

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
SUDAMERICANO

Quito, Ecuador



GUÍA DE ESTUDIO PARA LA
ASIGNATURA CONTROL DE LA
CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Mayra Fernanda Güilcapi Paredes

Diseño de carátula y edición:
D.I. Santa de la Caridad Ruiz Crespo

Dirección editorial:
Dr.C. Blas Yoel Juanes Giraud

ISBN: 978-9942-7247-0-0

Sobre la presente edición:
© YOL Editorial, 2024

Podrá reproducirse, de forma parcial o total el contenido de esta obra,
siempre que se haga de forma literal y se mencione a:

YOL Editorial

Pedro Vicente Maldonado y Vicente Andrade, 2-18, Quito, Ecuador.

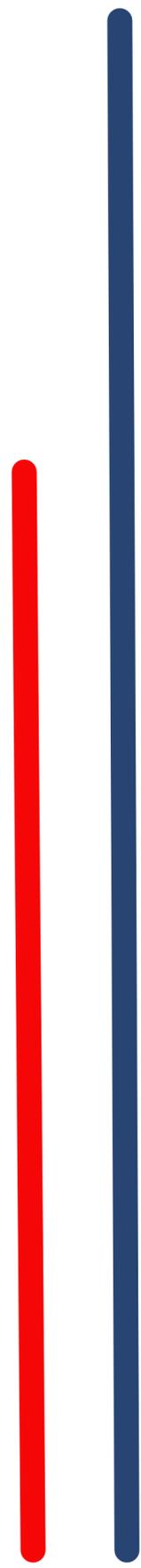
<http://www.yoeditorial.com>

E-mail: consejo@yoeditorial.com



GUÍA DE ESTUDIO PARA LA ASIGNATURA CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Mayra Fernanda Güilcapi Paredes



**TABLA DE
CON
TENIDO**

ÍNDICE

Sumilla de la Asignatura.....	10
Competencias de la Asignatura.....	10
Objetivo de la Asignatura.....	12
Orientaciones generales.....	12
Unidad 1: Prevención y Control de la Contaminación Ambiental..	14
Tipos de Contaminación.....	14
Causas de la contaminación ambiental.....	14
Tipos de contaminantes ambientales.....	15
Técnicas de Preservación de la Contaminación.....	15
Consecuencias de la Contaminación Ambiental.....	16
Contaminación del Agua.....	16
Principales contaminantes del agua.....	18
Autoevaluación Unidad 1.....	19
Unidad 2: Características Físicas, Químicas y Biológicas de Aguas Residuales.....	20
Características Físicas de las Aguas Residuales.....	20
Contenido Total de sólidos.....	21
Sólidos totales.....	21
Sólidos coloidales.....	22
Sólidos disueltos.....	22
Sólidos suspendidos.....	22
Sólidos sedimentables.....	22
Olor.....	23
Efectos de los olores.....	23
Temperatura.....	24
Densidad.....	24
Color.....	25
Turbiedad.....	25
Características Químicas del Agua residual.....	25

ÍNDICE

Materia Orgánica.....	25
Medida de contenido orgánico DBO y DQO.....	26
DBO.....	26
DQO.....	26
Materia Inorgánica.....	26
Metales pesados.....	27
Gases.....	27
Características Biológicas del Agua residual.....	27
Autoevaluación Unidad.....	28
Unidad 3: Tratamiento de Aguas Residuales Primario y Secundario.....	29
Tratamiento Primario de Aguas Residuales.....	29
Procesos y Operaciones Unitarias Físicas.....	29
Tratamiento Secundario de Aguas residuales.....	34
Tratamiento unitario químico.....	34
Tratamiento unitario biológico.....	35
Autoevaluación Unidad 3.....	40
Unidad 4: Tratamiento de Aguas Residuales Terciario.....	41
Tratamiento Terciario de Aguas Residuales	41
Autoevaluación Unidad 4.....	46
Solucionario de las Autoevaluación.....	47
Bibliografía.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Contaminación del Agua.....	16
Figura 2 Contenido Total de Sólidos	21
Figura 3 Elementos de Desbaste y Tamizado.....	32
Figura 4 Flotación de Aguas Residuales por Aireación.....	33
Figura 5 Tipos de Filtros para Filtración de Agua Residual.....	33
Figura 6 Funcionamiento del Reactor Discontinuo Secuencial SBR.....	39
Figura 7 Representación Esquemática de un Estanque Facultativo.....	40
Figura 8 Representación Esquemática de Desinfección con Rayos Ultravioletas Sumergidos.....	45
Figura 9 Representación Esquemática de Desinfección con Rayos Ultravioletas en Superficie	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Compuestos Olorosos Asociados al Agua Residual Bruta.....	23
Tabla 2 Clasificación de los Microorganismos.....	28
Tabla 3 Aplicaciones de las Operaciones Físicas Unitarias en Tratamiento de Aguas Residuales.....	29
Tabla 4 Descripción de los Dispositivos de Desbaste para Tratamiento de Agua Residual.....	31
Tabla 5 Aplicaciones de los Procesos Químicos Unitarios en Tratamiento de Agua Residual.....	34
Tabla 6 Principales Procesos Biológicos en Tratamiento de Agua Residual.....	36
Tabla 7 Principales Procesos Terciarios para Tratamiento de Aguas Residuales.....	41
Tabla 8 Características Ideales y Prácticas de los Desinfectantes Químicos Normalmente Utilizados.....	44



SUMILLA DE LA ASIGNATURA

Sumilla de la asignatura

La asignatura se orienta a la capacitación para la toma de decisiones ambientales en el contexto de la prevención de contaminación de agua. Se evalúa métodos que permiten dar a conocer a los alumnos la diversidad de estrategias de control de la contaminación, otorgando así la relevancia que la conservación y correcta gestión del medio ambiente tiene para el crecimiento económico y social.

Se estudia técnicas de fácil implementación y baja inversión para el control de la contaminación como: producción más limpia, control en la fuente, huella hídrica, eficiencia energética y minimización de residuos, técnicas que permiten reducir el riesgo para la salud y el ambiente.

Una vez identificado el o los aspectos ambientales que reciben la mayor carga de contaminación se puede desarrollar estrategias específicas para cada recurso, para lo cual es importante identificar las fuentes de contaminación, la clase de contaminante, las medidas de control o tratamientos y la vigilancia de la calidad del recurso, sin descuidar la legislación ambiental aplicable de los recursos aire, agua y suelo.

Competencias de la asignatura

Competencias Generales

- Utilizar y gestionar información bibliográfica, recursos informáticos o de Internet en el de estudio de la prevención de la contaminación del agua.

Desarrollar la capacidad de lectura y análisis de documentos científicos, así como, la interpretación de los datos relevantes extrayendo las ideas principales y secundarias que permitan argumentar las pertinentes conclusiones.

- Capacidad de análisis y síntesis para la resolución de casos prácticos.
- Capacidad de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios que incluyan una reflexión de índole social, científica o ética.
- Capacidad de aplicar los conocimientos teóricos a la práctica.

Competencias Básicas

- Aplicar los conocimientos de prevención de la contaminación, de forma que le permita elaborar y defender argumentos, así como resolver problemas relacionados con el medio ambiente.
- Elaborar y gestionar proyectos ambientales ligados al control de la contaminación del agua.
- Comprender las principales variables y fenómenos que afectan la dispersión de contaminantes en el agua.
- Conocer las principales alternativas de tecnologías limpias.
- Saber analizar, reflexionar y ejecutar proyectos de carácter multidisciplinar para solucionar problemas en el marco medioambiental.

Competencias Específicas

- Identificar técnicas de fácil implementación en el control y prevención de la contaminación ambiental.
- Conocer las principales fuentes de contaminación para los recursos hídricos.
- Identificar los límites máximos permisibles de descarga de contaminantes que rigen las actividades productivas.
- Capacidad de aplicar técnicas de reducción y descontaminación de aguas residuales.
- Conocer estrategias de gestión de residuos.

Objetivo de la Asignatura

Comprender y aplicar los diferentes métodos de análisis para caracterizar al recurso agua y determinar su contaminación, interpretando los resultados y valorando la importancia que estos tienen para proponer alternativas de solución tecnológica a la problemática de contaminación de los recursos hídricos en el contexto nacional y global.

Logros del aprendizaje

- Al finalizar la asignatura, el estudiante valorará la importancia de la determinación de contaminantes en el agua para la toma de decisiones y en la formulación de políticas y gestiones del recurso hídrico.
- Desarrollará técnicas de fácil implementación en el control y prevención de la contaminación ambiental en recursos hídricos.

Orientaciones Generales

Estimados estudiantes

¡Bienvenidos a la asignatura! Esta guía está estructurada de tal manera para que el contenido de cada unidad sea fácil de entender, para que tus estudios sean exitosos y alcances tus objetivos de aprendizaje. Con esta guía aprenderás a comprender y analizar la información concerniente a la materia desarrollada en clase y complementar la misma con trabajo autónomo de aprendizaje. Para ello te recomendamos lo siguiente:

- **Organiza tu tiempo:** Dedicar tiempo regular a estudiar y repasar la clase, estableciendo un horario fijo y cumpliéndolo.

Participa activamente: Realiza ejercicios prácticos y participa en discusiones para reforzar tu comprensión. Consulta los textos de consulta en el PEA que lo encuentras en el Aula Virtual.

- **Practica el aprendizaje colaborativo:** Trabaja en equipo con compañeros de clase para discutir conceptos, resolver problemas y compartir conocimientos.
- **Consulta recursos adicionales:** Utiliza libros de texto, tutoriales en línea y otros recursos para complementar tu aprendizaje.
- **Consultas:** No dudes en pedir ayuda si tienes dudas o dificultades con algún tema. Utiliza recursos como el profesor o compañeros de clase para aclarar tus dudas.

