del indicador ferroína.

- Se procede a valorar el exceso de dicromato con la sal de Mohr.

El punto final de análisis se toma cuando el color varía bruscamente de azul verdoso a pardo rojizo.

Este método resulta eficaz para muestras que tengan una DQO entre 50 y 800 mg/l. Para niveles superiores diluir el agua problema y para contenidos menores aplicar otro método.

● Cálculos:

$$\text{DQO (mg de oxígeno/litro)} = [(A-B) \times N \times 8000 \text{ J}] / \text{Volumen (ml) de muestra.}$$

A= Volumen (ml) de sal de Mohr gastado en el blanco.

B= Volumen (ml) de sal de Mohr gastado en la muestra.

N= Normalidad de la sal de Mohr.

6. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES (DBO₅)

6.1. Fundamento

Esta prueba determina los requerimientos relativos de oxígeno de aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas, para su degradación biológica. Expresa el grado de contaminación de un agua residual por materia orgánica degradable por oxidación biológica.

6.2. Principios del proceso

El agua residual contiene una cierta flora bacteriana, que tras un tiempo de incubación, actúa degradando la materia orgánica contenida en el agua residual. Si cierta cantidad del agua a analizar se introduce en un recipiente, y éste se cierra herméticamente, se crea un sistema que contiene el agua a analizar; con su flora bacteriana y aire, el cual contiene un 21% de oxígeno. En un tiempo determinado, los microorganismos consumen todo o parte del oxígeno contenido en el sistema al degradar la materia orgánica, liberando una cierta cantidad de anhídrido carbónico gaseoso. Suponiendo que se inhibe la nitrificación y que se retira del sistema el CO₂ gaseoso producido, la depresión que se registra en el sistema se deberá exclusivamente al descenso de la presión parcial del oxígeno, como consecuencia del consumo de oxígeno en la oxidación biológica de la materia orgánica. A continuación se describe la determinación de DBO con un periodo de incubación de cinco días (DBO₅) en biómetros diseñados a tal efecto (WTW- Oxitop). Estos biómetros están dotados de tapones con dispositivos de lectura de la presión parcial de los frascos. La captación del CO₂ gaseoso producido se efectúa por reacción con OHNa, que ha de disponerse al comienzo del ensayo en una cápsula diseñada a tal efecto, en el sistema.

6.3. Reactivos

- Disolución de allitiourea: Disolver 5 g de allitiourea reactivo en un litro de agua destilada.

Biómetros para la determinación de DBO dispuestos en cámara de incubación
© M.D. Curt



Esta disolución se utilizará como inhibidor de la nitrificación.

- Sosa cáustica (OHNa) en perlas.

6.4. Procedimiento

- Se introduce una varilla agitadora (imán) en el interior del biómetro.
- Se añade el inhibidor de la nitrificación en una proporción equivalente a 20 gotas de la disolución de allitiourea por litro de muestra.
- Se ponen dos perlitas de OHNa en la cápsula diseñada a tal efecto.
- Se añade un volumen de muestra determinada en el biómetro. El volumen a utilizar depende del rango de DBO esperado, y está especificado en las instrucciones de uso del biómetro.
- Se coloca la cápsula conteniendo OHNa sobre la parte superior del biómetro, una vez que la muestra esté estable y no se observen burbujas de aire.
- Se cierra el biómetro con el correspondiente tapón-registrador; y se pone la lectura a cero.
- Se introduce el biómetro en cámara a 25°C y se enciende el agitador magnético. Se mantiene agitación suave constante durante todo el ensayo.
- Se realiza la lectura a los cinco días, siguiendo el procedimiento de lectura de la casa fabricante del biómetro. La DBO_5 final del agua analizada, expresada en mg de O_2 por litro de muestra, será la lectura obtenida en el biómetro multiplicada por el factor de dilución del ensayo. La correspondencia: factor de dilución a volumen de muestra introducido en el biómetro se indica en las instrucciones de uso del biómetro.

7. NITRÓGENO TOTAL

7.1. Principio del proceso

El principio del procedimiento que se describe a continuación (análisis elemental), se basa en una combustión inmediata de la muestra, que finalmente resulta en la liberación de todo el nitrógeno contenido en la muestra (N orgánico e inorgánico) en forma de nitrógeno gaseoso. El nitrógeno gaseoso se separa de otros compuestos gaseosos por cromatografía de gases, para procederse a su cuantificación.

