

Planta de tratamiento de líquidos cloacales

http://es.wikipedia.org/wiki/Planta_de_tratamiento_de_líquidos_cloacales



Se ha sugerido que este artículo o sección sea [fusionado](#) con [Tratamiento de aguas residuales](#) ([discusión](#)).

Una vez que hayas realizado la fusión de artículos, pide la fusión de historiales [aquí](#).

En este artículo sobre medio ambiente se detectaron los siguientes problemas:



- Necesita ser [wikificado](#) conforme a las [convenciones de estilo](#) de Wikipedia.
- Carece de [fuentes o referencias](#) que aparezcan en una [fuente acreditada](#).
- Podría ser demasiado [largo](#).

Por favor, [edítalo](#) para mejorarlo, o [debate en la discusión](#) acerca de estos problemas.

Estas deficiencias fueron encontradas el 25 de diciembre de 2009.

Planta de tratamiento de líquidos cloacales

Índice

- 1 [Características generales del agua](#)
- 2 [Concepto de contaminación aplicado al agua](#)
- 3 [Usos del agua](#)
- 4 [Fuentes de contaminación del agua](#)
- 5 [Origen del líquido cloacal](#)
- 6 [Impacto ambiental](#)
 - 6.1 [Características del líquido cloacal](#)
 - 6.1.1 [Características físicas](#)
 - 6.1.2 [Características químicas](#)
 - 6.1.3 [Características microbiológicas](#)
- 7 [Tratamiento de efluentes](#)
 - 7.1 [Introducción](#)
 - 7.2 [Etapas del tratamiento de efluentes](#)
 - 7.3 [Pretratamiento](#)
 - 7.4 [Tratamiento primario](#)
 - 7.5 [Tratamiento secundario](#)
 - 7.5.1 [Tratamiento biológico aeróbico](#)
 - 7.5.2 [Tratamiento biológico anaeróbico](#)
 - 7.5.3 [Lagunas de estabilización](#)
 - 7.6 [Tratamiento terciario](#)

- 7.7 [Desinfección](#)
- 7.8 [Control de calidad](#)
 - 7.8.1 [Muestreo](#)
 - 7.8.2 [Análisis a realizar para el control de calidad](#)
- 7.9 [Demanda química de oxígeno \(DQO\)](#)
- 7.10 [Total de sólidos suspendidos \(TSS\)](#)
 - 7.10.1 [Determinación de pH](#)
 - 7.10.2 [Determinación de fenoles](#)
 - 7.10.3 [Determinación de cianuro](#)
 - 7.10.4 [Determinación de arsénico](#)
 - 7.10.5 [Determinación de cadmio total](#)
 - 7.10.6 [Determinación de cromo total](#)
 - 7.10.7 [Determinación de mercurio total](#)
 - 7.10.8 [Determinación de plomo total](#)
 - 7.10.9 [Determinación de sulfuros](#)
 - 7.10.10 [Detergentes aniónicos](#)
 - 7.10.11 [Determinación de amoníaco](#)
 - 7.10.12 [Determinación de fósforo](#)
 - 7.10.13 [Determinación de coliformes fecales](#)
 - 7.10.14 [Determinación de coliformes totales](#)
- 8 [Referencias](#)
- 9 [Enlaces externos](#)

Características generales del agua

El agua, pese a ser una de las sustancias más comunes que se encuentran en la naturaleza, resulta ser, una sustancia muy particular, anómala en casi todas sus propiedades físico-químicas, y posiblemente una de la más compleja de todas las que están constituidas por un único compuesto químico. Su singularidad radica, en la facilidad con que sus moléculas forman grandes agregados tridimensionales cuando está en estado líquido. Esto la diferencia de los fluidos normales y explica los altos valores de viscosidad, tensión superficial y temperaturas de fusión y ebullición. Su estructura molecular en forma de racimos, todavía no muy bien conocida, se debe a que los átomos de hidrógeno no están geométricamente alineados con el oxígeno central, sino que se encuentran plegados formando un ángulo de 105° , lo que da lugar a una bipolaridad y a enlaces de hidrógeno entre moléculas adyacentes. La verdadera molécula de agua sería, pues $(H_2O)_n$, variando el valor de n con las condiciones de presión y temperatura. Debido a la disposición especial plegada de la molécula de agua, esta tiene una gran capacidad de disolución, siendo esta propiedad, precisamente, la que hace más vulnerable su calidad. Otra característica del agua es su gran estabilidad, incluso en altas temperaturas. A $2.700^\circ C$, únicamente el 11% se disocia en moléculas de hidrógeno y de oxígeno. De esto se deriva que la cantidad total de agua en la tierra permanece constante durante largos períodos, si bien su estado y situación varía, formando lo que se ha dado en llamar el ciclo hidrológico. En determinadas circunstancias el vapor de agua existente en la atmósfera se precipita en forma de lluvia o nieve. Parte del agua caída sobre la tierra se evapora directamente; otra parte, vuelve a la atmósfera a través de la evapotranspiración vegetal; el resto llega, por caminos más o menos complejos superficiales o subterráneos, al mar, donde, por evaporación, es restituida a la atmósfera, completándose así el ciclo. La masa de agua terrestre se clasifica en dos grandes subsistemas: superficiales (marinas y continentales) y subterráneas. Las aguas

subterráneas son las que se encuentran en las capas interiores de la tierra, en forma de corrientes o estancadas, constituyendo horizontes o capas acuíferas que afloran a la superficie de la tierra por fuentes o manantiales, o bien es extraída por medio de pozos. Las características físico-químicas del agua son constantes y dependen fundamentalmente de la naturaleza de las rocas que atraviesan. En general, no contienen materia viva. Las aguas superficiales (mares, ríos, lagos, etc.) poseen una composición físico-química variable, dependiendo de factores geológicos, geográficos, climáticos y biológicos. Las aguas marinas poseen una composición bastante homogénea de los elementos mayoritarios (cloruro, sodio, sulfato, magnesio, etc.). En el seno de las aguas superficiales se desarrollan y viven un gran número de organismos que dependen del medio para su existencia. La gran accesibilidad de esta agua para el hombre ha puesto su mejor uso y, por consiguiente, es responsable de la calidad del agua. A lo largo del ciclo hidrológico, el agua, que al pasar a la atmósfera por evaporación es agua destilada de máxima pureza, se va cargando de otras sustancias que determinan, en el momento de su utilización, las características de calidad. Aunque ya en la atmósfera el agua de lluvia recibe impurezas por gases, aerosoles, polvo y sales, si nos limitamos al ciclo natural, en el sentido de no considerar causas de contaminación debidas de una u otra forma a la actividad humana, la mayor parte de las impurezas provienen de las formaciones geológicas por las que discurre o en las que se almacena y que, en mayor o menor grado, va disolviendo. Por ello, la geología es un factor determinante de la composición del agua y, en definitiva, de su calidad natural. Así, por una parte, el agua, de acuerdo con la litología de las formaciones geológicas con las que está en contacto, resulta ácida o alcalina, con alto o bajo contenido de sales disueltas, con preponderancia de carbonatos, sulfatos, cloruros, etc. Por otra parte, el contacto con formaciones minerales puede ser ocasión para que en el agua se encuentren determinados elementos como el hierro, manganeso, cobre o mercurio cuya procedencia natural conviene conocer para diferenciarla de la contaminación posterior. La composición química y biológica que las aguas llegan a tener de forma natural se modifica por la recepción de efluentes, de muy diferentes características, originados por la actividad humana. Esta composición final es la que determina la calidad del agua en un determinado momento.

- **Aguas superficiales:** Se denomina de esta manera a las aguas que circulan sobre la superficie del suelo.