Unidad 1: Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

La contaminación ambiental se refiere a la presencia de componentes tóxicos, nocivos, peligrosos en el medio ambiente que pueden generar daño a los seres vivos, hablar de contaminación es derivar su origen específicamente a la actividad humana a través de emisiones de gases de efecto invernadero, generación de residuos o vertido de aguas residuales contaminadas a medios naturales por procesos industriales, comerciales, manufactura, domésticos, etc.

Tipos de Contaminación

La contaminación puede ser natural o artificial:

- **Natural:** aquella causada por fenómenos naturales como erupciones volcánicas, terremotos, tsunamis, huracanes, etc.
- **Artificial:** aquella provocada por las acciones del ser humano en uso, consumo, producción o generación de productos químicos peligrosos que interrumpen o alteran ciclos naturales ecosistémicos.

Causas de la contaminación Ambiental

La OMS determina dos factores importantes como consecuencia de la contaminación ambiental, se estima que el aumento poblacional a nivel mundial y con mayor énfasis países con extrema pobreza contribuyen y provocan desequilibrio en el medio ambiente, como también el incontrolable avance del desarrollo industrial, causas que ponen en jaque la conservación y preservación de los recursos naturales.

El medio ambiente también se ve afectado continuamente por los diferentes contaminantes químicos, físicos y biológicos que se hayan presentes en el día a día lo que provocan una contaminación ambiental recurrente.

Tipos de contaminantes ambientales

- **Contaminantes químicos:** Todos aquellos que proceden de industrias químicas, donde se originan y se emiten productos de diferente grado de peligrosidad, llegando a ser tóxicos, nocivos, cancerígenos, mutagénicos, irritantes, asfixiantes, etc.
- **Contaminantes físicos:** Aquellos que provienen de acciones causadas por la actividad humana: ruido, vibraciones, radioactividad, variación térmica- calórica, energía electromagnética, etc.
- **Contaminantes biológicos:** Aquellos provocados por la degradación, descomposición y fermentación de residuos orgánicos como: restos de comida, excretas, restos forestales, papel, restos animales, etc.

Técnicas de Preservación de la Contaminación

Los efectos de la contaminación muchas de las veces se pueden volver difíciles de revertir, pueden ser tardíos y tener grandes costos económicos de remediación y compensación, por eso la mejor técnica es apuntar a evitar el aumento de la contaminación mundial con medidas de reducción, control, mitigación, prevención, alerta temprana, entre otros.

Un ejemplo tan sencillo como reducir la basura, puede hacer una gran diferencia; dejar de generar toneladas de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que conllevan a la emisión de gases de efecto invernadero y que contribuyen al cambio climático o al vertido de aguas residuales que pueden llegar a extinguir cuerpos de agua, especies animales: marinas, mamíferas, anfibios, peces, como también producir daños a la salud humana, con solo aplicar técnicas que contribuyan a disminuir la carga residual como las 3R: reciclar, reusar, reducir ayudaran a prevenir la contaminación ambiental.

Consecuencias de la Contaminación Ambiental

La contaminación ambiental puede llegar a ser tan agresiva y perjudicial ya que afecta en primera instancia a la calidad de vida del ser humano, poniendo en jaque la disponibilidad de recursos para satisfacer necesidades básicas como es el consumo de agua natural potable, muchos países y más aquellos con índices altos de vulnerabilidad al no contar con suministros de agua o tenerlos, pero en mala calidad no solo ponen en riesgo su salud, sino también su supervivencia y desarrollo, llegando a causar hasta la muerte en los seres humanos y animales, incluso aguas en pésimo estado llegan a afectar la vida de animales marinos.

Contaminación del Agua

Figura 1

Contaminación del Agua



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo de la contaminación del agua. Tomado de Nunez (2024).

El planeta nos recuerda con frecuencia que sin agua no hay vida y esta guía hace mención a esa gran importancia que tiene el agua en nosotros.

La contaminación hace que cada día sea más difícil contar con cuerpos de agua natural libres de contaminación y la contaminación del agua se da cuando la composición de esta se ve alterada por la presencia de sustancias o agentes contaminantes que reducen las condiciones necesarias para ser utilizada para consumo y resulta nociva para los ecosistemas.

Cada vez es más frecuente y común que cuerpos hídricos de agua limpia y cristalina, se conviertan en escenarios de contaminación y que sean precedentes para disminuir la sustentabilidad de este recurso, nuestras acciones, actividades y bastas necesidades han contribuido de manera significativa a la reducción del suministro de agua, haciendo que cada vez sea más arduo acceder a ella y se convierta en una amenaza para la salud del planeta.

Desgraciadamente agua y contaminación van relacionados íntimamente como consecuencia de las actividades humanas por lo cual la contaminación del agua tiene su origen y es por el humano.

El agua al ser uno de los solventes naturales más utilizados a nivel mundial, hace que sea servible para casi todos los procesos, llegando hacer uno de los recursos con mayor índice de contaminación, en el agua se disuelven desde elementos tan sencillos como sal y azúcar hasta los más complejos y peligrosos como agentes químicos, metales pesados, compuestos orgánicos de grandes cadenas carbonadas, fármacos, aceites, agentes tensoactivos, etc. A más de esto se le suman también toneladas de plástico proveniente de ríos, lagos que llegan a los océanos en grandes cantidades y que cada vez siguen aumentado de manera acelerada.

Principales contaminantes del agua

El agua se llega a contaminar principalmente de:

- **Sedimentos y materiales suspendidos:** Son partículas desprendidas del suelo y arrastradas por el agua junto con otros materiales y minerales que pueden quedar suspendidos y provocar color, turbidez y coloides en las aguas.
- **Microorganismos patógenos:** Existen diferentes tipos de microorganismos que habitan los cuerpos de agua los más comunes son: bacterias, virus, protozoos, hongos, y otros organismos microscópicos como cólera, E. Colí, hepatitis, tifus, etc. Que llegan al agua por heces y otros restos orgánicos procedentes de personas y animales infectados.
- **Residuos orgánicos:** Son todos aquellos producidos por el ser humano, animales y especies vegetales, incluyen heces, restrosos, podas, restos de comida, restos madereros, etc. Es decir, todos aquellos que puedan ser degradados por microorganismos.
- **Sustancias químicas inorgánicas:** ácidos, sales y metales tóxicos.
- **Exceso de nutrientes:** Nitratos y fosfatos en cantidades excesivas inducen el crecimiento acelerado de algas causantes de la eutrofización en el agua, como también pueden provocar generación de olores y bajar la calidad de la misma.
- **Sustancias radiactivas:** isotopos radiactivos solubles suelen acumularse a lo largos de las cadenas tróficas.
- **Contaminación térmica:** Agua con variaciones de temperatura, principalmente agua caliente liberada de procesos industriales como de centrales de energía o utilizada como solvente, refrigerante, etc. Provoca disminución en la capacidad de contener oxígeno y afectar masivamente la vida de organismos.

A esto se le suma también

- Derrames, fugas y partículas de petróleo, plástico, agroquímicos en todas sus funciones (pesticidas, fungicidas, herbicidas, etc.), disolventes, detergentes.

Autoevaluación Unidad 1

1. Responda las siguientes afirmaciones con “V” si es verdadera, o “F” si es falso:

Argumento	Respuesta
1. La contaminación ambiental es de origen antropogénico, es decir por causa del ser humano.	()
2. Agua caliente aumenta la capacidad de contener oxígeno.	()
3. El agua es el solvente más utilizado a nivel mundial.	()
4. El ruido y las vibraciones causadas por la actividad humana son contaminantes físicos	()

Unidad 2: Características Físicas, Químicas y Biológicas de Aguas Residuales

Características Físicas de las Aguas Residuales

El agua residual es aquella que proviene de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas ganaderas o de cualquier proceso con influencia antropogénica y que por el uso de que han sido objeto contienen elementos contaminantes y otras sustancias químicas que alteran su calidad, el agua residual, es agua que no tiene valor.