7.2. Procedimiento

- La muestra se acidula previamente a pH 3. La determinación se debe efectuar con varias repeticiones por muestra (se aconsejan cuatro repeticiones).
- Se introduce una alícuota de 0,7 ml en una cápsula de estaño apropiada para análisis elemental.
- Las cápsulas se llevan al dispositivo automático de muestreo del analizador elemental.
- Se procede al ensayo de análisis elemental y determinación automática del contenido en nitrógeno de la muestra, vía electrónica en un ordenador preparado a tal efecto.



Analizador elemental para la determinación de nitrógeno total
© M.D. Curt

8. NITRÓGENO NÍTRICO

8.1. Principio del proceso

El procedimiento propuesto es mediante electrodos selectivos acoplados a un potenciómetro. El principio del proceso se basa en la generación de un potencial eléctrico cuando el electrodo de medida se pone en contacto con la muestra conteniendo nitratos. El rango de trabajo se sitúa entre 0,14 mg/l y 1400 mg/l. Los cloruros y los bicarbonatos pueden interferir en el análisis, así como otros aniones más infrecuentes en aguas. Se requiere electrodo de referencia de doble unión y electrodo selectivo de nitratos. El electrodo selectivo debe ajustarse a las condiciones de temperatura, pH y fuerza iónica de la muestra y de los patrones usados en la calibración para conseguir que las lecturas sean fiables.

8.2. Reactivos

- Electrodo de referencia:
- Electrolito interno: KCl 3 M. Se prepara con 22,365 g de KCl desecado en 100 ml de agua destilada.
- Electrolito intermedio y solución de reposo: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 M. Se prepara con 33,04 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en 250 ml de agua destilada.
- Electrodo de medida.
- Solución para reposo: KNO_3 0,01 M (140 ppm N). Se prepara 0,5005 g de KNO_3 desecado en 500 ml de agua destilada.
- Patrón de 100 ppm de N- NO_3 . Se prepara con 0,3611 g de KNO_3 desecado, en 500 ml de agua destilada. A partir de este patrón de 100 ppm, preparar de 10 ppm y 1 ppm de N- NO_3 .
- Ajustador de fuerza iónica ISA/TISAB: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,1 M. Se prepara con 1,32 g en 100 ml de agua destilada. La concentración y cantidad de ISA está en función del rango de N- NO_3 que se espera encontrar.

8.3. Procedimiento

Para el caso de que no haya interferencias por cloro, las proporciones de alícuota y ajustador de fuerza iónica (ISA) son las siguientes:

- Para concentraciones de nitratos superiores a 1,4 g N- NO_3 /l se coge una alícuota de 50 ml de la solución a medir y se añade 5 ml de un ISA de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 M.
- Para concentraciones de nitratos entre 1,4 $\times 10^{-3}$ y 1,4 g N- NO_3 /l se coge una alícuota de 50 ml de la solución a medir y se añade 1 ml del ISA 0,1 M.
- Para concentraciones menores de 1,4 $\times 10^{-3}$, se coge una alícuota de 50 ml de la solución a medir y se añade 0,5 ml de un ISA 0,1 M diluido previamente a 1:4.

Se introducen los electrodos de referencia y lectura, y la sonda de temperatura en la muestra con el ISA, que debe mantenerse en agitación constante moderada. Cuando esté estable, se toma la lectura.

Si se prevén interferencias por cloro, para concentraciones esperadas de nitratos entre 1,4 $\times 10^{-3}$ y 1,4 g N- NO_3 /l, se coge una alícuota de 50 ml de la solución a medir y se añade 1 ml de un ISA 0,1 M al que se le hubiera añadido anteriormente 0,0343 g de Ag_2SO_4 por ml.