Artículo principal: [Agua superficial](#)

Pueden presentarse en forma correntosa como en el caso de corrientes, ríos y arroyos, o quietas si se trata de lagos, reservorios, embalses y lagunas. El agua superficial se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones y por la infiltración de aguas subterráneas. Para propósitos regulatorios, suele definirse al agua superficial como toda agua abierta a la atmósfera y sujeta a escorrentía superficial. Una vez producida, el agua superficial sigue el camino que le ofrece menor resistencia. Una serie de arroyos, riachuelos, corrientes y ríos llevan el agua desde áreas con pendiente descendente hacia un curso de agua principal. Esta área de drenaje suele denominarse como divisoria de aguas o cuenca de drenaje. Una divisoria de aguas es una cuenca circundada por un surco de gran profundidad, que separa áreas de drenaje diferentes. La calidad del agua está fuertemente influenciada por el punto de la cuenca en que se desvía para su uso. La calidad de corrientes, ríos y arroyos, varía de acuerdo a los caudales estacionales y puede cambiar significativamente a causa de las precipitaciones y derrames accidentales. Los lagos, reservorios, embalses y lagunas presentan en

general, menor cantidad de sedimentos que los ríos, sin embargo están sujetos a mayores impactos desde el punto de vista de actividad microbiológica. Los cuerpos de agua quietos tales como lagos y reservorios, envejecen en un período relativamente grande como resultado de procesos naturales. Este proceso de envejecimiento está influenciado por la actividad microbiológica que se encuentra relacionada directamente con los niveles de nutrientes en el cuerpo de agua y puede verse acelerada por la actividad humana.

- **Agua Subterráneas:** Se define como agua subterránea a la porción de agua subsuperficial que está sometida a una presión mayor que la atmosférica, de modo que fluye dentro de cavidades abiertas dentro de la tierra o que se mueve a través de su superficie bajo la forma de filtraciones o manantiales.

Artículo principal: [Agua subterránea](#)

El agua subterránea puede ingresar por varios caminos: proviene por ejemplo de la percolación de la precipitación directa, la infiltración de depósitos de agua superficiales y de la recarga artificial. Existen varias vías de salida tales como la evaporación de agua libre o bien de la humedad del terreno, la evapotranspiración, que se debe básicamente a la utilización y evaporación del agua por medio de la vegetación, escapes a ríos o arroyos o bien sistemas hechos por el hombre como los pozos de suministro. Las aguas subterráneas se pueden clasificar en general como de capa libre y confinada. En las aguas de capa libre el nivel freático puede subir o bajar dependiendo del nivel de las aguas superficiales, ya que actúan de modo similar a vasos comunicantes. El agua que penetra por infiltración puede llevar diferentes sustancias en disolución dependiendo del origen de la misma. El suelo funciona como filtro de muchas sustancias reteniéndolas, sobre todo materia orgánica. Sin embargo, algunas sustancias llegan al nivel freático y serán arrastradas por las aguas subterráneas. Las aguas subterráneas actúan como diluyente y, al no tener organismos que transformen la materia orgánica, como en las aguas superficiales, esta se degrada muy lentamente bajo la acción del oxígeno disuelto. Por ello, cualquier tipo de contaminación orgánica que se origine en las aguas subterráneas tarda muchos años en eliminarse y la inorgánica únicamente se diluye y circula dentro de las venas subterráneas. Actualmente, uno de los mayores problemas de las aguas subterráneas es la contaminación por nitratos de origen agrícola, estando totalmente prohibida la adición de sustancias tóxicas y peligrosas por cualquier procedimiento: infiltración, inyección, etc., ya que estas no tienen ningún mecanismo de eliminación y solo pueden diluir dichas sustancias. El suelo que se encuentra por debajo de la superficie terrestre se compone de dos zonas hidrogeológicas diferentes; la zona no saturada y la zona saturada. La zona no saturada constituye un sistema de tres fases: sólido, líquido y gas. Los sólidos generalmente están constituidos por materiales inorgánicos y orgánicos. La materia orgánica corresponde a los restos de plantas y animales sepultados y que se encuentran en diferentes etapas de degradación. La fase líquida está constituida por agua la cual contiene sólidos disueltos. Por su parte, la fase gaseosa incluye vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera aunque no necesariamente en la misma proporción. La zona saturada, en cambio, comprende a todos los materiales ubicados por debajo del nivel freático.

Concepto de contaminación aplicado al agua

Artículo principal: [Calidad del agua](#)

Decir que un agua se encuentra contaminada o no es un concepto, de alguna manera relativa, ya que no se puede hacer una clasificación absoluta de la “calidad” del agua. El agua destilada que, desde el punto de vista de la pureza, tiene el más alto grado de calidad, no es adecuada para beber, esto es porque el grado de calidad del agua ha de referirse a los usos a que se destina. La determinación del estado de la calidad de un agua estará referida al uso previsto para la misma. De igual manera el concepto de contaminación ha de estar referido, a los usos posteriores del agua. En este sentido, la Ley de Aguas (Espanola, Artículo 85) establece que se entiende por contaminación: Contaminación: La acción y el efecto de introducir materias o formas de energía que impliquen una alteración perjudicial de la calidad del agua en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.^{1 2}

Usos del agua



Se ha sugerido que este artículo o sección sea **fusionado** con **Aqua** (**discusión**).

Una vez que hayas realizado la fusión de artículos, pide la fusión de historiales **aquí**.

- Agua destinada a la producción de agua potable
- Agua destinada al consumo y usos domésticos
- Agua destinada a fines industriales.
- Agua destinada a fines agrícolas:
- Riego.
- Consumo de los animales.
- Agua destinada a actividades recreativas:
- Contacto primario con el agua.
- Contacto secundario con agua.
- Vida acuática:
- Especies sensibles a la contaminación.
- Especies tolerantes a la contaminación.

Las aguas destinadas al consumo público deberán de tener los tratamientos adecuados con el fin de obtener una calidad determinada. Como norma general hay que tener en cuenta que el fin último es la protección de la salud pública. El agua requerida para la industria suele ser de inferior calidad que la requerida para usos domésticos o para el consumo, si bien hay que tener en cuenta que ciertas industrias necesitan de aguas tratadas más cuidadosamente. La calidad mínima necesaria para poder utilizarla en cada uno de los procesos industriales es distinta según el agua sea utilizada o consumida; ya que la utilización implica la devolución íntegra del volumen de agua tomada para un determinado proceso, mientras que el consumo implica que el agua se incorpora de alguna manera, al producto fabricado, pasando a formar parte de él. No todas las aguas son aptas para riego, dependiendo su mayor o menor bondad, no sólo de su contenido iónico en calidad y cantidad, sino de otra serie de factores, como son entre otros la permeabilidad del suelo, su pH, tipo de cultivo a irrigar, sistema de riego, etc.

Fuentes de contaminación del agua

Artículo principal: **Contaminación hídrica**

Origen del líquido cloacal

Las aguas cloacales (residuales) están compuestas principalmente por el desecho de tres grupos principales:

Aguas de uso doméstico: son, simplemente, las que se utilizan para el aseo personal, en la cocina y para limpieza. Residuos humanos: son las que se usan para el transporte de materia fecal y orina hacia las cloacas. Residuos no domiciliarios: provenientes de actividades industriales, comerciales y de servicios. Este grupo suele contener la mayor carga de contaminación por lo que suele exigirse un pretratamiento de las aguas que se vuelcan a la red cloacal (principalmente a las industrias), que en muchos casos no se cumple o es ineficiente.

Impacto ambiental

Características del líquido cloacal

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental tanto para su tratamiento y evacuación, como para la gestión de la calidad medioambiental. Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y microbiológica. Estas propiedades se relacionan entre sí; por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad microbiológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua.

Características físicas

Las características físicas más importantes de un agua residual son el contenido total de sólidos, el olor, la temperatura, la densidad, el color, la turbiedad y el pH.

Artículo principal: [*Total de sólidos en suspensión*](#)

- **Sólidos.** Analíticamente, se define el contenido de sólidos como el residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a aproximadamente 105 °C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente con forma de cono (llamado cono Imhoff) en el transcurso de un tiempo determinado. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/l y constituyen una medida aproximada de la cantidad de barros que se obtendrán en la decantación. Los sólidos totales pueden clasificarse también en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión). Para el proceso de separación se utiliza un filtro de fibra de vidrio. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en solución. Normalmente no es posible eliminar este tipo de sólidos por decantación, por lo que se debe recurrir a la oxidación biológica o a la coagulación con agentes químicos y posterior decantación. Cada categoría de sólidos puede ser, a su vez, dividida en función de su volatilidad a 550 °C aprox. Temperatura a la que los compuestos orgánicos se oxidan y pasan a ser gases, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. Estos son los sólidos volátiles y sólidos fijos.