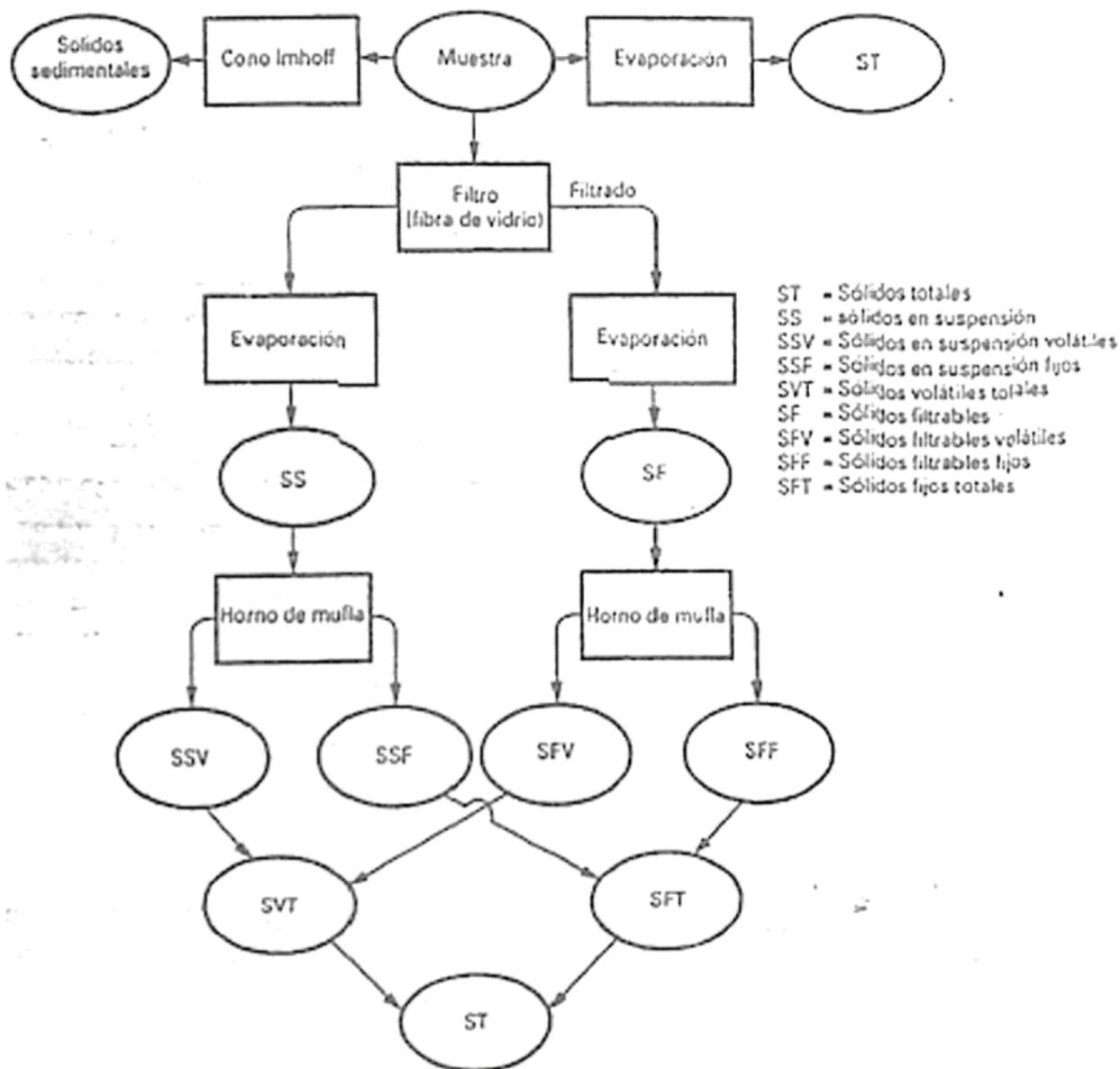
Las características físicas más importantes del agua residual son:

- Contenido total de sólidos: materia sedimentable, suspensión, coloidal y disuelta
- Olor
- Color
- Turbiedad
- Densidad
- Temperatura

Contenido Total de sólidos

Figura 2

Contenido Total de Sólidos



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo del contenido total de sólidos presentes en las aguas residuales. Tomado de (Metcalf y Eddy, s.f.).

Sólidos totales: son la materia que se obtiene como residuo después de someterla al agua a un proceso de evaporización a entre 103 y 105 °C, los ST se dividen en sólidos filtrantes y no filtrantes, haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro, para este proceso de separación suele emplearse filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/C) con un tamaño nominal de poro de 1,2 micrómetros, aunque también suele utilizarse filtro de membrana de policarbonato. (Metcalf y Eddy, s.f.).

Sólidos Filtrantes (SF): corresponden a los sólidos coloidales y sólidos disueltos.

Sólidos coloidales: son partículas de materia de tamaño entre 0,001 y 1 micrómetro, lo cual hace que no sedimenten fácilmente sino hasta después de periodos razonables lo que se traduce en color y turbiedad de las aguas, estos sólidos desafían la remoción directa por medio de dispositivos mecánicos como filtros o tamizado. Su remoción es asistida por aglutinamiento o aglomeración química haciendo uso de coagulantes o polímeros como el sulfato de aluminio conocido como alumbre o alumina. (Metcalf y Eddy, s.f.)

Sólidos disueltos: incluyen sales, minerales, metales y cualquier otro compuesto orgánico e inorgánico que se halle disuelto en el agua o que haya pasado a través del filtro con abertura de 1.5 micras. Causan diferentes problemas desde color, olor, sabor y salud pública ya que de no ser removidos afecta en la calidad del agua.

Sólidos suspendidos: es materia suspendida en el agua, y pueden ser sólidos suspendidos fijos y sólidos suspendidos volátiles, los primeros miden menos de 0,01 mm, no sedimentan rápidamente quedando suspendidos y provocando turbidez en el agua. Mientras tanto los volátiles por sus propiedades de volatilidad en función de temperaturas a $550 \pm 50^\circ \text{C}$, la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas quedando la fracción inorgánica en forma de ceniza.

Sólidos sedimentables: es materia que tiene un tamaño alrededor de 10μ y que se desprende de la suspensión en un tiempo determinado, están constituidos de partículas más densas que el agua lo que hace que descendan más rápido y se asienten en el fondo como sedimento, son responsables de tapar tuberías y desagües.

Olor

El agua residual tiene un olor peculiar, algo desagradable y que varía conforme la materia contaminante presente, puede desprender olores muy intensos a extremos y molestos por la presencia de compuestos olorosos como se muestra en la *tabla 1*:

Tabla 1

Compuestos Olorosos Asociados al Agua Residual Bruta

Compuestos Olorosos	Calidad del olor
Aminas	Ha pescado
Amoniaco	Amoniacal
Diaminas	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrógeno	Huevos podridos
Mercaptanos: metilo y etilo	Coles descompuestas
Mercaptanos: butilo y crotilo	Mofeta húmeda
Sulfuros orgánicos	Coles podridas
Eskatol	Materia fecal

Nota: La tabla muestra los compuestos olorosos y calidad del olor del agua residual. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.)

El olor se analiza mediante métodos sensoriales, cualitativos, eso quiere decir que el olor es subjetivo para cada individuo y se consideran tres factores para su determinación: sensibilidad, intensidad (factores organolépticos olfativos) y detectabilidad (efecto visual).

Efectos de los olores

La influencia de los olores sobre 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. En condiciones extremas los olores desagradables pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria (Metcalf y Eddy, s.f.).

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, debido a la incorporación de agua caliente procedente de casas y los diferentes usos industriales a los que haya sido sometida, la temperatura media del agua residual varía entre 10 y 21°C, pudiendo ser 15,6°C el valor representativo.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante debido a la influencia, tanto en el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles, por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría (Metcalf y Eddy, s.f.).

Densidad

Se define la densidad del agua residual como masa por unidad de volumen, expresada en . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento (Metcalf y Eddy, s.f.).

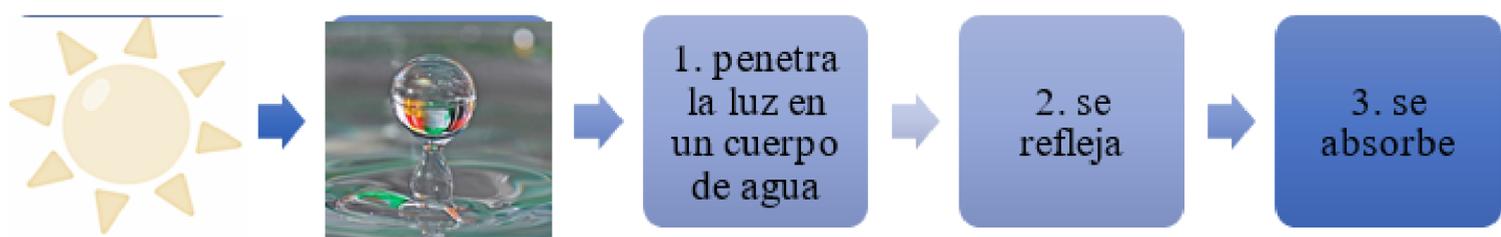
Color

Históricamente para determinar el color del agua se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración, término que se refería a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y olor. El agua residual resiente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte por las redes de alcantarillado

y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias el color del agua cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir un color negro que suele ser propio de aguas residuales sépticas, debido a la formación de sulfuros metálicos por acción del sulfuro liberado y metales presentes en las aguas residuales (Metcalf y Eddy, s.f.).

El color también suele ser medido mediante unidades platino/cobalto UPC, que es una comparación visual con una serie de patrones de color que simulan el color producido por 1ppm de platino con determinada cantidad de cobalto.

Turbiedad



Mide las propiedades de transmisión e intensidad de luz dispersada en el agua, es un parámetro que se emplea para indicar la calidad del agua vertida o natural en relación a la materia coloidal y residual en suspensión, se mide en unidades nefelométricas de turbidez o NTU.

Características Químicas del Agua residual

El estudio para características químicas se aborda en cuatro parámetros: Materia orgánica, contenido orgánico (DBO y DQO), materia inorgánica y gases procedentes del agua residual.

Materia Orgánica

Son sólidos provenientes de restos animales y vegetales como también por actividades humanas como lo son restos de comida, poda de árboles, restrojos, abonos, entre otros, los compuestos

orgánicos se caracterizan porque están formados de Carbono, Hidrogeno y Oxígeno. Los principales grupos de materia orgánica presente en las aguas residuales son proteínas, hidratos de carbono, grasas animales y aceites, agentes tensoactivos, urea, pesticidas y productos agroquímicos.

Medida de contenido orgánico DBO y DQO

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno, es un parámetro muy aplicable para aguas residuales como superficiales y determina la medición de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para el proceso de oxidación química de la materia orgánica, es un proceso muy lento en el cual se emplean alrededor de 25 días, en un periodo de 20 días se puede llegar a oxidar alrededor del 95 y 99% de la materia carbonosa y la DBO₅, ensayo de 5 días se oxida entre el 60 y 70% de materia, trabaja a temperatura de 20°C a baja velocidad.