Si hay otro tipo de interferencias debe prepararse un ISA con eliminador de interferencias; el sulfato de aluminio elimina las de aniones orgánicos, el ácido bórico reduce la actividad bacteriana, al bajar el pH hasta 3- 4 elimina los carbonatos y bicarbonatos, el ácido sulfámico enmascara los nitratos. Un ISA con eliminador de interferencias podría ser el siguiente: 17,32 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 1,28 g de ácido bórico, 3,43 g de Ag_2SO_4 y 2,52 g de ácido sulfámico, disueltos en agua destilada; la disolución se lleva a pH 3 con H_2SO_4 o NaOH y se enrasa a 1 litro. Para la determinación de nitratos, se toma una alícuota de 50 ml de la muestra, a la que se añaden 10 ml de la disolución anterior; a continuación se procede a la lectura potenciométrica.

9. NITRÓGENO AMONICAL

9.1. Principio del proceso

El procedimiento propuesto es mediante electrodos selectivos acoplados a un potenciómetro, cuyo principio ha quedado explicado en el epígrafe anterior (determinación de nitratos); en este caso se utiliza un electrodo selectivo de amonio.

9.2. Reactivos

- Patrón 100 ppm de N- NH_4 ($7,14 \times 10^{-3}$ M). Se prepara mediante 0,1909 g de NH_4Cl desecado, en 500 ml agua destilada. A partir de éste, se preparan los patrones de 10 y 1 ppm.

- NaOH 10 M: 200 g de NaOH en 500 ml de agua destilada.

- Solución para reposo largo (1 noche a semanas): NH_4Cl 0,05 M. Preparación: 0,6681 g NH_4Cl desecado, en 250 ml de agua destilada.

- Para reposo corto: 50 ml de patrón de 10 ppm de N- NH_4 + 0,5 ml NaOH 10 M.

9.3. Procedimiento

- Se lleva una alícuota de 50 ml del agua a analizar a un vaso de precipitados de 100 ml.

- Se añade una varilla agitadora (imán) y se somete la muestra a agitación moderada continua.

- Se introduce el electrodo de amonio.

- Se añade 0,5 ml de NaOH 10M y se procede a la lectura.

10. FÓSFORO TOTAL

10.1. Principio del proceso

El fósforo puede encontrarse en las aguas residuales disuelto o en partículas, ya sea en compuestos orgánicos o inorgánicos. Para liberar el fósforo que está combinado en la materia orgánica, es preciso someter la muestra de agua a un proceso de digestión ácida. Tras la digestión, el fósforo está en forma de ortofosfatos, que se determinan por métodos colorimétricos.

10.2. Reactivos

- Solución de ácido sulfúrico: Añadir cuidadosamente 30 ml de ácido sulfúrico concentrado a 60 ml de agua destilada y diluir a 100 ml.

- Persulfato amónico, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$

- Hidróxido sódico OHNa 1N.

- Indicador de fenolftaleína.

- Solución de vanadato-molibdato amónico: se prepara en tres etapas; por un lado, se disuelven 25 g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}$ en 400 ml de agua destilada; por otro lado, se disuelven 1,25 g de vanadato molibdato en 300 ml de agua destilada caliente, se deja enfriar la disolución y se añaden 250 ml de HNO_3 concentrado. Finalmente, las dos disoluciones se mezclan y se llevan a 1 litro.

- Patrón de 200 ppm de P. Se disuelven 0,8780 g de KH_2PO_4 desecado en 1 litro de agua destilada. A partir de este patrón se prepara un patrón de 20 ppm, que servirá para la calibración colorimétrica.

10.2. Procedimiento

- Se introduce 50 ml de muestra homogeneizada en un matraz erlenmeyer de 125 ml.

- Se añade 1 ml de la solución de ácido sulfúrico.