- Contaminación debida a los sólidos. El vuelco de sólidos a cursos de agua puede causar interferencia en el curso natural de las aguas. Por la sedimentación excesiva de sólidos pueden crearse ambientes propicios para degradación anaerobia. Por otro lado, la presencia de sólidos suspendidos en el agua interfiere en el normal desarrollo de la vida acuática, disminuyendo la profundidad a la que penetra la luz solar.
- Olores. Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual resiente puede tener un olor desagradable, pero que resulta más tolerable que el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce de la reducción de sulfatos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales de las industrias pueden contener compuestos olorosos en si mismos.
- Efectos de los olores. A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan, que por el daño que pueden producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos, y crear perturbaciones mentales. Compuestos olorosos asociados al agua residual

Compuestos olorosos Calidad del olor

Aminas	A pescado
Amoníaco	Amoniacal
Diaminas	Carne descompuesta
Sulfuro de Hidrógeno	Huevos podridos
Mercaptanos	Coles descompuestas/Mofeta
Sulfuros orgánicos	Coles podridas
Eskatol (C ₉ H ₉ N)	Materia fecal

- Temperatura. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para determinados usos útiles. Por otro lado, el oxígeno se hace menos soluble con el aumento de la temperatura del agua. El aumento de las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con el vertido de cantidades considerables de agua caliente puede provocar la disminución drástica de la concentración de O₂ en las aguas dependiendo, también, del curso receptor. Hay que tener en cuenta, además, que un cambio brusco en la temperatura puede conducir a un fuerte aumento de la mortalidad de la vida acuática y puede dar lugar a la proliferación de plantas acuáticas y hongos.
- Densidad. Es importante durante el tratamiento ya que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en lodos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento.

- **Color.** Sirve, junto con el olor, para determinar cualitativamente la edad de un agua residual. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua cambia de gris a gris oscuro, para adquirir finalmente un color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris oscuro o negro del agua es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro generado por la descomposición anaerobia con los metales presentes en el agua.
- **Turbiedad.** La turbiedad, como medida de la capacidad de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se utiliza para indicar la calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.
- **pH.** El pH es un parámetro crítico para el desarrollo adecuado y la proliferación de los microorganismos y la mayor parte de las formas de vida, por lo que un agua residual con un pH inadecuado resulta muy difícil de tratar. También hay que tener en cuenta que este parámetro gobierna innumerables procesos químicos que pueden no ser favorables para las personas o el medio ambiente y que pueden estar favorecidos por un cambio en este. Un ejemplo muy claro es la posibilidad de que un efluente que contenga cianuro de sodio se encuentre con un efluente ácido generando ácido cianhídrico, que es un gas letal.

Características químicas

Para el estudio de las características químicas de las aguas cloacales se deben tener en cuenta la materia orgánica presente, la materia inorgánica y los gases disueltos.

- **Materia orgánica.** Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en un agua residual son las proteínas (entre un 40% y un 60%), los hidratos de carbono (25%-50%), y las grasas y los aceites (aprox. 10%). Otro compuesto con importante presencia es la urea, principal constituyente de la orina, que por su rápido proceso de descomposición raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes. Junto a los ya mencionados, el agua residual contiene pequeñas cantidades de un gran número compuestos orgánicos cuyas estructuras pueden ser simples como extremadamente complejas. En este grupo se encuentran los detergentes, los contaminantes orgánicos prioritarios, los compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas de uso agrícola. Debido al incremento de la síntesis de moléculas orgánicas, el número de ellas presentes en el agua residual aumenta cada año.
- **Proteínas.** La composición química de las proteínas es muy compleja e inestable, pudiendo adoptar muchos mecanismos de descomposición diferentes. Además, como característica distintiva, contienen una elevada cantidad de nitrógeno y en muchos casos, también contienen azufre, fósforo y hierro. La urea y las proteínas son la principal fuente de nitrógeno de las aguas residuales.

- Hidratos de carbono. Desde el punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono más importante en el agua residual. La destrucción de la celulosa es un proceso que se da sin dificultad, principalmente, gracias a la actividad de algunos hongos, cuya acción es notable en condiciones ácidas.
- Grasas y aceites. Las grasas y aceites son compuestos de alcohol (ésteres) o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Químicamente son parecidos y los que son sólidos a temperatura ambiente se denominan grasas y aceites aquellos que están en estado líquido. Las grasas se encuentran entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad y no son fáciles de degradar biológicamente. Contaminan los cursos de agua formando una película sobre la superficie que impide el pasaje del oxígeno al agua.
- Detergentes. Se clasifican como biodegradables y no biodegradables. Para la eliminación de estos últimos debe recurrirse a métodos fisicoquímicos. Generan espumas que interfieren con el proceso de depuración en las plantas de tratamiento y le dan un mal aspecto al las mismas.
- Pesticidas y Productos Químicos de Uso Agrícola. Estos compuestos no son de las aguas residuales, sino que suelen incorporarse a las mismas, como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y otras causas. La mayoría de estos productos son tóxicos para la mayor parte de las formas de vida, por lo que se consideran peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Las concentraciones de estos productos químicos pueden provocar la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado (con lo que se reduce su valor nutritivo), y el empeoramiento de la calidad del agua.
- Materia inorgánica. Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales que tienen importancia para la determinación y control de calidad del agua. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo de eliminar los constituyentes inorgánicos.
- Alcalinidad. En las aguas residuales, está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio. De todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el de magnesio. La presencia de estos compuestos ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina.
- Nitrógeno y fósforo. Estos elementos son esenciales para el desarrollo de algunos microorganismos por lo que se conocen como nutrientes. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, también son necesarias para el crecimiento biológico. Puesto que el nitrógeno es básico para la síntesis de proteínas, es necesario conocer la cantidad del mismo en las aguas para valorar la posibilidad del tratamiento biológico de las aguas residuales. Cuando la cantidad de nitrógeno es insuficiente, es necesario añadirlo para hacer tratable el agua. Cuando este se encuentra en exceso, puede ser necesaria la reducción de las cantidades de nitrógeno para evitar el crecimiento desmedido de algas. El fósforo también esencial para el crecimiento de las algas por lo que también debe ser controlado a la hora de verter el agua a los cuerpos receptores. Las

formas más comunes en los que pueden encontrarse estos componentes son: para el caso del nitrógeno, el nitrógeno orgánico, el amoníaco, nitritos y nitratos. El fósforo se encuentra normalmente como fosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos.

- Azufre. El ion sulfato se encuentra tanto en las aguas de abastecimiento como en la residual. Para la síntesis de las proteínas es necesario disponer de azufre, que posteriormente se libera en el proceso de degradación. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias.
- Metales pesados. Entre ellos se destacan el Ni, Mn, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe, Hg, As. Algunos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida y la ausencia de cantidades suficientes podría limitar el crecimiento de las algas, por ejemplo. Debido a su toxicidad, la presencia en cantidades excesivas de cualquiera de ellos interferirá con el uso que se le pueda dar al agua. Es por ello que es conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias. Algunos de ellos son de uso común en la actividad agrícola y la industrial, por lo que sus límites están legislados.

Metales pesados legislados y sus efectos

Metal	Efectos
Cromo	Carcinógeno y corrosivo. A largo plazo provoca daño en los riñones y sensibilidad de la piel.
Cadmio	Carcinógeno y altamente tóxico. A largo plazo se concentra en el hígado, riñones, páncreas y tiroides. Puede provocar hipertensión.
Plomo	Tóxico por ingestión o inhalación. A largo plazo produce daños cerebrales y en los riñones. Produce defectos de nacimiento.
Mercurio	Altamente tóxico por adsorción cutánea y por inhalación. A largo plazo produce daños al sistema nervioso. Puede causar defectos de nacimiento.
Arsénico	Carcinógeno y mutagénico. A largo plazo puede provocar fatiga y falta de energía. También produce enfermedades en la piel.