DQO: Demanda Química de Oxígeno, se emplea para medir la materia orgánica de agua natural y residual haciendo uso de agentes químicos fuertemente oxidantes como el dicromato de potasio en medio ácido, para determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que se pudo oxidar, se trabaja a elevadas temperaturas y empleando catalizadores como el sulfato de plata, el ensayo es muy rápido en un periodo de 3 horas (Metcalf y Eddy, s.f.).

Materia Inorgánica

Son varios los componentes de las aguas residuales y naturales, encontrándose entre ellas materias inorgánicas que aumentan por el contacto del agua por diferentes formaciones geológicas tratadas y sin tratar, aumentado minerales, sales, sedimento rocoso, materia no degradable, etc.

Metales pesados

Son constituyentes importantes de muchas aguas y se encuentran en cantidades de traza, entre los metales primarios tenemos (Ni, Mg, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe y Hg), muchos de estos metales catalogados como contaminantes prioritarios, ya que algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de vida biológica y la ausencia de cantidades suficientes podrían limitar en el desarrollo y crecimiento de algunas algas, mientras que en cantidades excesivas interferiría en un gran número de usos del agua ya que estos pueden además ser cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos (Metcalf y Eddy, s.f.).

Gases

Los gases que con mayor frecuencia se hayan en aguas residuales brutas son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano, los tres primeros son común de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en aguas residuales (Metcalf y Eddy, s.f.).

Características Biológicas del Agua residual

Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales se detallan en la tabla 2:

Tabla 2

Clasificación de los Microorganismos

Grupo	Estructura celular	Características	Miembros representativos
Eucariotas	Eucariota	Multicelular y unicelular	Plantas, musgos, helechos, animales: vertebrados e invertebrados, protistas: algas, hongos y protozoos
Eubacterias	Procariota	Química celular similar a las eucariotas	Bacterias
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termacidófilos

Nota: La tabla resume la clasificación de los microorganismos presentes en aguas residuales. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Autoevaluación Unidad 2

1. Responda las siguientes afirmaciones con “V” si es verdadera, o “F” si es falso:

Argumento	Respuesta
1. Los sólidos suspendidos provocan en el agua turbidez.	()
2. Los sólidos sedimentables son responsables de taponar tuberías y desagües	()
3. Las diaminas tienen un olor peculiar similar a carne descompuesta	()
4. La DQO emplea agentes químicos como el dicromato de potasio para oxidar la materia orgánica.	()
5. La DBO5 elimina en su ensayo de 5 días alrededor del 95 y 99% de la materia carbonosa.	()
6. La temperatura del agua residual es más baja que la del agua de suministro.	()

Unidad 3: Tratamiento de Aguas Residuales Primario y Secundario

Tratamiento Primario de Aguas Residuales

Procesos y Operaciones Unitarias Físicas

Los tratamientos unitarios o primarios constituyen los primeros métodos de tratamiento empleados por el hombre y hoy en día son la base de la mayoría de diagramas de flujo de procesos, contemplan el uso de operaciones de fuerzas físicas tales como: medición de caudales, desbaste, dilaceración, homogenización de caudales, mezclado, floculación, sedimentación, sedimentación acelerada, flotación, filtración, transferencia de gases y volatilización y arrastre de gases. Los principales tratamientos físicos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Aplicaciones de las Operaciones Físicas Unitarias en Tratamiento de Aguas Residuales

Operación	Aplicación	Observaciones
Medición de caudales	Control y seguimiento de procesos, informes de descarga	
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie por rejilla).	<i>Revisar tabla 4 y figura 3 para mayor comprensión</i>
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más uniforme	
Homogenización del caudal	Homogenizar caudal y cargas DBO y sólidos en suspensión	
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual y mantenimiento de sólidos en suspensión, evitar sedimentación.	Aplicable en muchas fases del tratamiento y pueden ser: mezcla completa de una sustancia con otra, mezcla de suspensiones líquidas, mezcla de líquidos miscibles, floculación y transferencia de calor.
Floculación	Provoca Agregación o floculo de pequeñas partículas aumentando su tamaño mediante agentes coagulantes para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad	

Operación	Aplicación	Observaciones
Sedimentación	Esta operación se emplea para la eliminación de arenas, materia en suspensión en floculo biológico, en los decantadores secundarios procesos de fango activado, tanques de decantación primaria de flóculos químicos cuando se emplea coagulación química y para la concentración de sólidos en los espesores de fangos. En la mayoría de los casos el principal objetivo es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo. Eliminación de sólidos sedimentables y espesado de fangos	Trabaja en flujo laminar #Reynolds <1500; velocidad 0,3m/s. Para evitar saltos hidráulicos turbulencias que provoquen un mezclado y generen color y turbiedad en el agua.
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos en partículas con densidades cercanas a la del agua, importante también para espesar fangos biológicos Se emplea para la separación de partículas sólidas y líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascensional que experimenta partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie.	Permite eliminar de mejor y en menor tiempo partículas pequeñas o ligeras Se analiza por: flotación aire disuelto, por aireación y flotación por vacío. <i>Revisar figura 4.</i>
Filtración	Eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) residuales presentes después del tratamiento químico o biológico, también se emplea para la eliminación de fósforo precipitado por vía química.	<i>Revisar figura 5</i> para tipos de filtros empleados para filtración de agua residual.
Microtamizado	Mismas funciones que la filtración, útil para eliminación de algas de los efluentes de las lagunas de estabilización	
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases	
Volatilización y arrastre de gases	Emisión de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles del agua residual.	

Nota: La tabla muestra las principales técnicas de tratamiento primario de aguas residuales. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.)

Tabla 4

Descripción de los Dispositivos de Desbaste para Tratamiento de Agua Residual

Tipo de Dispositivo	Clasificación por tamaño	Intervalo de paso	Material	Aplicación
Reja de barras	Grueso	1,5 – 3,75	Acero, acero inoxidable	Pretratamiento
Tamices: Inclinado fijo	Medio	0,025 – 0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario
Inclinado giratorio	Grueso	0,075 x 0,225 x 5	Placas de bronce o cobre pulido	Pretratamiento
Tambor giratorio	Grueso	0,25- 0,50	Malla de cuña de acero inoxidable	Pretratamiento
	Medio	0,025- 0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario
	Fino	6- 35 micras	Malla de poliéster y de acero inoxidable	Eliminación de sólidos en suspensión, residuales secundarios
Disco giratorio	Medio	0,025- 0,1	Acero inoxidable	Tratamiento primario
	Fino	0,0025- 0,05	Acero inoxidable	Tratamiento primario
Centrífugo	Fino	0,005-0,05	Acero inoxidable, poliéster y diversos tipos de telas.	Tratamiento primario, secundario con tanque de sedimentación y eliminación de sólidos en suspensión residuales secundarios.

Nota: La tabla muestra los dispositivos de desbaste utilizados para tratamiento primario de aguas residuales. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Figura 3