- Se añade 0,4 g de persulfato amónico.
 - Se lleva a ebullición, y se mantiene regularmente durante unos 45 minutos hasta tener un volumen final aproximado de 10 ml.
 - Se deja enfriar; y se añaden unos 10 ml de agua destilada y unas gotas del indicador fenolftaleína.
 - Se añade OHNa 1N hasta el viraje a coloración rosa de la fenolftaleína; la mezcla se decolora después añadiendo una gota de una disolución diluída de ácido sulfúrico.
 - Se lleva a 50 ml con agua destilada.
 - Se procede a la determinación de fósforo (ortofosfatos) siguiendo el método colorimétrico del vanadato-molibdato amónico. Las muestras digeridas deben diluirse convenientemente para que la concentración de fósforo final esté dentro del rango del método analítico.
 - Se lleva una alícuota de 5 ml de la muestra a matraz de 25 ml.
 - Se añaden 5 ml del reactivo vanadato-molibdato amónico.
 - Se enrasa a 25 ml con agua destilada.
 - Se agita bien la mezcla y se deja desarrollar el color durante 30 mn.
 - Se lee la absorbancia a 440 nm de longitud de onda.
 - Se procede de idéntica manera con alícuotas del patrón de 20 ppm de P, a fin de hallar una recta de calibración que comprenda el rango de 2 a 10 ppm de P.
- Cálculos:

$$P \text{ (ppm)} = [\text{Absorbancia} \times K \times 25 \times F] / 5$$

K: pendiente de la recta de calibración

F: factor de dilución de la muestra

11. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El análisis microbiológico de las aguas residuales comprende, como determinaciones básicas, los microorganismos totales, coliformes totales y coliformes fecales. Existen en el mercado medios de cultivo específicos para cada una de estas determinaciones, como los suministrados por la casa Millipore. A continuación se describe un método rutinario basado en estos medios de cultivo comerciales.

11.1. Principios de proceso

Se trata de separar los microorganismos del agua por filtración a través de membranas filtrantes específicas y depositar las membranas con el residuo en cajas de petri, que contienen un medio de cultivo específico para el crecimiento de los microorganismos que se desea determinar; en un soporte de papel de filtro.

Todo el material que se utiliza debe estar esterilizado con el objeto de que no exista contaminación externa. La esterilización del material se realiza en autoclave a 121°C durante 20 minutos.

Los medios de cultivo propuestos son líquidos ya que estos medios tienen más facilidad para penetrar en los poros de las membranas y bañar la superficie de las mismas.

11.2. Medios de cultivo

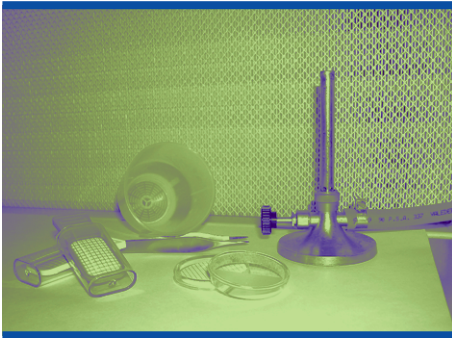
Se indican los nombres comerciales de los medios de cultivo comercializados por Millipore:

- Medio de cultivo para el recuento de microorganismos totales: TGE (Tryptone Glucose Extract Broth).
- Medio de cultivo para el recuento de coliformes totales: m-Endo Total Coliform Broth.
- Medio de cultivo para el recuento de coliformes fecales: m-FC Broth.

11.3. Procedimiento

Se sigue la metodología de filtración sobre membranas, utilizando el medio de cultivo apropiado para el recuento de los distintos tipos de microorganismos. Para ello se toman inicialmente 10 ml de agua residual, se introducen en un matraz de 100 ml, y se enrasa con agua estéril. La dilución a realizar de la muestra depende del grado de contaminación esperado. Las etapas necesarias para los análisis microbiológicos son las siguientes:

*Material
para análisis
microbiológico
de aguas
residuales en
cámara de
flujo laminar*
© M.D. Curt



11.3.1. Preparación de las placas Petri

- Se abre la placa Petri, que contiene un soporte absorbente estéril.
- Se abre una ampolla de 2 ml del medio adecuado y se vierte sobre el soporte absorbente, distribuyéndolo por toda la superficie.

11.3.2. Filtración de la muestra

Se realiza en matraz kitasatos de vidrio sobre el que se sitúa un portafiltras de plástico dotado de disco filtrante de ésteres de celulosa con 0,45 μm de diámetro de poro.

- Se coloca la membrana en el filtro con la ayuda de unas pinzas esterilizadas.
- Se toman 10 ml de la muestra convenientemente diluida y se lleva al portafiltra.
- Se conecta la bomba de vacío, para filtrar la muestra. Los posibles microorganismos quedarán retenidos en el filtro.