- Gases. Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas residuales son el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el metano. Los tres primeros son gases presentes en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos son producto de la descomposición (aerobia y anaerobia) de la materia orgánica.
- Oxígeno disuelto. Es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida. Es ligeramente soluble en agua y su presencia, al igual que la del resto de los gases, está condicionada por la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura, la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos, etc.). Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de oxígeno disuelto.

- Sulfuro de Hidrógeno. Como ya fue mencionado, proviene de la descomposición anaerobia de la materia orgánica que contiene azufre o la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable y con un olor típico. El ennegrecimiento de las aguas residuales se debe principalmente a la formación de sulfuro ferroso y otros sulfuros metálicos.
- Metano. Es el principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Normalmente no se encuentra en las aguas residuales porque pequeñas cantidades de oxígeno son tóxicas para los microorganismos responsables de su producción.

Características microbiológicas

Organismos Patógenos Tal vez la característica más importante de las aguas residuales en este aspecto es la presencia de organismos patógenos procedentes de desechos humanos que estén infectados o sean portadores de una cierta enfermedad. Los principales grupos de organismos patógenos son las bacterias, los virus, los protozoos y los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios.

Tratamiento de efluentes



Se ha sugerido que este artículo o sección sea [fusionado](#) con [Estación depuradora de aguas residuales](#) ([discusión](#)).

Una vez que hayas realizado la fusión de artículos, pide la fusión de historiales [aquí](#).

Introducción

Las aguas residuales recorren la planta depuradora y pasan por una serie de etapas o procesos. La combinación de estas etapas dependerá del líquido a depurar y la exigencia para su vuelco. Mediante estas etapas de tratamiento el líquido cloacal se separa en efluente tratado y en lodo o barro. El efluente tratado se descarga en un cuerpo receptor o reutiliza, mientras que el lodo se trata y dispone (en rellenos sanitarios) o se reutiliza (elaboración de biosólidos).

Etapas del tratamiento de efluentes

Genéricamente, todas las plantas de tratamiento obedecen el siguiente esquema básico:

En la actualidad existen muchas formas de realizar cada una de las etapas, que van desde los métodos más simples y generalmente manuales, a los más complejos y automatizados.

Pretratamiento

El objetivo del pretratamiento es la remoción de los sólidos gruesos y sólidos inertes. Los sólidos gruesos son basura, en general, plásticos, ramas, trapos, etc. arrastrados por la corriente de líquidos residuales y que ingresan el sistema de drenaje, generalmente, por descuido o mal uso. Los sólidos inertes son principalmente arena y partículas de tierra. La importancia del pretratamiento es que si no se separan estos materiales en esta etapa, más adelante pueden obstruir cañerías, dañar equipos electromecánicos, ocupar espacio útil u ocasionar distorsiones en la unidad de tratamiento siguiente. Esta etapa del proceso puede ser realizada con los siguientes dispositivos:

- **Rejas:** utilizadas para la remoción de residuos de tamaño relativamente grande que pueden producir daños en las estaciones de bombeo o depósitos en los canales, provocando obstrucciones. Se colocan antes de los pozos de bombeo. Para rejas gruesas se podrá retener partículas con diámetro entre 4 y 10 centímetros, para rejas medias entre 2 y 4 centímetros y para rejas finas entre 1 y 2 centímetros.
- **Tamizado:** los tamices son utilizados para la remoción de residuos de tamaño comprendido entre 0,25 y 2,5 cm de diámetro, que pueden producir daños en las estaciones de bombeo o depósitos en los canales, provocando obstrucciones y acumulaciones en la planta de tratamiento. Suelen colocarse a continuación de los sistemas de rejas.
- **Desarenado:** remoción de arena y sólidos discretos con el objeto de proteger los equipamientos subsecuentes contra la abrasión, evitar obstrucciones, canalizaciones y depósitos de materiales inertes en los decantadores y digestores.
- **Compensación:** se utiliza para atenuar variaciones y obtener un efluente líquido de caudal y calidad uniformes, cuando se tienen oscilaciones significativas en cuanto a la cantidad y calidad de la corriente de desecho. Esta operación reduce la variabilidad del tratamiento, permitiendo la utilización de plantas más compactas con un mejor aprovechamiento de todas las unidades.
- **Separación de aceites y grasas:** se utilizan desengrasadores gravitatorios de diseño simple que permiten la separación de grasas no emulsionadas por el efecto de flotación natural, y sin el agregado de aire en el efluente.
- **Neutralización:** consiste en el agregado de soluciones ácidas o alcalinas para llevar el pH extremadamente alto o bajo de un efluente líquido, a valores cercanos a la neutralidad (rango de pH: 6 a 9).

Tratamiento primario

El objetivo en esta etapa es la remoción física de los sólidos en suspensión y materia orgánica. Los métodos para llevar a cabo esta etapa son:

- **Sedimentación:** remoción de las partículas sedimentables, granulares y floculentas por la acción de la gravedad.

- **Flotación:** separación de la materia suspendida. Se utiliza principalmente para lograr el espesamiento de suspensiones de barros químicos o biológicos. Consiste en la inyección de aire a presión en la masa líquida, la cual se conduce a un tanque a presión atmosférica, provocando la liberación del aire disuelto en pequeñas burbujas que permiten el ascenso de las partículas suspendidas, para ser recogidas en la superficie.
- **Coagulación:** es el proceso de adición de reactivos químicos para producir la desestabilización de las partículas coloidales y permitir en la etapa de floculación su aglomeración con otras partículas suspendidas, de modo tal que se puedan formar agregados capaces de sedimentar en forma más rápida.
- **Floculación:** consiste en la aplicación de agitación suave a la corriente que ha sido sometida a una etapa de coagulación, para promover el contacto entre las partículas y posterior formación de partículas mayores.

Tratamiento secundario

El objetivo en esta etapa es la degradación de la materia orgánica en un reactor biológico, a través de la actividad microbiológica (generalmente bacteriana) que la utilizan como sustrato y alimento. Estos reactores son el lugar donde tiene lugar la formación de la masa de microorganismos. Parte de esta biomasa se desprende y es arrastrada por el efluente, por lo que, generalmente, los reactores son seguidos por sedimentadores. Los sólidos sedimentados se recirculan al reactor biológico pero parte se descarta, a fin de mantener bajo control la población de microorganismos. Los sistemas biológicos utilizados a nivel industrial que se aplican por lo general como tratamiento secundario pueden ser de tipo aerobio y anaerobio. Entre los procedimientos aeróbicos existe una diversidad de tecnologías disponibles como barros activados, lagunas de aireación, lechos percoladores, etc. Los procesos anaeróbicos son fundamentalmente procesos de digestión que pueden aplicarse a residuos líquidos o sólidos e incluyen generalmente separación y aprovechamiento del gas producido. La transformación de la materia orgánica en metano y CO₂ se lleva a cabo en tres etapas consecutivas en las cuales intervienen diferentes grupos de bacterias con formación de ácido acético, propiónico, butírico, láctico, fórmico, CO₂ e H₂ para llegar finalmente a metano y CO₂. Cuando se comparan procesos aerobios con anaerobios se suele enfatizar que existe una marcada preferencia por el uso de procedimientos anaerobios debido fundamentalmente a la economía de energía lograda, dado que los costos de operación de los sistemas aerobios son cada vez más elevados. Sin embargo, la comparación debe hacerse en forma más completa. Por ejemplo, debe tenerse en cuenta la presencia de compuestos tóxicos (como el fenol) o de los llamados recalcitrantes o xenobióticos, que son aquellos cuya biodegradabilidad es muy dificultosa. Existen tres factores fundamentales para determinar la capacidad de un tratamiento biológico de efluentes que contengan compuestos tóxicos o recalcitrantes. Esos factores son: La naturaleza de la conversión química necesaria. Por ejemplo los derivados halogenados aromáticos son más fácilmente atacados por comunidades anaeróbicas, mientras que en el caso de comunidades aeróbicas los compuestos tienden a polimerizarse primero, haciéndose más difícilmente atacables después. La fisiología de los microorganismos comprendidos. La digestión anaeróbica puede considerarse como un proceso en serie y es por lo tanto más vulnerable que la aeróbica que comprende microorganismos y caminos metabólicos que actúan en paralelo. Una variedad de compuestos como