Elementos de Desbaste y Tamizado

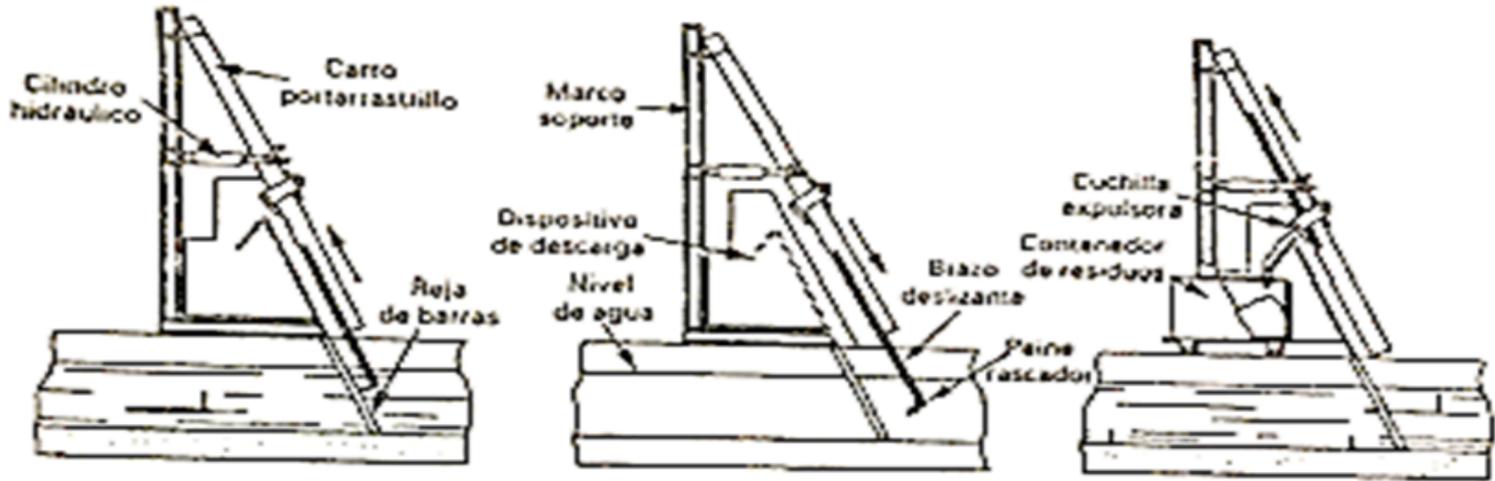
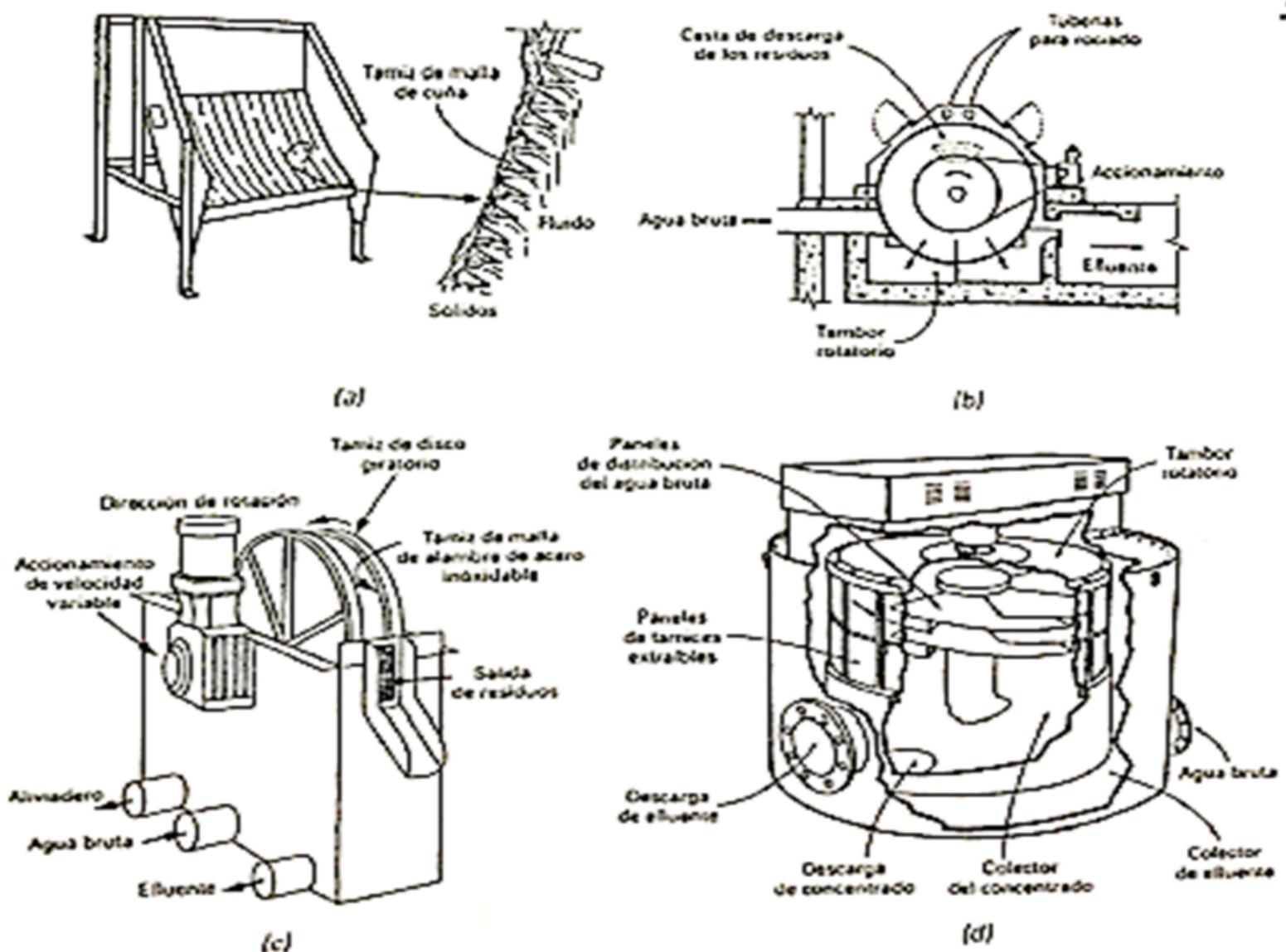


FIGURA 6-2

Rejas autolimpiantes típicas empleadas en el tratamiento del agua residual (Franklin Miller).



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo de los diferentes tipos de desbaste y tamizado utilizados en tratamiento de agua residual. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Figura 4

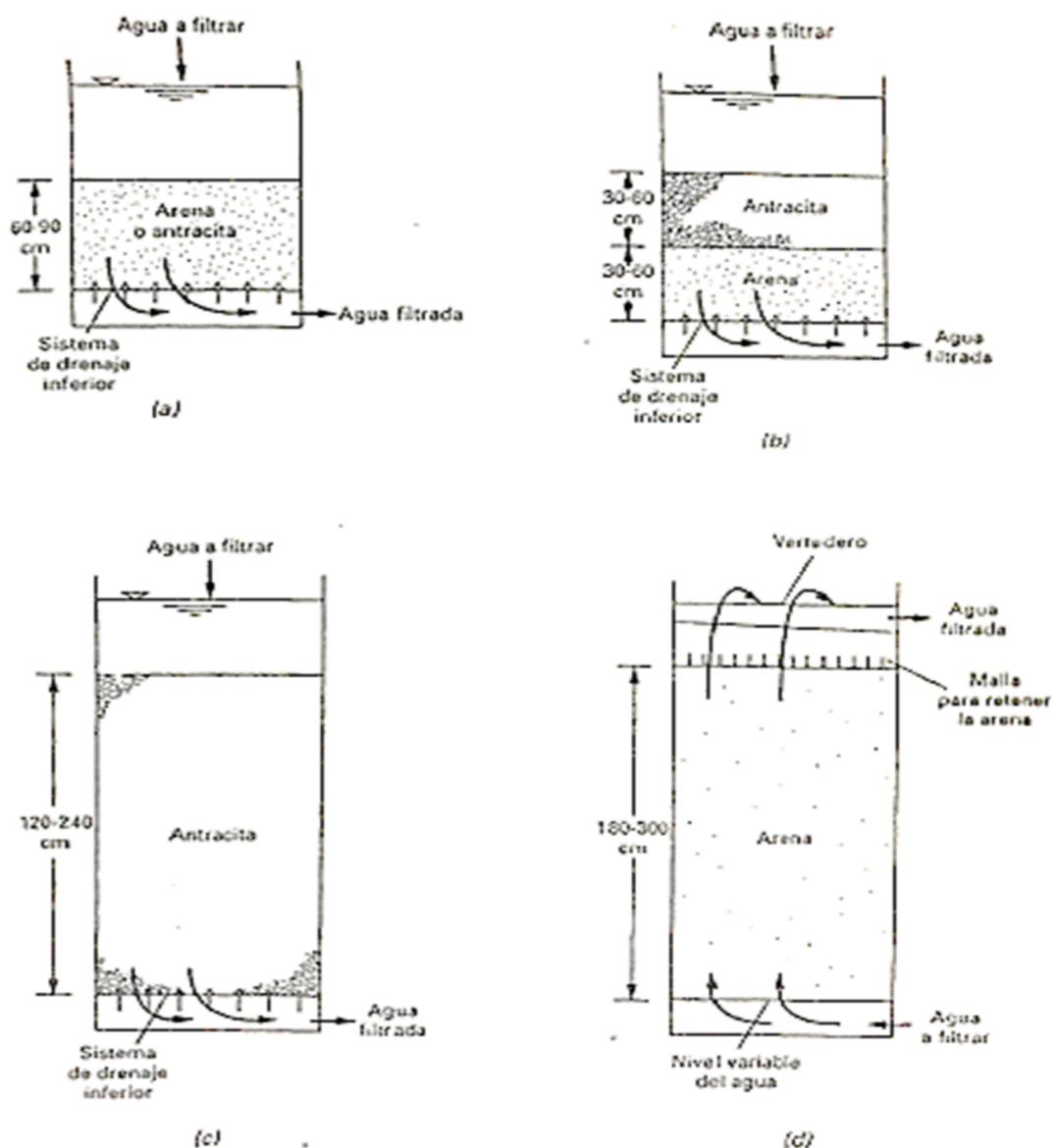
Flotación de Aguas Residuales por Aireación



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo de un proceso de flotación por aireación como tratamiento al agua residual. Tomado de Carniccio (25 de nov 2014).

Figura 5

Tipos de Filtros para Filtración de Agua Residual



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo de los tipos de filtros empleados para filtración de agua residual. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Tratamiento Secundario de Aguas residuales

Tratamiento unitario químico

Los tratamientos secundarios o químicos unitarios son una mezcla de procesos de operaciones físicas unitarias y procesos biológicos, por lo que se caracterizan como procesos sustractivos empleados para eliminar parte de la materia orgánica del agua residual. Los principales tratamientos químicos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Aplicaciones de los Procesos Químicos Unitarios en Tratamiento de Agua Residual

Proceso	Aplicación	Observaciones
Precipitación química	Elimina fósforo y mejora la eliminación de sólidos suspendidos en instalaciones de sedimentación primaria.	Lleva consigo adición de productos químicos tales como: sulfato de alumina, cal, sulfato de hierro (caparrosa) y cal, cloruro férrico y cal, cloruro férrico y sulfato férrico y cal. Con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, facilitando su eliminación por sedimentación. Mediante la precipitación química se puede conseguir efluentes clarificados libres de materia suspendida o en estado coloidal.
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento químico y biológico. Se emplea para declorar el agua residual antes de su vertido final.	El tratamiento de adsorción mediante carbón activado se emplea para eliminar materia orgánica disuelta y materia particulada dependiendo de la forma en que entran en contacto el carbón y el agua. Puede ser carbón activado granular superior a 0,1mm o carbón activado el polvo con diámetro menor a 200 micromilímetros.

Proceso	Aplicación	Observaciones
Desinfección	Dstrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades muchos no se destruyen en un proceso, punto en el que radica la diferencia entre desinfección y esterilización.	En las aguas residuales las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayor consecuencia en la producción de enfermedades son: bacterias, virus y quistes amebianos. Los agentes químicos empleados para la desinfección incluyen: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, compuestos fenólicos-fenol, alcoholes, metales pesados, colorantes, jabones, compuestos amoniacaes cuaternarios, agua oxigenada y ácidos.