- Se desconecta la bomba de vacío. Con las pinzas flameadas se toma el filtro y se coloca en la placa Petri preparada para la determinación microbiológica.

11.3.3. Incubación y recuento de colonias

- La placa Petri conteniendo el disco filtrante con el residuo se lleva a estufa termostatzada a 37 °C para la determinación de microorganismos totales y coliformes totales, o a 44,5 °C para la de coliformes fecales, durante un período de 24 horas.
- Tras la incubación, se procede al recuento de las colonias formadas en cada disco filtrante, expresando los resultados en millones de microorganismos por litro de agua. El color de las colonias desarrolladas en los medios indicados varía según el microorganismo que se trate:
 - Microorganismos totales: colonias de color amarillento.
 - Coliformes totales: colonias rojizas con brillo verde metálico.
 - Coliformes fecales: colonias de color azulado.



Bibliografía.

CAPÍTULO 1

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA. (1992). *Guidelines for Water Reuse. Manual EPA/625/R-92/004*. Washington, DC. Estados Unidos.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. (2002). *Environmental signals*. Copenhagen. Díaz-Lázaro Carrasco, José Antonio.

FUNDACIÓN EMPRESA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA Y JUNTA DE ANDALUCÍA. (1994). *Reutilización de aguas residuales*. Granada.

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A., GALÁN MARTÍNEZ, P., EDITORIAL PARANINFO (1995) *Manual de Depuración Uralita*. Sistemas de depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes.

MOPU (1988). *Depuración de aguas residuales*. Madrid, España.

MORENO GRAU, M. D. MOPT (1991). *Depuración por lagunaje de aguas residuales*. Manual de Operadores. Madrid.

ORÚS, M.A., CAPAFONS, C., TUSELL, E. & MANTECÓN, R. (2003). *Estudio comparativo de los límites de vertido en las ordenanzas y reglamentos de aguas residuales industriales*. Tecnología del Agua. 243: 26-31.

UNESCO, WHO, UNEP (1992). *Water quality assessents*. Londres, Reino Unido.

CAPÍTULOS 2 Y 3

CRITES, R., TCHOBANOGLOUS, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas*

residuales para núcleos pequeños y descentralizados. McGraw-Hill. 1.082 pp.

DEGREMONT (1979). *Manual Técnico del Agua*. 4ª edición española, Artes Gráficas Grijelmo, Bilbao. 1.216 pp.

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A., GALÁN MARTÍNEZ, P., EDITORIAL PARANINFO (1995) *Manual de Depuración Uralita*. Sistemas de depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes

METCALF & EDDY, INC. (1995). *Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw-Hill. Tercera edición. 1.485 pp.

CAPÍTULO 4

COLLADO R. (1992). *Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Señor vol nº 12. 128 pp.

MORENO M.D., LUQUE J.(1991). *Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores*. MOPU, monografía de la Secretaría de Estado para Políticas del Agua y del Medio Ambiente. 169 pp.

REED S.C., CRITES R.W., MIDDLEBROOKS E.J (1995). *Natural systems for waste management and treatment*. Mc Graw -Hill, Inc. 434 pp.

ROMERO J.A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Escuela colombiana de ingeniería. Editorial Alfaomega. 281 pp.

SEOANEZ M. (1995). *Aguas residua-*

les urbanas. Tratamientos de bajo costo y aprovechamiento. Mundi Prensa. Colección Ingeniería Medioambiental. 1995. 368 pp.

TRAGSATEC. (1993). *Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural*. Editorial Agrícola Española. Serie técnica. 405 pp.

CAPÍTULOS 5, 6 Y 7

ANSOLA G. (2001). *Utilización de humedales artificiales en la depuración de aguas residuales*. Publicado en "El Agua un bien para todos. Conservación, recuperación y usos" (P. Ramos ed). Ed. Universidad de Salamanca. ISBN 84-7800-855-1. pp.145 – 170.

BRIX, H. (1997). *Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?* Water Science Technology 35(5), pp. 11-17.

CLEVERING, O.A., LISSNER, J. (1999). *Taxonomy, chromosome numbers, clonal diversity and population dynamics of Phragmites australis*. Aquatic Botany 64, pp. 185-208.