amoníaco, agua oxigenada, sulfitos, sulfatos e hidrógeno sulfurado, que no interfieren en tratamientos aerobios pueden ser inhibidores de las bacterias metanogénicas. Diseño del proceso y operación de la planta. A pesar de que existen procesos aerobios muy difundidos y eficientes para tratamiento de aguas residuales que contienen fenoles, amoníaco y cianuros, se ha demostrado recientemente que también pueden tratarse anaeróbicamente con reactores de filtro, empleando carbón activado, lo cual demuestra la importancia del adecuado diseño del proceso. La tendencia moderna considera que los sistemas son, más que excluyentes, complementarios, ya que las comunidades microbianas anaeróbicas son específicamente ventajosas a altas temperaturas y altas concentraciones de sustratos, especialmente insolubles, mientras que las comunidades microbiológicas aeróbicas son indispensables para bajos niveles de sustratos, condiciones ambientales variables y distintos productos químicos.

Esta etapa puede realizarse dependiendo la clasificación, mediante los siguientes procesos:

Tratamiento biológico aeróbico

- Cultivo Suspendido
 - **Barro activado convencional:** en general el barro activado convencional se diseña con un tiempo de retención celular promedio de entre 3 y 15 días de permanencia. Este valor de tiempo de retención celular promedio se corresponde con un tiempo de residencia hidráulica de entre 4 y 8 horas para líquido cloacal doméstico si la concentración de sólidos suspendidos del líquido mezcla es de alrededor de 2000 mg/L. La recirculación generalmente oscila entre el 10 y el 30% del caudal de la alimentación y el barro de purga puede provenir tanto de la línea de recirculación como de la cámara de aeración.
 - **Barro activado aeración extendida:** la versión de la aeración extendida en el proceso de barro activado fue concebida para superar dos inconvenientes del sistema convencional: la gran cantidad de barro residual que debe ser dispuesto y la necesidad de controlar de cerca la operación del proceso. Se caracteriza por favorecer un contacto prolongado entre el líquido y la masa de microorganismos, de modo tal que se obtenga una elevada eficiencia del proceso y una oxidación en la fase endógena, hasta que el lodo residual presente características de buena sedimentabilidad y filtrabilidad, sin presencia de olor.
 - **Reactor discontinuo secuencial (SBR):** este sistema es un tipo de barro activado, en el cual se combinan en un único reactor las funciones de aeración, sedimentación y decantación. El proceso emplea un ciclo de cinco etapas: llenado, reacción, sedimentación, vaciado y eliminación del barro. Durante la etapa de llenado, el efluente ingresa al tanque y se mezcla con la biomasa sedimentada remanente del ciclo anterior. A continuación comienza la etapa de reacción, que implica la aeración del efluente y del licor mezcla para oxidar la materia orgánica presente. La aeración y agitación se detienen durante la etapa de sedimentación, permitiendo que los sólidos sedimenten. El líquido sobrenadante se

clarifica durante la etapa de decantación y finalmente los sólidos se remueven del fondo del tanque durante la etapa de vaciado. La mayoría de las instalaciones cuenta con dos o más tanques en paralelo, de modo tal que cuando el primer tanque finaliza su ciclo, el segundo reactor se encuentra en la etapa de llenado.

- **Zanjas de oxidación:** este tipo de sistema de tratamiento conserva los mismos principios básicos de los sistemas de barros activados, con períodos de aeración mayores de los que se adoptan en general, en los procesos convencionales, y características que lo incluyen entre la modalidad de aeración prolongada u oxidación total.
- Película Fija
 - **Lecho percolador:** es un tipo de reactor biológico de película fija con configuración de columna rellena. Si bien en un principio el relleno de los lechos percoladores estaba constituido exclusivamente por piedra, lo que limitaba su altura a aproximadamente 2 metros, en la actualidad se utilizan diferentes tipos de rellenos plásticos de menor peso y mayor superficie específica, donde se ha podido alcanzar alturas de reactores mayores. En este tipo de reactores, los microorganismos crecen formando una película biológica delgada sobre el material de relleno. Simultáneamente la película biológica remueve la materia orgánica contenida en el agua residual que percola a través del relleno o lecho sin inundarlo.
 - **Lecho percolador de baja carga:** son sistemas de tratamiento relativamente simples que pueden producir un efluente de buena calidad. En la mayoría de estas unidades solamente la parte superior del lecho (0,6 a 1,2 m) tendrá un crecimiento biológico considerable. Por lo tanto, si las condiciones climáticas y las características del líquido a tratar son favorables, en la parte inferior del lecho suele establecerse una población de microorganismos autotróficos capaces de transformar en nitrato el amoníaco del líquido residual.
 - **Lecho percolador de alta carga:** en este tipo de lechos percoladores es posible tratar cargas orgánicas mayores mediante el uso de recirculación. La recirculación generalmente permite incrementar el arrastre del mayor volumen de biomasa generada evitando problemas de colmatación y reduciendo los problemas de olores y moscas.
- **Discos biológicos rotativos:** consisten en una serie de discos montados sobre un eje en forma paralela. El conjunto se coloca en el interior de un tanque ubicando el eje ligeramente sobre la superficie del líquido, de modo que los discos se encuentran semisumergidos. Los microorganismos se adhieren y crecen sobre la superficie que ofrecen los discos mientras el eje gira lentamente, permitiendo que todos los microorganismos entren en contacto con el líquido a tratar. La aeración del sistema se logra mediante dos mecanismos: cuando una parte del disco biológico emerge de la fase líquida, queda sobre su superficie una película líquida muy delgada que está expuesta a la atmósfera. De este modo, durante el

período de emergencia del disco se produce una transferencia de oxígeno desde el aire hacia la película líquida. Al volver a sumergir el disco y su película líquida con alto contenido de oxígeno en la fase líquida se produce la aeración de la misma.

Tratamiento biológico anaeróbico

- **Reactor de manto de barros (UASB):** en este tipo de tratamiento, la corriente a tratar es introducida por el fondo del reactor y fluye en forma ascendente a través del manto de barros compuesto de gránulos o partículas conformadas por microorganismos. El tratamiento se produce cuando el efluente se pone en contacto con los gránulos, generándose metano y dióxido de carbono como resultado de la reacción de degradación. La corriente gaseosa se recoge en la parte superior del reactor en un colector de gases, contándose además con un sistema de retención de los gránulos que ascienden por acción de las burbujas de gas generadas y un colector de nieblas que permite separar la fase líquida.
- **Filtro anaeróbico:** es un sistema en el cual se realiza la inmovilización de la biomasa sobre un material que actúa de medio soporte fijo. El flujo hidráulico circula por los intersticios del lecho formado por el material de soporte y la biomasa, ocurriendo allí las reacciones de degradación de la materia orgánica. En condiciones favorables, cuanto mayor es el área superficial del material de soporte por unidad de volumen, mayor será la biomasa adherida y, en consecuencia, mayor la capacidad de tratamiento.

Lagunas de estabilización

Son grandes tanques excavados en la tierra, aisladas, de profundidad reducida, generalmente menores a los 5 metros, diseñados para el tratamiento de aguas residuales, por medio de la interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales tales como factores físicos, químicos y meteorológicos.