Nota: La tabla muestra las principales aplicaciones químicas unitarias para tratamiento de aguas residuales. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Tratamiento unitario biológico

Los tratamientos biológicos en el agua residual es la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. Para aguas residuales domésticas y aguas de retorno agrícola, el principal objetivo es eliminar nutrientes como el nitrógeno y fósforo que pueden favorecer el crecimiento de plantas acuáticas como algas y producir daños como la eutrofización, para aguas residuales industriales el principal objetivo es la reducción de la concentración de compuestos orgánicos como inorgánicos. Los principales tratamientos biológicos se muestran en la *Tabla 6*.

Tabla 6

Principales Procesos Biológicos en Tratamiento de Agua Residual

Procesos	Nombre común	Aplicación	Observaciones
Procesos aerobios: Cultivo en suspensión	Proceso de fangos activos Convencional flujo pistón Mezcla completa Aireación graduada Reactor intermitente secuencias Reactor discontinuo secuencial SBR Aireación prolongada Canales de oxidación Tanques profundos Deep Shaft	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación).	Los SBR: es un reactor discontinuo secuencial para tratamiento de fangos activos se basa en la secuencia de llenado y vacío. En el sistema interviene la aireación y la sedimentación-clarificación <i>Véase la figura 6.</i>
	Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)	
	Nitrificación de cultivos en suspensión	Nitrificación	
	Digestión aerobia	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa	
Cultivo fijo	Filtros percoladores	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)	Los percoladores consisten en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual, el medio filtrante puede ser de piedra, escorias o diferentes materiales como plástico de relleno.
	Baja carga Alta carga		
	Filtros de desbaste	Eliminación de la DBO carbonosa	
	Sistemas biológicos rotativos RBC	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)	

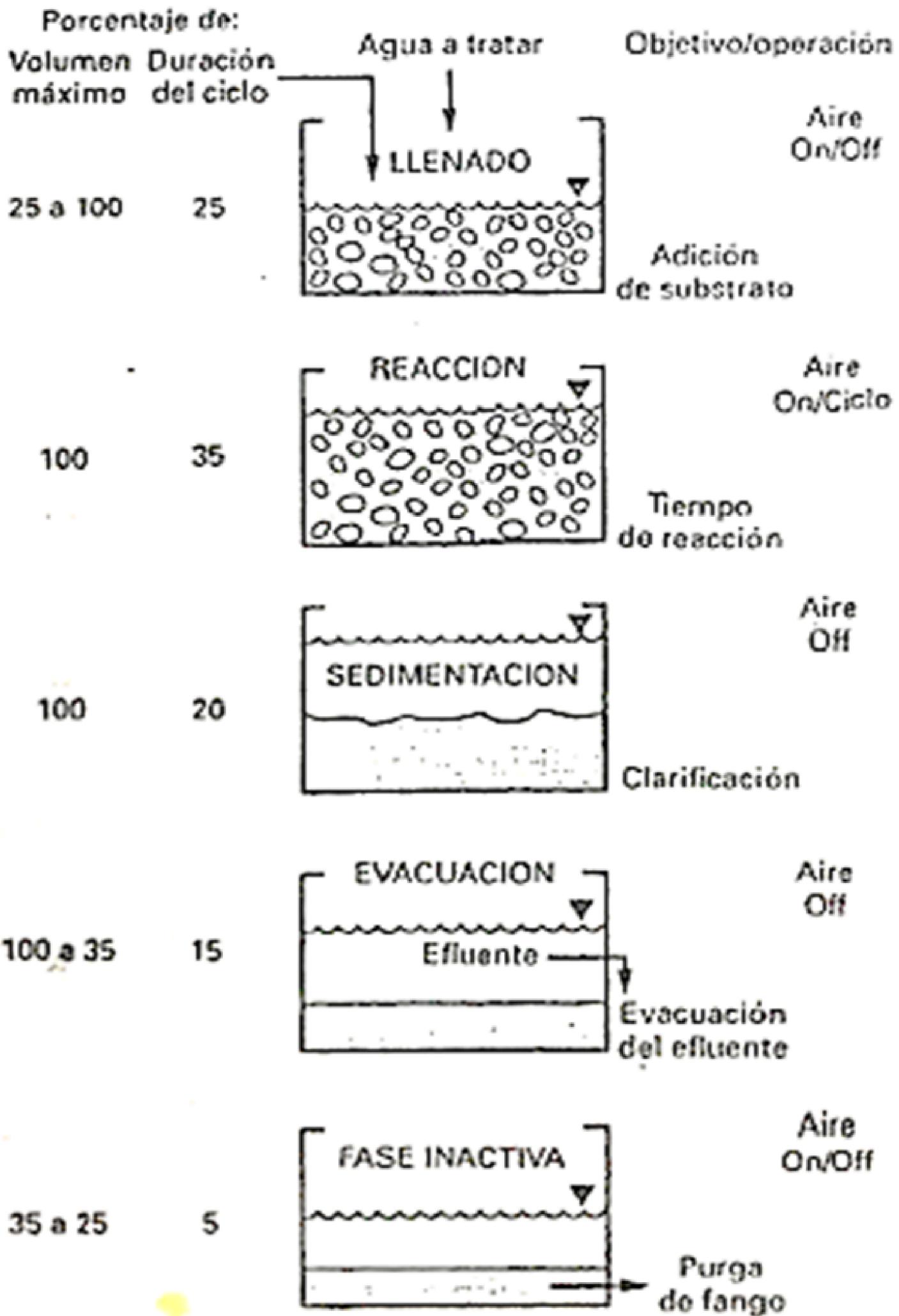
Procesos combinados	Biofiltros activados	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)	
	Filtros percoladores con contacto de sólidos, procesos de fangos activos con biofiltros, proceso de filtros percoladores y fangos activados en serie.		
Procesos anóxicos: Cultivo en suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación	
Cultivo fijo	Desnitrificación de película fija	Desnitrificación	
Procesos anaerobios: Cultivo de suspensión	Digestión anaerobia Baja carga Alta carga Doble etapa	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa	
	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO carbonosa	
	Manto de fango anaerobio del flujo ascendente	Eliminación de la DBO carbonosa	
Cultivo fijo	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos (desnitrificación)	
	Lecho expandido	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de residuos	
Procesos aerobios, anaerobios y anóxicos combinados: Cultivo de suspensión	Procesos de una o varias etapas, múltiples procesos patentados	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo.	
Procesos combinados: Cultivo fijo y en suspensión	Procesos de una o varias etapas	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo.	

Procesos en estanque	Lagunas aerobias	Eliminación de la DBO carbonosa	
	Estanques de maduración	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)	
	Estanques facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa	Trabajan a estabilización de una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias. Los estanques constan de tres etapas o zonas: una zona superficial en la existen bacteria aerobias y algas en relación simbiótica, una zona intermedia que es parcialmente aerobia-anaerobia en la que la descomposición de residuos orgánicos se lleva a cabo mediante bacterias facultativas y una zona anaerobia productora de gases dióxido de carbono, metano, nitratos y sulfuros que bien se oxidan por las bacterias o se eliminan a la atmósfera. Para mayor comprensión del sistema véase la figura 7.
	Estanques anaerobios	Eliminación de la DBO carbonosa (estabilización de residuos).	

Nota: La tabla muestra los principales procesos biológicos utilizados en tratamiento de aguas residuales. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Figura 6

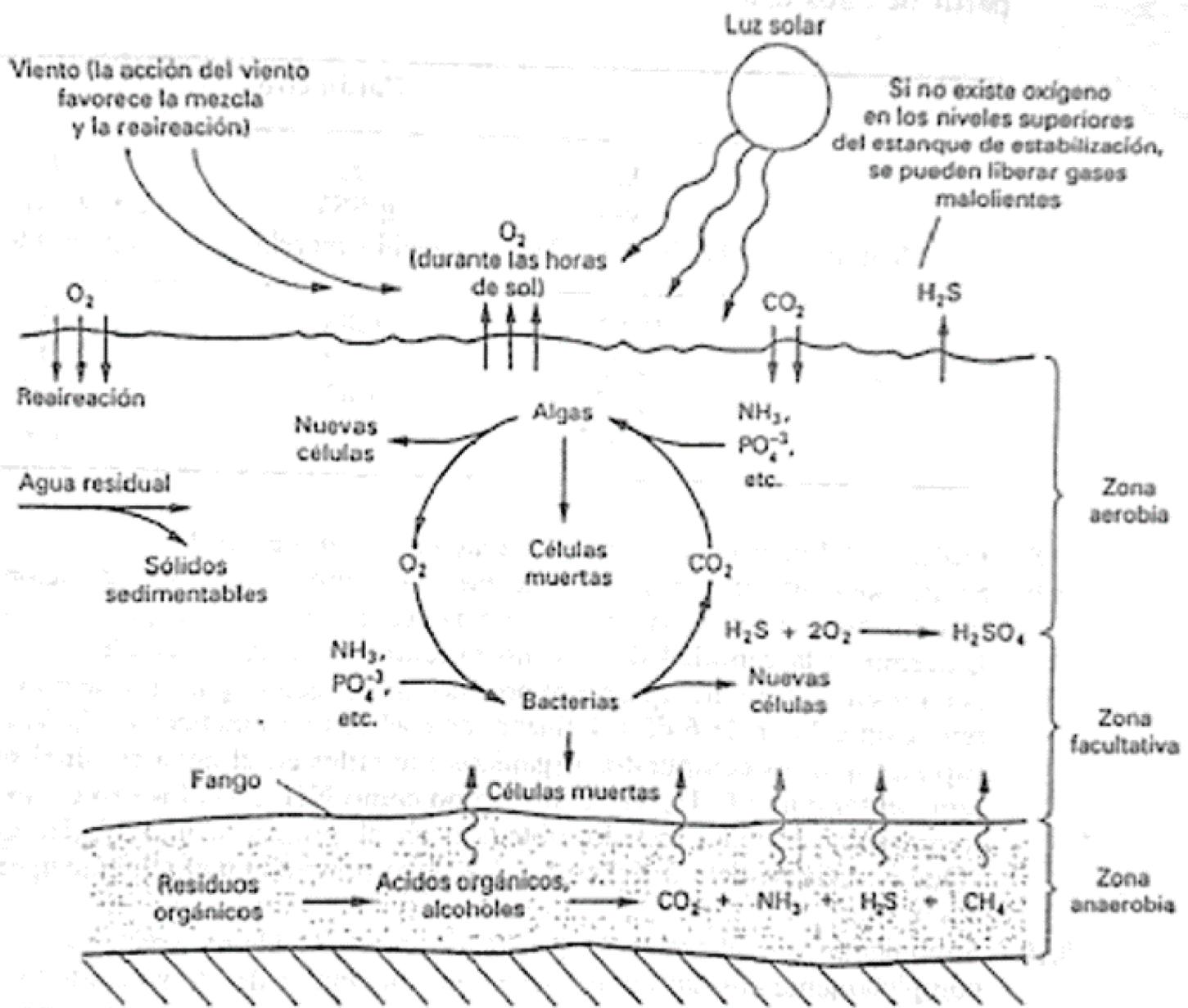
Funcionamiento del Reactor Discontinuo Secuencial SBR