EPA (United States Environmental Protection Agency) (1988). *Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*. Design manual EPA/625/1-88/022. 83 pp.

EPA (United States Environmental Protection Agency) (1999). *Constructed wetlands. Treatment of municipal wastewaters*. Manual EPA/625/R-99/010. 165 pp.

EPA (United States Environmental Protection Agency) (2000 a). *Wetlands: Subsurface flow*. Wastewater

Technology. Fact Sheet EPA 832-F-00-023. Disponible en Internet.

EPA (United States Environmental Protection Agency) (2000 b). **Free Water Surface Wetlands**. Waste Water Technology. Fact Sheet 832-F-00-024. Disponible en Internet.

FERNÁNDEZ, J. (2001). **Filtro auto-flotante de macrofitas para la depuración de aguas residuales**. Publicado en "El Agua un bien para todos. Conservación, recuperación y usos" (P.Ramos ed). Ed. Universidad de Salamanca. ISBN 84-7800-855-1. pp. 171-179.

GRSBERG, R.M., ELKINS, B.V., LYON, S.R., GOLDMAN, C.R. (1986). **Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands**. Water Research 20 (3), pp. 363-368.

GRACE, J.B., WETZEL, R.G. (1998). **Long-term dynamics of Typha populations**. Aquatic Botany 61, pp. 137-146.

HAMMER D.A. –editor– (1989). **Constructed wetlands for wastewater treatment: Municipal, Industrial and Agricultural**. Actas de "First International Conference on Constructed Wetlands Treatment" celebrada en Chattanooga. Tennessee junio 13-17 1988. Lewis publishers, INC. ISBN 0-87371-184-X. 831 pp.

HERNÁNDEZ M. A., HERNÁNDEZ L. A., GALÁN P. (2004). **Manual de depuración Uralita**. Edit. Paraninfo. 429 pp.

MARTIN, I., FERNANDEZ, J. (1992). **Nutrient dynamics and growth of a cattail crop (Typha latifolia L.) developed in an effluent with high eutrophic potential-application to wastewater purification systems**. Bioresource Technology 42, pp. 7-12.

HASLAM, S.M. (1972). **Phragmites**

communis Trin. The Journal of Ecology 60(2), pp. 585-610.

KADLEC R.H., KNIGHT R.L. (1996). **Treatment wetlands**. Lewis Publishers en CRC press. ISBN 0-87371-930-I. 893 pp.

MOSHIRI G.A. (1993). **Constructed wetlands for water quality improvement**. Lewis Publishers en CRC press. ISBN 0-87371-550-O. 632 pp.

SMITH, S.G. (1967). **Experimental and natural hybrids in North American Typha (Typhaceae)**. The American Midland Naturalist, 78, pp. 257-287.

REED S.C., CRITES R.W., MIDDLEBROOKS E.J. (1995). **Natural systems for waste management and treatment**. Mc Graw –Hill, Inc . 434 pp.

TUTIN, T.G., HEYWOOD, V.H., BURGESS, N.A., MOORE, D.M., VALENTINE, D.H., WALTERS, S.M., WEBB, D.A. (Ed.) (1980). **Flora Europaea, volume 5 (Monocotyledones)**. Cambridge University Press, Cambridge. 452 pp.

CAPÍTULOS 8 Y 9

GALÁN R. (coordinador) (1996). **Jornadas sobre utilización de geosintéticos en ingeniería rural**. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación ISBN 84-491-0180-8. 196 pp.

TRUEBA J.I., LEVENFIELD G., MARCO J.L. (1997). **Teoría de proyectos**. Monografía del Departamento de Publicaciones de la E.T.S de Ingenieros Agrónomos de Madrid. 186 pp.

MÉTODOS ANALÍTICOS

APHA (American Public Health Association) (1999). **Standard**

Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. I.134 pp

MARIN, R. (1995) **Análisis de aguas y ensayos de tratamiento**. GPE (Gestió i Promoció Editorial) S.A. 719 pp.

RODIER, J. (1990). **Análisis de las aguas**. Ediciones Omega, Barcelona. I.059 pp.

RUMP, H.H., KRIST, H. (1992). **Laboratory manual for the examination of water, waste water and soil**. VCH. Weinheim. 190 pp.