- **Laguna anaeróbica:** son estanques de profundidad entre 2,5 y 5 metros, dimensionadas para recibir cargas orgánicas superiores a $0,1 \text{ kg DBO/m}^3 \text{ día}$, con tiempos de retención de 3 a 6 días. La elevada carga orgánica suprime la actividad fotosintética de las algas, con lo cual se tiene ausencia de oxígeno en todos sus niveles. En estas condiciones las lagunas actúan como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla, obteniéndose un efluente con alta proporción de materia orgánica, el cual requiere un proceso de tratamiento complementario.
- **Laguna facultativa:** son cuerpos de agua superficiales, de 1 a 2 metros de profundidad que se extienden sobre un área relativamente grande, en la cual los efluentes permanecen por un período aproximado de 15 a 50 días. La remoción de materia orgánica se logra a través de procesos físicos, químicos y biológicos, que involucran la acción de algas y bacterias bajo la influencia de la luz solar (fotosíntesis), produciéndose la estabilización de la materia orgánica bajo la forma de células de algas nuevas y compuestos finales inorgánicos, como el CO_2 . Las características principales de las lagunas facultativas son el

comensalismo entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaeróbica de los sólidos sedimentados en el fondo.

- **Laguna aeróbica:** son sistemas de gran extensión y muy poca profundidad, alrededor de 0,5 m, que presentan una alta concentración de algas y de oxígeno disuelto en su totalidad. En general se utilizan al final de un tren de tratamiento que incluye lagunas anaeróbicas y facultativas y el objetivo principal es lograr la remoción de organismos patógenos, sólidos en suspensión y nutrientes, brindando además la posibilidad de mejorar la calidad del efluente, por lo cual pueden llegar a considerarse como un tratamiento terciario.
- **Laguna aireada:** las lagunas aireadas son tanques excavados en el terreno de profundidad comprendida entre los 2,5 y 4 metros, provistas de aireadores superficiales mecánicos que se encuentran instalados sobre boyas, tarimas o fijados a columnas o unidades de aire difuso, los cuales permiten transferir el oxígeno al seno del líquido. En este tipo de lagunas la aireación suministrada artificialmente reemplaza a la oxigenación realizada por las algas en las lagunas de estabilización.
- **Laguna de decantación:** son lagunas que se colocan a continuación de la laguna aireada a fin de obtener un efluente que pueda ser vertido a un curso receptor con una concentración reducida de sólidos en suspensión, y en consecuencia con menor concentración de materia orgánica.

Tratamiento terciario

Este tipo de tratamiento, también conocido como tratamiento avanzado, tiene por objetivo el mejoramiento de la calidad del efluente que abandona la etapa de tratamiento secundario.

- **Intercambio iónico.** Consiste en el intercambio de iones que se encuentran en solución por otros iones presentes en un medio. Esta operación se utiliza para la eliminación de dureza en el tratamiento de aguas y para la remoción de metales tóxicos o recuperación de metales preciosos en el tratamiento de efluentes líquidos. Existe una gran cantidad de sustancias naturales aptas para el intercambio de iones, aunque en la actualidad se ha desarrollado una amplia variedad de medios sintéticos, tales como las resinas, que son altamente específicos para algunos iones y que presentan elevada eficiencia de remoción.
- **Adsorción.** Es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido, dándose este fenómeno cuando la superficie se encuentra en contacto con la solución. La fase sólida se denomina adsorbente, siendo el carbón activado el más ampliamente utilizado, mientras que el soluto adsorbido recibe el nombre de adsorbato.

Desinfección

Es la etapa final del tratamiento. La finalidad de la desinfección es la destrucción de los organismos que causan enfermedades. En el campo de las aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos que causan enfermedades son las bacterias, los virus

y los quistes amebianos. Para determinar la eficiencia de la desinfección se utilizan organismos indicadores (coliformes) cuya eliminación se considera indicativa de que todos los organismos han muerto. La desinfección puede realizarse por métodos físicos (rayos ultravioletas, calor) o químicos (Hipoclorito de sodio, ácido hipocloroso, dióxido de cloro, cloro gaseoso, ozono).

Control de calidad

El efluente tratado debe cumplir con las Normas de Calidad de Volcamiento de Líquidos, Ley N° 11220, Anexo B.

Muestreo

La integridad de cualquier resultado del laboratorio depende de un correcto muestreo y traslado de las muestras desde la planta hacia el laboratorio. El muestreo se debe realizar en puntos predeterminados en los que se requiera conocer determinadas características del líquido cloacal (por ejemplo, sólidos sedimentables a la entrada y salida de los sedimentadores) al fin de mantener el proceso bajo control. Para obtener muestras representativas debe dejarse de lado los posibles materiales flotantes acumulados en los rincones donde el agua está parcialmente estancada. Debido a la alta complejidad de las matrices y la rápida alteración de las mismas en este tipo de muestras, es necesario un traslado rápido al laboratorio, como así también rapidez en el análisis. Pueden tomarse dos tipos de muestras diferentes, dependiendo del tiempo disponible de los análisis. Una es una muestra instantánea. La otra es una muestra media, que consiste de porciones de aguas residuales que se toman a intervalos regulares de tiempo, siendo proporcional el volumen de cada porción al flujo del agua en el momento de la recolección. Todas las porciones se mezclan para formar una muestra final representativa. El rotulado de la muestra debe contener el tipo de muestra, lugar de extracción, nombre del extractor, tipo de análisis, destino (si no se analiza en el lugar), fecha, hora y observaciones (de ser necesario).

Análisis a realizar para el control de calidad

Artículo principal: [Demanda biológica de oxígeno](#)

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO) Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado. La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable. Este ensayo consiste en la siembra de una porción de la muestra de agua (diluida generalmente), donde se mide la concentración inicial de oxígeno y se incuba a una cierta temperatura durante un lapso de tiempo determinado. Con el fin de asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos es preciso diluir la muestra con una solución especialmente preparada de modo que se asegure la disponibilidad de nutrientes y oxígeno. El agua de dilución consiste en agua bidestilada o de mayor calidad con una cantidad de oxígeno preferentemente mayor a 8mg/l y entre los nutrientes más comunes, fosfatos de sodio y potasio y cloruro de amonio y férrico. De ser necesario, el agua de dilución también debe contener un inóculo de microorganismos (en efluentes desinfectados, por ejemplo). En el caso de tener que realizarse diluciones, debe también incubarse paralelamente un blanco del agua de dilución, en el cual no debe disminuir el oxígeno disuelto más de 0.2mg/l para

ser considerado de buena calidad. El periodo de incubación estándar es de 5 días a 20 °C y sin nitrificación.

DBO5 Sin Nitrificación Es la que se toma como referencia para el control de efluentes. En los líquidos residuales, además de la materia orgánica carbonosa, hay otros compuestos que consumen oxígeno. Estos compuestos son principalmente el nitrógeno oxidable y compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros). Entre ellos, el principal causante de interferencias es el nitrógeno, por lo que se adiciona un inhibidor (el más ampliamente usado es la 2-cloro-6-(triclora metil) piridina). La DBO (5 días, 20 °C) simula la primera etapa del proceso natural de biodegradación. En este tiempo, sólo se descompone alrededor del 60-70% de las sustancias más fácilmente biodegradables (carbohidratos).

Toma de muestras y almacenamiento Las muestras para el análisis de DBO pueden degradarse significativamente mientras están almacenadas entre su recogida y el análisis, y como resultado producir valores bajos de DBO. Si el análisis no se efectuará dentro de las primeras dos horas, se debe almacenar las muestras por debajo de los 4 °C. El análisis deja de ser representativo una vez pasadas 24h de tomada la muestra.

Medida de la Concentración de Oxígeno Inicial y Final La determinación del oxígeno puede hacerse mediante iodometría, métodos manométricos, o con el uso de electrodos de membrana permeable al oxígeno.

Cálculos Cuando el agua de dilución no está inoculada

$$\text{DBO5, mg/l} = (\text{OD1} - \text{OD2}) / P$$

Cuando el agua de dilución está inoculada

$$\text{DBO5, mg/l} = (\text{OD1} - \text{OD2}) - (\text{B1} - \text{B2})f / P$$

Cuando la muestra no está diluida

$$\text{DBO5, mg/l} = \text{OD1} - \text{OD2}$$

Donde:

OD1= oxígeno disuelto inicial.

OD2= oxígeno disuelto final.

P= fracción decimal de la muestra.

B1= oxígeno disuelto inicial del control del agua inoculada.

B2= oxígeno disuelto final del control del agua inoculada.

f=proporción de la simiente (fuente del inóculo de MO)= (% simiente en la muestra diluida) / (% simiente en el control).