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo de un reactor discontinuo secuencial SBR. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Figura 7

Representación Esquemática de un Estanque Facultativo



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo de la representación esquemática de un estanque facultativo. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Autoevaluación Unidad 3

Responda las siguientes afirmaciones con “V” si es verdadera, o “F” si es falso:

Argumento	Respuesta
11. El desbaste es una operación unitaria, empleada para separar, cernir, colar o tamizar sólidos gruesos de tamaño considerable.	()
12. Los sólidos coloidales ocasionan en las aguas residuales olor.	()
13. Los sedimentadores en una PTAR trabajan a flujo laminar #Reynolds <1500; velocidad 0,3m/s.	()
14. La flotación se emplea para eliminar materia suspendida y dar concentración a los fangos biológicos.	()
15. Los tratamientos biológicos son empleados mayormente para eliminar sólidos sedimentables volátiles del agua residual.	()
16. Las lagunas o estanques facultativos están conformados de tres zonas, una superficial aerobia, una facultativa intermedia y una zona inferior anóxica.	()

Unidad 4: Tratamiento de Aguas Residuales Terciario

Tratamiento Terciario de Aguas Residuales

Son combinaciones complementarias adicionales de procesos y operaciones unitarias físicas, químicas y biológicas, con el fin de eliminar en totalidad contaminantes como el nitrógeno, fósforo cuyas reducciones no son significativas con los tratamientos secundarios, así mismo eliminar todo rastro de microorganismos que pueden llegar hacer perjudiciales para la salud humana, se emplean específicamente comoun tratamiento final de purificación y clarificación de aguas residuales con el propósito de poder reconectarlas a una red de alcantarillado para consumo humano, es decir lograr conseguir un tipo de agua vital y bebible que cumpla con las normas de seguridad. Los principales tratamientos terciarios que se verán en esta guía se muestran en la *Tabla 7*.

Tabla 7

Principales Procesos Terciarios para Tratamiento de Aguas Residuales

Proceso	Aplicación	Observaciones
Desinfección con Cloro	Dstrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más empleado para purificación, al igual que el hipoclorito de sodio, de la misma manera para destrucción de bacterias patógenas el agua <u>muy ácida</u> o <u>muy alcalina</u> con pH inferior a 3 o superior a 11 es relativamente tóxica para la mayoría de las bacterias.	Revisar <i>Tabla 8</i> para mayor comprensión.
Decloración	Eliminación total del cloro combinado residual presente en el agua después de la	El cloro libre al reaccionar con el amoniaco crea un agente fuertemente oxidante,

	<p>cloración, para reducir los efectos tóxicos de los efluentes descargados a los cursos de agua receptores o destinados a reutilización. El producto químico más empleado para llevar a cabo la decloración tanto si es necesaria para cumplir las limitaciones de vertidos, como si se aplica para mejorar la calidad del efluente de la cloración al Breakpoint para la eliminación del nitrógeno amoniacal es el dióxido de azufre, carbón activado, sulfito de sodio (Na_2SO_3) y metabisulfito de sodio ($Na_2S_2O_5$).</p>	<p>complicando el mantenimiento de cantidad residual para desinfección, a esto se lo conoce como la reacción al Breakpoint fenómeno que resulta de la cloración, uno de los principales problemas registrados por formación de tricloruro de nitrógeno y compuestos afines por operaciones del Breakpoint es la presencia de olores.</p>
Desinfección con Cloruro de bromo	<p>Dstrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades</p>	<p>Ayuda en la desinfección celular, interrumpiendo su actividad enzimática crítica, se ha podido comprobar que las bromaminas son germicidas efectivos que se degradan a mayor velocidad inactivando la misma cantidad de poli virus que el cloro, pero con mitad de dosis.</p>
Desinfección con Ozono	<p>Dstrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El ozono fue empleado por primera vez en Francia, hoy en día existen alrededor de 1000 instalaciones de desinfección con ozono, la mayor parte de ellas en Europa. El uso común de estas instalaciones se centra en el control de agentes</p>	<p>El ozono es químicamente inestable, se descompone en oxígeno muy rápidamente después de su generación, por lo cual obliga al proceso a generarse in-situ. Efectivo en la destrucción de bacterias debido a la desintegración de la pared celular (lisis celular), también es un buen viricida muy efectivo y así mismo se</p>

	<p>responsables de la producción de sabores, olores, colores (como las materias húmicas y aminas) y materia orgánica soluble refractaria de las aguas residuales, sustituyendo así al proceso de adsorción con carbón activado.</p>	<p>entiende que su efectividad es superior a la del cloro, ya que la ozonificación no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amoniacado ni por variaciones de pH como en el proceso de desinfección.</p>
<p>Desinfección con luz ultravioleta</p>	<p>Dstrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. La desinfección con rayos ultravioletas UV se empleó a principios del siglo para tratamiento de aguas de abasto o aguas de suministro de alta calidad, actualmente se emplea este método para tratar aguas residuales, se ha comprobado que una correcta dosificación de rayos ultravioletas es un eficaz bactericida y viricida, además de no contribuir a la formación de compuestos tóxicos.</p>	<p>Actualmente se emplea lámparas de arco de mercurio a baja presión, las lámparas emiten entre el 85% de luz monocromática con una longitud de onda de 253,7nm, valor que se halla dentro del intervalo óptimo para la obtención de efectos germicidas. Las lámparas pueden ser suspendidas fuera del líquido o sumergidas en él, en el caso último las lámparas deben ser recubiertas con cuarzo para evitar el efecto refrigerante del líquido que se halle a su alrededor.</p>
	<p>La radiación penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por los materiales celulares incluidos el ADN y ARN lo cual impide la reproducción y puede producir directamente la muerte de la célula. Para que el tratamiento funcione el agua debe estar libre de turbiedad ya que de existir la radiación actuará como un escudo protector para las bacterias. La radiación ultravioleta no es efectiva para aguas</p>	<p><i>Véase figura 8 y 9 para mayor comprensión.</i></p>
	<p>residuales con alto contenido de concentraciones de <u>sólidos</u>.</p>	

Nota: La tabla muestra los principales tratamientos terciarios aplicados a las aguas residuales. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.).

Tabla 8

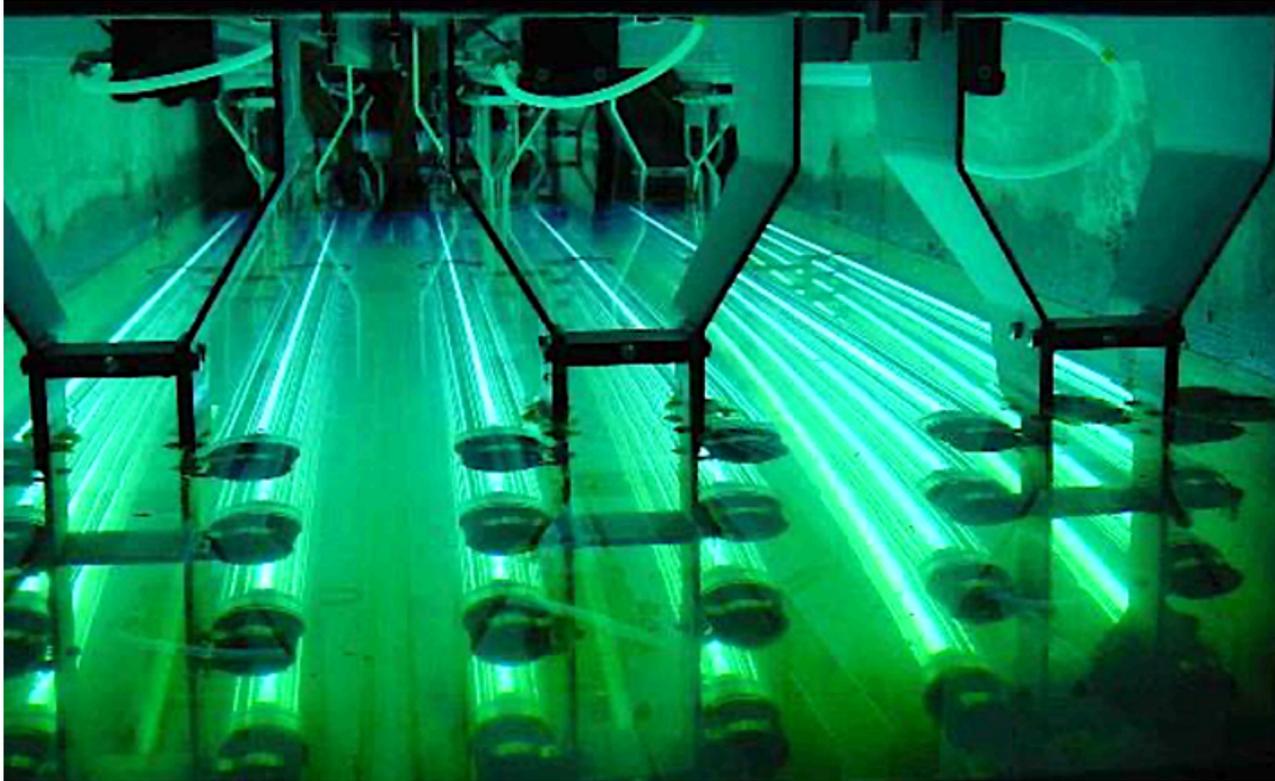
Características Ideales y Prácticas de los Desinfectantes Químicos Normalmente Utilizados

Característica	Propiedades/respuesta	Cloro	Hipoclorito de sodio
Toxicidad para los microorganismos	Debe ser altamente tóxico a altas concentraciones	Alta	Alta
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o en un tejido celular	Ligera	Alta
Estabilidad	La pérdida de acción germicida con el tiempo debe ser baja	Estable	Ligeramente estable
No tóxico para las formas de vida superiores	Debe ser tóxico para los microorganismos no para el hombre y otros animales	Altamente tóxico para las formas de vida superiores	Tóxico
Homogeneidad	La disolución debe ser uniforme en su composición	Homogéneo	Homogéneo
Interacción con materias extrañas	No debe ser absorbido por otras materias orgánicas, más que por las células bacterianas	Oxida la materia orgánica	Oxidante activo
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectivo en el intervalo de temperatura ambiente	Alta	Alta
Penetración	Debe tener la capacidad de penetrar a través de las superficies	Alta	Alta
No corrosivo y no colorante	No debe afectar, dañar o atacar a los metales ni teñir la ropa	Muy corrosivo	Corrosivo
Capacidad desodorante	Debe desodorizar a la vez que desinfectar	Alta	Moderado
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a precio razonable	Coste bajo	Coste moderadamente bajo

Nota: La tabla muestra las principales características ideales y prácticas de los desinfectantes químicos más utilizados en tratamiento de aguas residuales. Tomado de Metcalf y Eddy (s.f.)

Figura 8

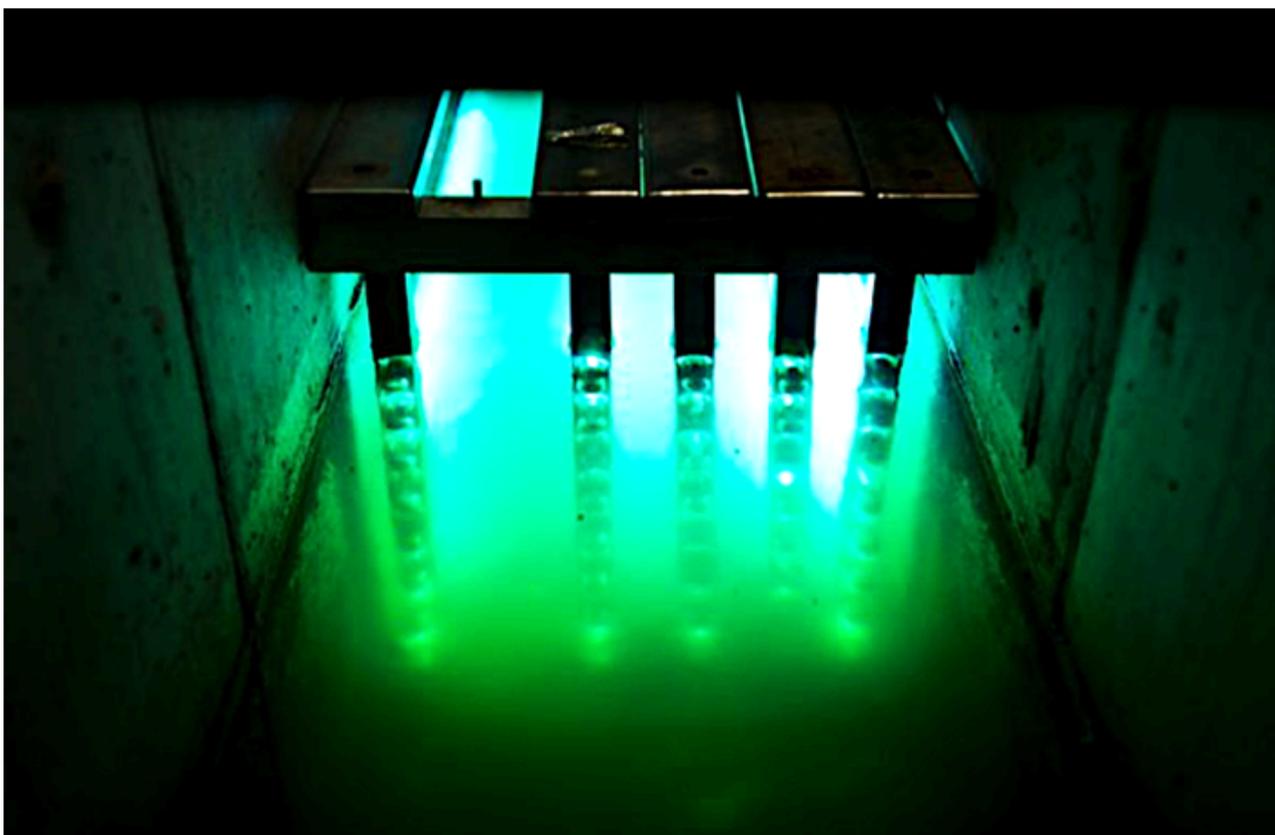
Representación Esquemática de Desinfección con Rayos Ultravioletas Sumergidos



Nota: la figura muestra una fotografía como ejemplo de una representación esquemática de desinfección con rayos ultravioletas sumergidos. Tomado de Qualitat Bilanz (sf).

Figura 9

Representación Esquemática de Desinfección con Rayos Ultravioletas en Superficie



Nota: La figura muestra una fotografía como ejemplo de una representación esquemática de desinfección con rayos ultravioletas en superficie. Tomado de MLive (2023).

Autoevaluación Unidad 4

Responda las siguientes afirmaciones con “V” si es verdadera, o “F” si es falso:

Argumento	Respuesta
17. Los tratamientos terciarios se aplican como medio de purificación y clarificación de agua residual.	()
18. El cloro es ligeramente soluble en agua.	()
19. El Breakpoint genera problemas de olores en las aguas residuales debido a las formaciones de tricloruro de nitrógeno.	()
20. Para eliminar el nitrógeno amoniacal de procesos de decoloración se utiliza el dióxido de azufre.	()
21. El bromo residual es más tóxico que el cloro residual.	()
22. El ozono controla agentes responsables de la producción de olores, sabores y colores.	()
23. El ozono es químicamente inestable, lo cual obliga a que sus procesos sean in-situ.	()
24. La desinfección con rayos ultravioletas no contribuye a la formación de compuestos tóxicos.	()
25. Para aplicar desinfección con rayos ultravioletas el agua debe estar libre de turbidez.	()

Solucionario de las Autoevaluaciones.

UNIDAD 1	
1.	V
2.	F
3.	V
4.	V
UNIDAD 2	
5.	V
6.	V
7.	V
8.	V
9.	F
10.	F
UNIDAD 3	
11.	V
12.	F
13.	V
14.	V
15.	V
16.	F

UNIDAD 4	
17.	V
18.	V
19.	V
20.	V
21.	F
22.	V
23.	V
24.	V
25.	V

Bibliografía básica

Roekburi, K. (25 de mayo 2023). Agua Residual. shutterstock.

Carniccio, S. (25 de nov 2014). Flotación de aguas residuales. shutterstock.

Allende, A. (sf). Tratamiento terciario de desinfección de aguas residuales. DiCYT.

MLive. (2023). La radiación ultravioleta permite el uso seguro de aguas residuales en riego agrícola. Tripleenlace.

Camino, N. d. (2011). Repositorio Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de Control de la contaminación del agua: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/11632/1/FJCS-DE-837.pdf>

Corozo, J. P., & Vergara Loor , K. (2023). DISEÑO DE BIOFILTRO PARA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD BALLAGÁN, ECUADOR. 93.}

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico . (30 de JULIO de 2002). Política Nacional de Agua y Saneamiento. Obtenido de FAO : <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu34716anx.pdf>

Nunez, C. (2024). contaminación del agua. National Geographyc Metcalf y Eddy. (s.f.). Ingenieria de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill.

Qualitat, B. (sf). Desinfección por ultravioletas. Como controlar el coste de la desinfección por ultravioletas. Bilanz Qualitat, España.

Detalle	Nombre	Firma
Elaborado por:	Ing. Güilcapi Fernanda	
Revisado por:	Ing. Edison Torres	
Aprobado por:	Ing. Juan Pablo Bustos	

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO **SUDAMERICANO**

Quito, Ecuador



ISBN: 978-9942-7209-6-2



9 789942 720962