Demanda química de oxígeno (DQO)

Artículo principal: [Demanda química de oxígeno](#)

La DQO, al igual que la DBO, es una medida del contenido orgánico de un agua residual. La diferencia radica en que en la DQO no solo se oxida la materia orgánica biodegradable, sino también, toda la materia orgánica susceptible de ser oxidada químicamente. Es por esto que el valor de la DQO es siempre superior al de la DBO. Para lograr la oxidación de la materia orgánica se utiliza un oxidante potente (generalmente dicromato de potasio, ocasionalmente permanganato de potasio), en un medio fuertemente ácido (ácido sulfúrico). Para facilitar la oxidación se utiliza un catalizador (sulfato de plata) y se realiza el ensayo a altas temperaturas por un tiempo determinado. Debido a que los cloruros interfieren en el ensayo (se oxidan, reduciendo parte del Cr) es necesario inhibirlos, esto se hace adicionando sulfato mercúrico que capta el cloro formándose el HgCl_2 . La DQO se detiene aproximadamente a las siete horas del análisis, a partir de ahí se mantiene prácticamente constante. Se toman como condiciones estándares de análisis 2h, 150 °C.

DQO método normalizado, oxidación al dicromato de potasio Se calienta en condiciones de reflujo total una muestra de un volumen determinado con un exceso conocido de dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico, con el catalizador y el inhibidor para los cloruros, durante un período de dos horas. La medición puede realizarse con un espectrofotómetro a 600nm y se utiliza como blanco de reactivos agua destilada en igual cantidad que la muestra y con el mismo agregado de reactivos.

Materia orgánica (CaHbOc) + $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ + H^+ Cr^{+3} + CO_2 + H_2O

Muestreo Al igual que la DBO, el ensayo de DQO se ve afectado si no se hace inmediatamente. Se recomienda extraer la muestra en envases de vidrio. Si el ensayo no puede realizarse de inmediato, se debe acidificar la muestra a pH = 2 con ácido sulfúrico.

Total de sólidos suspendidos (TSS)

El ensayo de sólidos suspendidos se lleva a cabo filtrando un volumen determinado de la muestra con una membrana de porosidad estándar previamente tarada. La membrana se lleva a estufa y se seca a una temperatura predeterminada hasta peso constante. La diferencia de peso, junto con el volumen de muestra que se tomó nos dan la cantidad de TSS. Cálculos $\text{TSS (mg/l)} = (\text{P}_2 - \text{P}_1) \times 1000 / \text{Vol. Muestra (ml)}$ Donde: P_1 = peso filtro tarado (mg) P_2 = peso filtro + muestra seca (mg)

- Error y variabilidad. La temperatura a la que se seca el residuo incide en gran medida en los resultados, debido a las pérdidas de peso producto de la volatilización de materia orgánica, el agua ocluida, el agua de cristalización y los gases que se producen por la descomposición producto del calor, así como las ganancias producidas por la oxidación.
- Sólidos suspendidos totales secados a 103-105 °C

Los residuos secados a esta temperatura pueden retener no solo agua de cristalización, sino también algo de agua ocluida, además, puede perderse algo de CO_2 producto de la conversión del bicarbonato a carbonato. Para el análisis se procede como ya fue mencionado anteriormente.

- Muestreo y preservación de la muestra

La muestra se debe recolectar en botellas de vidrio o plástico de 1l de capacidad. Refrigerar las muestras a 4 °C. Analizar antes de 24 horas de preferencia, como máximo 7 días de realizado el muestreo.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SS) Si bien no es un análisis legislado, sirve para llevar un control del funcionamiento de la planta en varios puntos. El análisis consiste en tomar un litro de muestra en un cono graduado, llamado cono Imhoff y dejar sedimentar los sólidos más densos durante un período convenido (los más comunes son 10, 60 y 120 minutos) luego del cual se lee el volumen de SS en ml/l y se aclara el tiempo de sedimentación.

ACEITES Y GRASAS Aceites y grasas se considera cualquier material recuperado de la muestra acidificada, como una sustancia soluble en éter de petróleo y no volátil durante el ensayo. Incluye además de aceites y grasas, otros materiales extractables por el solvente. Los aceites y grasas quedan definidos por el método de análisis utilizado.

Método de Extracción Soxhlet Esta técnica se utiliza para la determinación de aceites y grasas en efluentes cloacales, industriales y domésticos. Los aceites y las grasas viscosas presentes, así como los sólidos, son separados por filtración de la muestra líquida acidificada, mientras que los jabones metálicos son hidrolizados por la acidificación. Una vez separados de la solución, en el material retenido en el filtro se realiza una extracción en un equipo Soxhlet, usando como solvente éter de petróleo. La ganancia de peso en el frasco de extracción luego de evaporado el solvente es el contenido de aceites y grasas presentes en la muestra. El tiempo (4 h) y la velocidad de extracción (2° ciclos/h) deben ser respetados con exactitud, así como el tiempo y la temperatura de secado del material extraído.

Cálculos

Aceites y grasas (mg/l) = $(P2 - P1) \times 1000 / \text{volumen muestra (ml)}$

Donde: P1 = peso matraz tarado P2 = peso del matraz tarado + peso de las grasas

Muestreo y preservación Se debe recolectar un volumen de muestra de acuerdo a la cantidad de aceites y grasas se estime que presente la muestra (en general de 100 a 1000 ml de muestra) en un frasco de vidrio de boca ancha, con cámara de aire. El frasco debe ser enjuagado previamente con el solvente, debe tomarse la muestra de un lugar que presente turbulencia debido a que, los aceites y las grasas suelen acumularse en la superficie por su menor densidad. La turbulencia nos asegura una muestra más homogénea.

HIDROCARBUROS Se trabaja con los aceites y grasas extraídos. Para la separación de los hidrocarburos del resto de las grasas y aceites se debe redissolver el residuo y se utiliza gel de sílice que absorbe los materiales polares para la separación. Los materiales no eliminados por el gel se consideran hidrocarburos en esta prueba.

TEMPERATURA Normalmente, el control de la temperatura puede hacerse con cualquier termómetro con una escala de apreciación de 0,1 °C. Basta con controlar la calibración del mismo periódicamente.

Determinación de pH

El pH o la actividad del ion hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua. El pH se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno.

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

$[\text{H}^+]$ = actividad de los iones hidrógeno en mol/l

Método electrométrico El método consiste en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno por medidas potenciométricas usando un electrodo de pH. La medición se realiza con una agitación moderada para minimizar la entrada de dióxido de carbono y suficiente como para homogeneizar la muestra. El electrodo generalmente no está sujeto a interferencias como color, turbidez, materia coloidal, oxidantes, reductores o alta salinidad. Recubrimientos de material graso o partículas pueden dificultar la respuesta del electrodo. Estos recubrimientos pueden ser removidos con una frotación muy suave o utilizando detergentes, seguido de un enjuague con agua destilada. Un tratamiento adicional es utilizar ácido clorhídrico (1+9) para remover cualquier película restante.

Determinación de fenoles

- **Método de Extracción con Cloroformo.** Primero debe destilarse los fenoles de impurezas no volátiles. Dado que la destilación de los fenoles es gradual, el volumen destilado debe ser igual al volumen inicial. Los fenoles reaccionan con la 4-aminoantipirina a pH próximo a 8. en presencia de ferricianuro de potasio para formar un complejo coloreado. El complejo se extrae de la solución acuosa con CHCl_3 y se compara con una curva de calibración a 460nm.

Determinación de cianuro

- **Método Titulométrico.** Esta técnica es aplicable para la determinación de cianuro en aguas y efluentes industriales para concentraciones mayores a 1 mg/L. para la determinación de cianuro libre como total, para cianuro total se debe destilar de la muestra previa a la determinación.

El ion cianuro es titulado con una solución estándar de nitrato de plata para formar el complejo soluble $\text{Ag}(\text{CN})_2$. Luego que todo el ion cianuro ha sido complejizado, el exceso de ion plata es detectado por un indicador sensible a la plata, p-dimetilamino-benzalrhodanina.

- **Método Colorimétrico.** Para determinar cianuro colorimétricamente se hace con espectrofotómetro a 580 nm. Comienza con un tratamiento alcalino de la muestra, que posteriormente se destila para transformar todo el cianuro de la muestra en cianuro de sodio. Se hace reaccionar con cloramina – T a pH menor

que 8 y se convierte en clorocianuro, que posteriormente forma una solución rojo azulado con la adición de reactivo ácido barbitúrico – piridina.

Determinación de arsénico

Puede realizarse por Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generación Continua de Hidruros, o en forma directa. La muestra debe ser digerida para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) a 193,7nm.

Determinación de cadmio total

Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama La muestra se debe digerir para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) con llama a 228,8 nm. El contenido de cadmio se determina mediante una curva de calibración.

Determinación de cromo total

- Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama. El cromo total es el contenido total de cromo en sus estados de oxidación III y VI. La muestra se debe digerir para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) con llama a 357,9 nm. El contenido de cromo se determina mediante una curva de calibración.
- Muestreo y preservación. La muestra debe recolectarse en un frasco de polietileno de alta densidad de 1l de capacidad de cierre hermético. El pH debe ajustarse a <2 con ácido nítrico. Analizar antes de 6 meses.

Determinación de mercurio total

- Método de espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío. La muestra se debe digerir para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) a 253,7 nm. El mercurio es medido previa conversión del mismo a su forma de metal libre (Hg⁰) por reducción con cloruro estannoso en solución ácida. Este vapor (vapor frío) es transportado hacia una celda de cuarzo donde es medido. El contenido de mercurio se determina mediante una curva de calibración.
- Muestreo y preservación. La muestra debe recolectarse en un frasco de polietileno de alta densidad de 1l de capacidad de cierre hermético. El pH se debe ajustar a <2 con ácido nítrico. Es recomendable analizar antes de 28 días.

Determinación de plomo total

- Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama. La muestra se debe digerir para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por Espectrofotometría de Absorción

Atómica (EAA) con llama a 217 nm. El contenido de plomo se determina mediante una curva de calibración.

- Muestreo y preservación. Se debe recolectar la muestra en un frasco de polietileno de alta densidad de 1l de capacidad y cierre hermético. El pH debe ser <2 y se ajusta con ácido nítrico. Debe ser analizado antes de 6 meses.

Determinación de sulfuros

- Método del azul de metileno. Este método se basa en la reacción de los sulfuros con cloruro férrico y la dimetil-p-fenilendiamina, para producir el azul de metileno. Luego se utiliza fosfato de amonio para eliminar la interferencia que genera el color del cloruro férrico. El procedimiento es aplicable para concentraciones entre 0,1 mg/l y 20 mg/l y se lee con un espectrofotómetro a 664 nm.

Detergentes aniónicos

- Separación por cancelación. El proceso de cancelación aísla el detergente de la solución acuosa y produce un residuo seco relativamente puro. Se consigue haciendo burbujear una corriente de nitrógeno en una columna que contiene la muestra diluida y una capa de cegato de etilo. El detergente se absorbe en la internase agua-nitrógeno y es transportado al acetato de etilo. El disolvente se separa y evapora, dejando el detergente como residuo listo para el análisis.
- Detección como Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). Las sustancias activas al azul de metileno transfieren el indicador de una solución acuosa a un líquido orgánico inmiscible (cloroformo) hasta el equilibrio. Esto es por la formación de un par iónico entre el anión SAAM y el catión azul de metileno.

Luego se compara con una curva de calibración con espectrofotómetro a 652nm.

- Interferencias. Todos los demás SAAM, como carboxilatos, fenoles orgánicos, cianatos, nitratos, etc.

Determinación de amoníaco

Método titulométrico Para este análisis debe primero llevarse a un pH próximo a 9,5 con un búfer adecuado para evitar la hidrólisis de cianatos y compuestos orgánicos nitrogenados. Se destila y se recoge el amoníaco en una solución de ácido bórico. El titulante es ácido sulfúrico estandarizado y se utiliza un indicador mixto de rojo de metilo y azul de metileno.

Determinación de fósforo

Para el análisis de fósforo se deben convertir todas las formas presentes a fosfato disuelto. Para esto puede oxidarse con una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico.

- Método del [ácido ascórbico](#). Se basa en la reacción del molibdato de amonio y el tartrato antimonílico de potasio con el fosfato en medio ácido dando una coloración azul.
- Interferencias. Los arseniatos producen una coloración similar.

Determinación de coliformes fecales

- Técnica de Filtración por Membrana. El grupo de bacterias coliformes fecales para la técnica de filtración por membrana se define como todos los bacilos gram negativos, aeróbicos y algunos anaeróbicos facultativos, no formadores de endosporas, que cuando se incuban con lactosa por 24h a 44.5 ± 0.2 °C desarrollan colonias color azul. El principio de esta técnica consiste en la filtración de un volumen medido de muestra a través de una membrana de nitrato de celulosa y su incubación en un medio de cultivo selectivo a 44.5 °C. Este medio selectivo y la temperatura de incubación disminuyen el desarrollo de bacterias no coliformes que afectarían negativamente el crecimiento de los coliformes fecales.
- Interferencias. Las aguas con gran turbidez y baja densidad de coliformes totales; con tóxicos orgánicos como los fenoles, o cuando existe una carga bacteriana de no coliformes muy grande.
- Muestreo y preservación. La muestra debe ser colectada en frascos de vidrio o de polipropileno autoclavable, de boca ancha estériles. No debe llenarse el frasco por completo, debe quedar una cámara de aire para poder homogeneizar la muestra antes de procesarla.

La misma debe conservarse a 4 °C hasta ser analizada. El período máximo de conservación de la muestra en frío es de 6 - 8 h.

Determinación de coliformes totales

- Técnica de Filtración por Membrana

El grupo de bacterias coliformes para la técnica de filtración por membrana se definen como todos los bacilos gram negativos, aeróbicos y algunos anaeróbicos facultativos, no formadores de endosporas, que cuando se incuban con lactosa por 24 h a 35 ± 0.5 °C, desarrollan colonias color rojo con brillo verde metálico.

El principio de esta técnica consiste en la filtración de un volumen medido de la muestra a través de una membrana de nitrato de celulosa y su incubación en medio de cultivo selectivo a 35 °C. La incorporación en los medios de cultivo de determinados colorantes, permiten que la producción de ácido y aldehído debida a la fermentación de la lactosa sea visualizada por la formación de colonias rojas con brillo verde metálico, típicas de coliformes totales.

- Interferencias

Aguas con gran turbidez y baja densidad de coliformes totales; con tóxicos orgánicos como los fenoles; o cuando existe una carga bacteriana de no coliformes muy grande.

- Muestreo y preservación

Se procede de igual forma que para coliformes fecales.

Determinación de coliformes por la técnica de fermentación en tubos múltiples La técnica estándar para el grupo coliforme es la fermentación en tubos múltiples. Consiste en colocar una batería de tubos de cuatro filas con cinco tubos cada una. Cada tubo contiene en su interior una campana de vidrio que se coloca boca abajo. Luego se rellenan los tubos con el medio de cultivo y se esteriliza en un autoclave. Una vez estéril, se procede al sembrado de las muestras. En la primer fila se coloca en cada tubo, la muestra sin diluir. En la fila siguiente, se hace una dilución 1:10 de la primer fila. En la tercer fila se hace una dilución 1:10 de la segunda fila y en la última fila, otra dilución 1:10, de la tercera fila. Posteriormente, se lleva a una estufa incubadora, donde se mantiene a la temperatura de 37 °C durante 24 horas. Luego del cultivo, se observa cuantos de los tubos por fila dan positivo el ensayo, desde la menor a la mayor dilución. Un ensayo es positivo cuando en la campana de vidrio se observa una burbuja de aire, correspondiente al consumo de las bacterias del medio de cultivo y producción de dióxido de carbono y cuando se observa una turbidez en la solución. Los resultados se informan como número más probable de bacterias (nmp), un número basado en formulas de probabilidad, donde se estima el cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra.