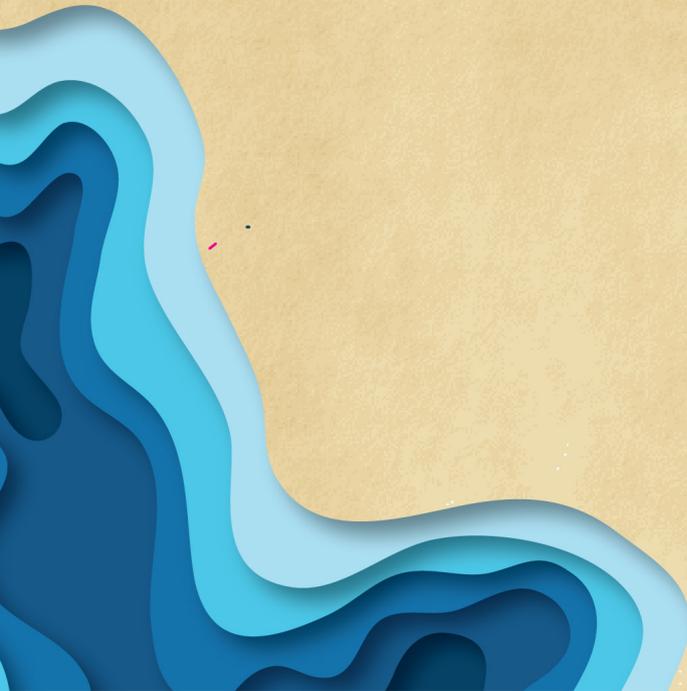


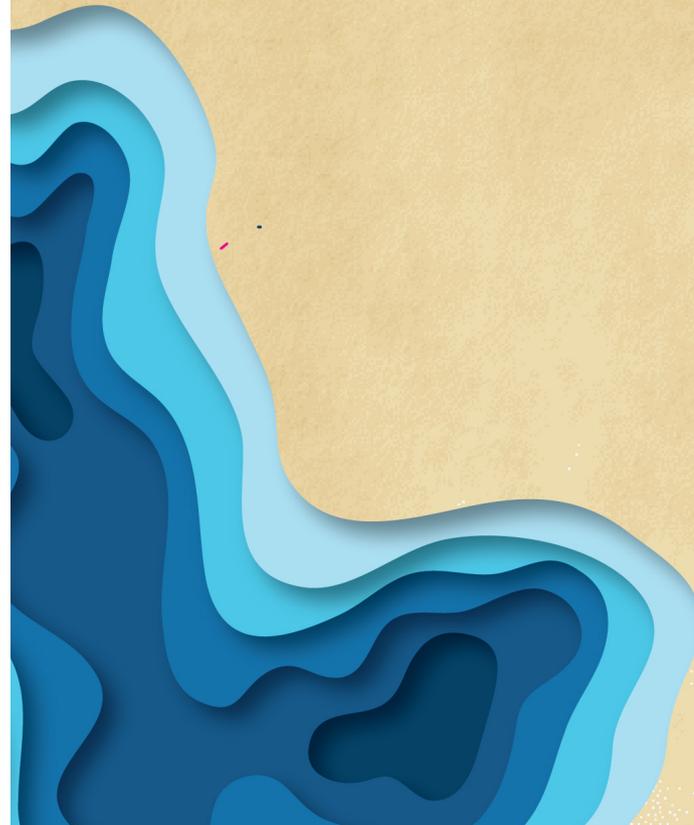
MANUAL

OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS



MANUAL

**OPERACIÓN DE
PLANTAS DE
TRATAMIENTO
DE AGUAS
RESIDUALES
POR LODOS
ACTIVADOS**



OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS MANUAL DEL USUARIO

COORDINACIÓN

Lic. Liliana García Ramírez

DOCUMENTACIÓN Y CONTENIDOS

Ing. Maximiliano Olivares Padilla
Ing. Nancy Maffiodo Hernández
Ing. Melissa Eligio Martínez
Ing. Ana Luisa Zavala García
Biol. Rosa María Loreto Viruel
M. en C. Gonzalo Merediz Alonso

COLABORACIÓN

Ing. Marco Jiménez García
M. en C. Joan Sánchez Sánchez
Ing. Roque Aguilar Herrera
M.I. Salvador Santos Mendoza
Ing. Amb. Jorge Dzul Chi

FOTOGRAFÍA

Érika Hernández
Armando Gasse
Angélica Almazán
Lorenzo Álvarez
Rosa María Loreto

DISEÑO EDITORIAL

Lic. Ilse Hernández Orozco

Con la colaboración de:



INSTITUCIONES

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo

Banco Interamericano de Desarrollo.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Comisión Nacional del Agua.

Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán.

Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo.

Iniciativa de Turismo del Arrecife Mesoamericano (MARTI por sus siglas en inglés).

SacTun.

Amigos de Sian Ka'an, A.C.

2da edición, 2021©
Amigos de Sian Ka'an A.C.
Impreso en México.

Este documento ha sido posible gracias al apoyo del proyecto "Manejo integrado de la cuenca del arrecife de la ecorregión del Arrecife Mesoamericano". Los contenidos de este documento son responsabilidad de Amigos de Sian Ka'an, A.C., y no reflejan necesariamente las opiniones de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, y el Fondo Ambiental Mundial (GEF siglas en inglés) - Fondo para el Medio Ambiente Mundial. (WWF siglas en inglés).

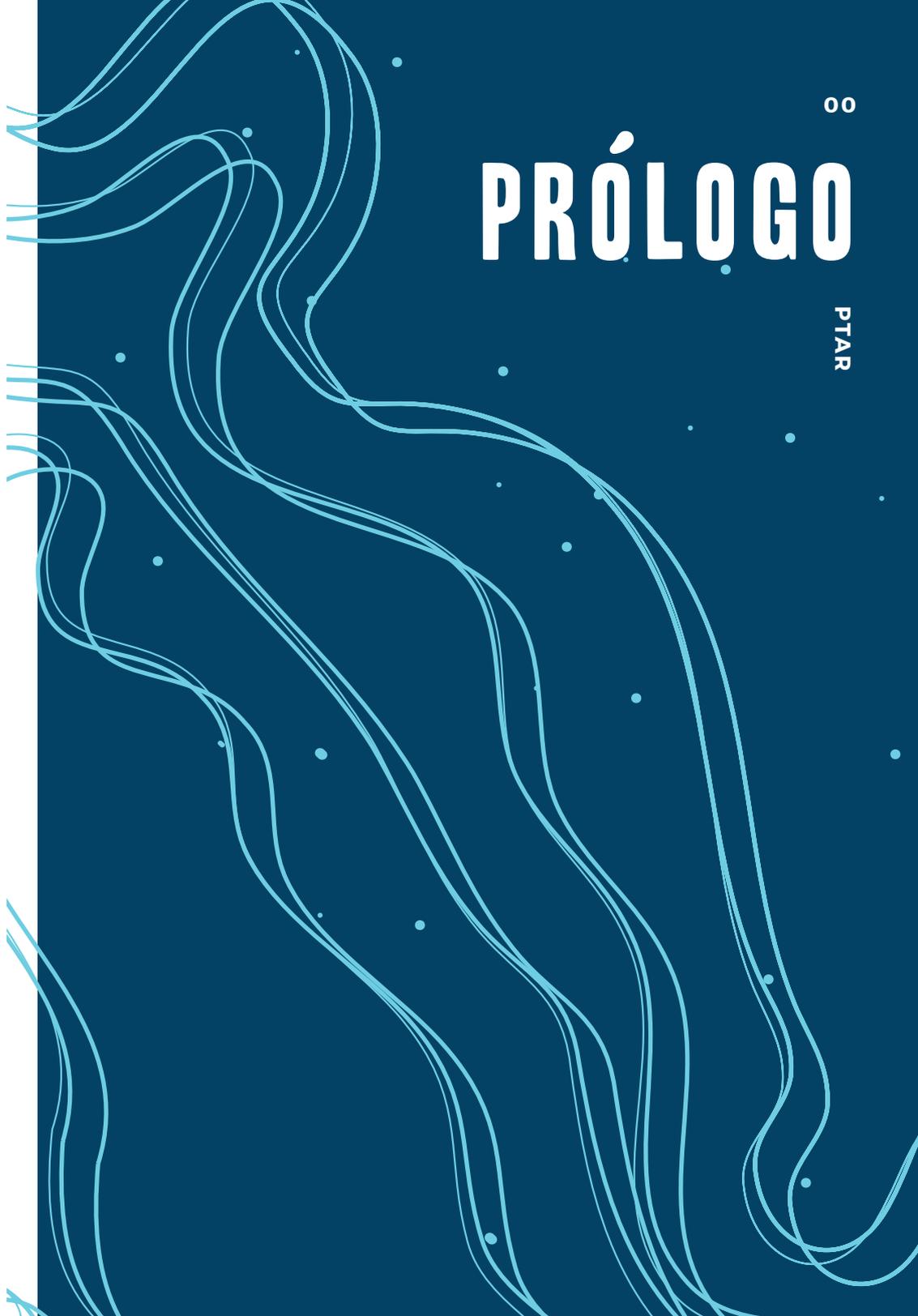




PRÓLOGO

00

PTAR



PRÓLOGO

La región del Arrecife Mesoamericano, que cubre un área de 464,263 km² desde las Islas de la Bahía en Honduras hacia el norte, a través de Guatemala y Belice, hasta Cabo Catoche, Quintana Roo en México, es parte de un sistema interconectado de hábitats terrestres, costeros y marinos que se desarrollan a través de la Cuenca del Caribe. Esta región es reconocida como prioritaria para la conservación de la biodiversidad mundial: Se trata del sistema de arrecifes de coral más grande del Atlántico Occidental. Sus cuencas hidrográficas albergan un rango de ecosistemas forestales, desde bosques nubosos en la cima de sus montañas hasta selvas y manglares en zona costeras. Grandes ríos sinuosos, sistemas hidrogeológicos kársticos, lagunas y humedales conectan la tierra con lechos de pastizales marinos y arrecifes de coral. Asimismo, la región sostiene a más de 12 millones de personas que viven a lo largo de la costa y las islas, pero también en el interior de centros urbanos de los cuatro países.

En este contexto, uno de los más importantes retos que enfrenta el Arrecife Mesoamericano en México, es la creciente contaminación del sistema de ríos subterráneos más grande del mundo. Las aguas contaminadas no solo representan un serio riesgo para la salud humana y en consecuencia para el desarrollo local, sino que pueden llegar a alterar la salud ambiental de los extensos humedales costeros, los cuerpos de agua dulce, y los ecosistemas marinos, incluyendo el arrecife de coral. Ante esta situación es preciso que la gestión integral de los recursos hídricos parta de un enfoque de la cuenca al arrecife, es decir, que la planificación y gestión del agua considere la cuenca hidrográfica como unidad de gestión y que reconozca las interdependencias entre

los sistemas físicos, biológicos, hidrológicos, socioeconómicos y culturales que componen el territorio, partiendo de las partes altas de la cuenca, hasta el arrecife.

Ante el riesgo por contaminación que presenta el acuífero derivado de las descargas de aguas residuales, así como su incorrecto tratamiento, en 2014, la Iniciativa de Turismo del Arrecife Mesoamericano (MARTI, por sus siglas en inglés), a través de Amigos de Sian Ka'an, A.C. y la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Quintana Roo (CAPA), publicaron el documento «Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activados. Manual del Usuario», para apoyar la capacitación de personal especializado en manejar los sistemas de tratamiento de las aguas de deshecho generadas diariamente en Quintana Roo.

En 2020, Amigos de Sian Ka'an en colaboración con el Global Environment Facility, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, World Wildlife Fund, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, así como instituciones públicas y privadas, entre ellas SAC-TUN, CAPA y la Comisión Nacional del Agua, en el marco del proyecto "Manejo Integrado de la Cuenca al Arrecife de la Ecorregión del Arrecife Mesoamericano", actualizan e implementan este documento guía para la óptima disposición de las aguas residuales, tanto del sector hotelero como del público urbano, así como para contribuir al cumplimiento de las metas globales como el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 "Agua limpia y Saneamiento" y el ODS 14 "Vida Marina".

Este manual aporta las directrices y puntos claves para evaluar los procesos que forman parte de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se apoya en métodos basados en la recirculación y la tasa de purga de lodos. Además cuenta con ejercicios prácticos de solución de problemas durante la operación. Los temas de control y monitoreo se complementan con datos técnicos que incluyen valores recomendados para mejorar la eficiencia en el proceso de tratamiento en los reactores biológicos así como los estándares considerados en las normas oficiales mexicanas y normas internacionales para determinar la calidad del agua y la disposición final de los residuos generados tras el tratamiento, incentivando el reúso de las aguas regeneradas y de los lodos activados por medio del composteo.

En esta versión actualizada se aportó información relevante adicional. En el Capítulo 1 se abundó en el tratamiento terciario. En el Capítulo 4 se incorporó una explicación sobre los procesos biológicos involucrados en el compostaje para la estabilización de lodos, así como su reincorporación al ambiente por medio del ciclo del carbono. En el Capítulo 7 se adicionó el apartado de multas y sanciones y se adicionaron gráficos descriptivos para facilitar la comprensión en temas relacionados con crecimiento microbiano y composteo.

En esta edición se incluyeron anexos con normativas y parámetros nacionales e internacionales para el manejo de aguas de desecho y de compostas. La información se presenta de forma gráfica, visual y sencilla, mostrando el «ABC» desde que el operador llega a su planta y hasta que se retira al final de la jornada. Brindase trata de una herramienta útil y práctica para hacer frente a los retos para operar eficazmente un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Este manual ha comenzado a implementarse en 2020, por 25 operadores de Quintana Roo que participaron en el Diplomado en «Manejo Adecuado de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales como Herramienta para Mejorar la Salud del Sistema Arrecifal Mesoamericano», impartido por el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán y Amigos de Sian Ka'an, con apoyo de diversas instituciones públicas y privadas.

Los invitamos a hacer uso de esta herramienta que facilitará el devolver a la naturaleza el agua con la misma calidad con la que se extrajo para su uso por parte de la sociedad. Ello permitirá tener agua limpia para la gente y los ecosistemas desde la cuenca al arrecife.

M. en C. Gonzalo Merediz Alonso
Director Ejecutivo de Amigos de Sian Ka'an
Presidente del Consejo de Cuenca de
la Península de Yucatán

PREFACIO

Los operadores de plantas de tratamiento son actores clave en el desempeño ambientalmente racional de las mismas. El presente manual constituye una herramienta de conocimiento para la profesionalización de los operadores, sabiendo que su aplicabilidad se extiende más allá de la Riviera Maya, para el sector industrial, turístico, residencial y otros localizados en los países la Ecorregión del Arrecife Mesoamericano. Es, además, una muestra concreta de colaboración regional que contribuye a la implementación de acciones relacionadas con el manejo integrado de cuencas y de recursos de agua dulce con enfoque de la cuenca al arrecife.

El tratamiento de aguas residuales es muy limitado en los distintos sectores económicos, lo que ha conllevado al deterioro acelerado de la calidad de agua superficial y subterránea, amenazando los ecosistemas terrestres, costeros y marinos de los que dependen los sectores socioeconómicos y el desarrollo en general de las comunidades que se localizan en el Sistema Arrecifal Mesoamericano.

El tratamiento limitado de aguas residuales tiene en su base aspectos financieros asociados a las inversiones requeridas, pero también es importante considerar aspectos de mantenimiento y control, lo cual depende muchas veces de conocimientos técnicos y capacitación para el personal que opera los sistemas de tratamiento.

La sostenibilidad de la Ecorregión del Arrecife Mesoamericano nos invita a realizar acciones concretas. El adecuado tratamiento de las aguas residuales es una acción directa con enfoque de la cuenca al arrecife que contribuye a mantener los acuíferos de la ecorregión. En las circunstancias actuales de contingencia sanitaria, también es de suma importancia enfocar acciones en la resiliencia y la adaptabilidad.

Para la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) y el proyecto "De la Cuenca al Arrecife-MAR2R", ha sido de mucho agrado acompañar el proceso de aplicación práctica de este manual, siendo la base de los procesos de capacitación desarrollados en la Riviera Maya, especialmente el Diplomado «Manejo adecuado de las

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales como herramienta para mejorar la salud del Sistema Arrecifal Mesoamericano». Consideramos que este es el punto de partida para expandir el alcance de este logro a nuestros países de Centroamérica y República Dominicana aplicando el enfoque "de la cuenca al arrecife".

Es relevante resaltar que este proceso ha generado una experiencia de trabajo interinstitucional, y se constituye en un aporte concreto a la formación y el desarrollo de capacidades para llevar a cabo la transformación individual y colectiva hacia la gestión integral del recurso hídrico.

La CCAD, a través de su proyecto MAR2R, reconoce el esfuerzo y liderazgo de los socios y aliados: Amigos de Sian Ka'an, A.C., la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (CAPA), así como organizaciones como el Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán y Sac-Tun, para desarrollar este manual, que fundamentalmente guía el actuar técnico de los responsables de operar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Gracias por este esfuerzo conjunto. La salud del Sistema Arrecifal Mesoamericano es tarea de todos.

Jair Urriola Quiróz
*Secretario Ejecutivo - Secretaría Ejecutiva de la Comisión
Centroamericana de Ambiente y Desarrollo*

ÍNDICE

PREFACIO ...01

PRÓLOGO ...03

INTRODUCCIÓN ...11

RESPONSABILIDADES
DEL OPERADOR ...13

01

PRINCIPIOS DEL
TRATAMIENTO POR
LADOS ACTIVADOS ...17

*1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
POR LADOS ACTIVADOS*

-FUNDAMENTOS

*1.2 COMPONENTES DEL PROCESO
POR LADOS ACTIVADOS*

-PRETRATAMIENTO
-TRATAMIENTO PRIMARIO
-TRATAMIENTO SECUNDARIO
-TANQUE DE AERACIÓN
-CLARIFICADOR SECUNDARIO
-TRATAMIENTO TERCIARIO
-TRATAMIENTO DE LADOS

02

MONITOREO
DEL PROCESO ...55

2.1 INDICADORES VISUALES

-COLOR Y OLOR DEL LICOR
MEZCLADOS
-ESPUMA EN EL TANQUE DE
AERACIÓN
-FLOTACIÓN DE LADOS
-PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN
DE MEZCLADO EN LA
SUPERFICIE DEL TANQUE DE
AERACIÓN
-OBSERVACIONES
MICROSCÓPICAS
-SEDIMENTABILIDAD
DE LOS LADOS
-CLARIDAD DEL EFLUENTE

2.2 INDICADORES ANALÍTICOS

-CONCENTRACIÓN DEL
AGUA CRUDA
-NIVELES DE OXÍGENO
DISUELTO
-pH Y ALCALINIDAD
-GRASAS Y ACEITES
-CONCENTRACIÓN DE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS
EN EL LICOR MEZCLADO
-CONCENTRACIÓN DE
NUTRIENTES
-ENTRADA DE COMPUESTOS
TÓXICOS
-TEMPERATURA
-DEMANDA BIOQUÍMICA
DE OXÍGENO
- DEMANDA QUÍMICA
DE OXÍGENO
-PROFUNDIDAD DE LA
CAMA DE LADOS
-GASTOS
-TIEMPO DE RETENCIÓN

03

CONTROL DEL PROCESO ...85

3.1 CONTROL POR MEDIO DE LA RECIRCULACIÓN DE LODOS (LAR)

- MÉTODOS BASADOS EN LA RECIRCULACIÓN DE LODOS
- CONTROL POR MEDIO DE UNA RECIRCULACIÓN DE LODOS CONSTANTE
- CONTROL POR MEDIO DE UNA RECIRCULACIÓN DE LODOS VARIABLE
- COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS BASADOS EN LA RECIRCULACIÓN DE LODOS
- MONITOREO DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAMA DE LODOS
- SEDIMENTABILIDAD DE LOS LODOS
- INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS

3.2 CONTROL POR MEDIO DE LA TASA DE PURGA DE LODOS

- CONTROL POR MEDIO DE LA RELACIÓN F/M
- TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR, TMRC
- BALANCE DE SÓLIDOS EN LA RECIRCULACIÓN Y EN LA PURGA DE LODOS
- PURGA DE LODOS CONTINUA
- PURGA DE LODOS INTERMITENTE
- CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR MEZCLADO

04

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS...109

4.1 TRATAMIENTO DE LODOS

- PARÁMETROS DE CONTROL Y OPERACIÓN
- ESPESAMIENTO DE LODOS
- DIGESTIÓN DE LODOS
- DESHIDRATACIÓN DE LODOS

4.2 DISPOSICIÓN DE LOS LODOS DE DESECHO

05

RESOLUCIÓN DE FALLAS MÁS COMUNES ...125

06

SEGURIDAD E HIGIENE ...133

- 6.1 RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD
- 6.2 RECOMENDACIONES DE HIGIENE

EJERCICIOS Y PRÁCTICAS ...139

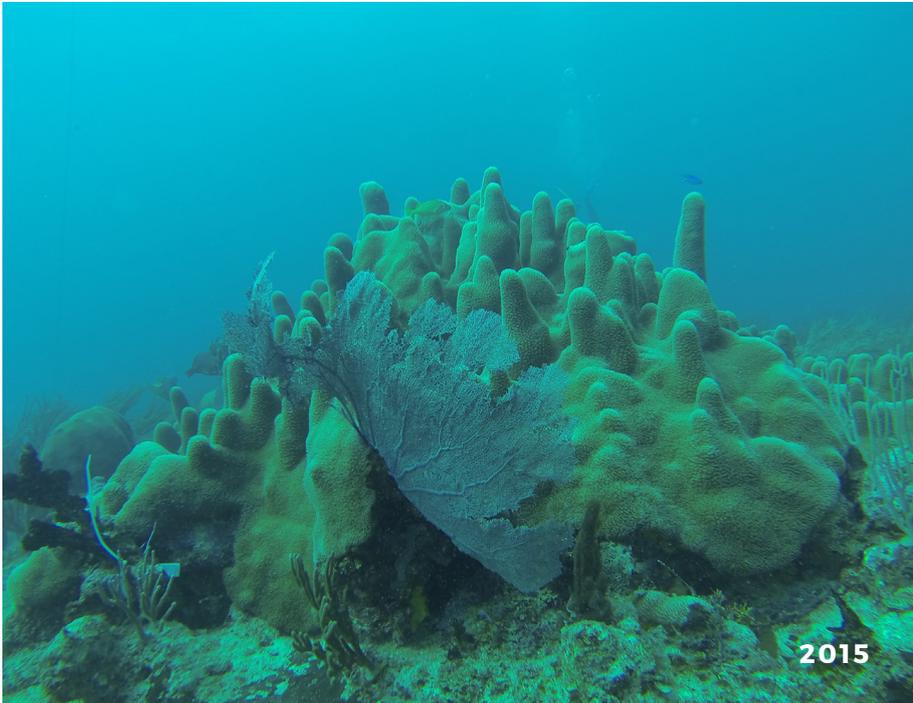
EJERCICIOS PRÁCTICAS

ANEXO ...177

GLOSARIO Y ABREVIATURAS ..197

GLOSARIO ABREVIATURAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ...205



Coral (*Dendrogyra cylindrus*) vivo en el año 2015 y muerto en el 2019 debido al "Síndrome Blanco" provocado por el inadecuado tratamiento de aguas residuales y el deterioro ambiental en general (foto: Rosa Maria Loreto (arriba), Lorenzo Alvarez (abajo)).

INTRODUCCIÓN

En la Península de Yucatán, las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento para las necesidades de la población y sus actividades productivas. La explotación de este recurso no representaba hasta ahora una amenaza seria, debido a que existían grandes cantidades de agua dulce subterránea que podían ser extraídas. Sin embargo, siempre hemos encontrado amenazas sobre los ecosistemas terrestres, costeros y marinos de los que dependen la economía y los seres humanos. Por lo tanto, contaminar el acuífero, además de los impactos ambientales negativos, pone en riesgo la estabilidad y desarrollo socioeconómico de la región.

Las aguas subterráneas de la Península de Yucatán son extremadamente vulnerables a la contaminación producto de las actividades domésticas, agropecuarias, turísticas e industriales, por lo que, es de vital importancia contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales eficientes y personal especializado y capacitado en la operación de estos sistemas. De acuerdo al libro "Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento" publicado por CONAGUA, en la entidad únicamente el 51.1% de las aguas residuales son tratadas, mientras que el 48.9% se vierte sobre cenotes, lagunas, ríos subterráneos o al mar, lo cual asociado a las características geohidrológicas de la región eleva la probabilidad de contaminación de los mantos acuíferos subterráneos y afectaciones a los ecosistemas marinos, particularmente a los arrecifes de coral.

El correcto funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), exige una gestión responsable por parte de todos los involucrados. Su mantenimiento y control, requiere conocer los fundamentos del proceso y las variables que le afectan, por ello es imprescindible formar operadores capacitados y con experiencia, que diagnostiquen, y en su caso corrijan, el desarrollo de las distintas etapas del tratamiento, además de inculcar en ellos la importancia del trabajo que diariamente realizan ya que las consecuencias de un tratamiento inadecuado dan pauta a la generación de nuevos impactos negativos en los ecosistemas tal como el síndrome blanco del coral, además de contribuir a agudizar la invasión de sargazo en zonas costeras, la eutrofización en cuerpos de agua, la generación de puntos de focos de infección, entre otros.

RESPONSABILIDADES

DEL OPERADOR

Son los operadores de las plantas de tratamiento, las personas más importantes para mantener nuestros recursos hídricos limpios y saludables; podríamos decir que son el héroe anónimo industrial del control y protección del medio ambiente.

Su meta es producir agua limpia a partir de agua residual, por ello es indispensable que cuenten con todas las habilidades y conocimientos que se tengan disponibles.

Su trabajo es duro, complejo e interminable; en ellos recae la responsabilidad del funcionamiento correcto, seguro y confiable de las plantas. Con su esfuerzo y vigilancia constante hacen funcionar los sistemas de tratamiento, con la actitud de hacer el mejor trabajo posible bajo cualquier condición.

En sí, los operadores, se encargan de controlar el proceso depurador, con el fin de obtener un efluente de calidad adecuada, que al ser devuelto al medio ambiente o ser reutilizado en ciertas actividades no represente ningún riesgo para los ecosistemas y el hombre mismo. Sus responsabilidades incluyen realizar las actividades de mantenimiento y conservación de la PTAR, siempre teniendo como base los lineamientos descritos en el Manual de Operación y Mantenimiento de su PTAR. Se recomienda que el Operador:

- 1 • Conozca a fondo los procesos físicos, químicos y biológicos que se realizan durante el proceso, estos son la base de la operación y control de la PTAR.
- 2 • Conozca el papel fundamental de los análisis a realizar para el buen funcionamiento de la planta; tanto los que están dirigidos a determinar la eficiencia de su funcionamiento y la calidad del efluente, como los que van dirigidos a su control.
- 3 • Relacione las bases científicas de la depuración con los datos obtenidos mediante el análisis de control, a fin de mejorar al máximo el funcionamiento de la PTAR.



Empleados de Hoteles recogen a diario sargazo en algunas costas de Quintana Roo afectadas por la acumulación de esta alga café que aumenta su crecimiento en aguas ricas en nutrientes. (foto: Rosa María Loreto)



El enfoque del personal encargado del funcionamiento de la PTAR debe estar dirigido a la realización de ciertas pruebas y análisis que permitan a los operadores analizar la calidad y eficiencia del funcionamiento de las instalaciones de las que son responsables, por lo que es imprescindible contar con un laboratorio en la PTAR que cuente con lo mínimo necesario para realizar un control rutinario y asegurar la calidad del agua tratada.

Por tal motivo, se recomienda también contar con un programa de monitoreo y control del proceso, con frecuencias analíticas que permitan a los operadores analizar los principales parámetros como son: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).



PTAR

01

UNO

PRINCIPIOS
DEL
TRATAMIENTO
POR
Lodos
ACTIVADOS

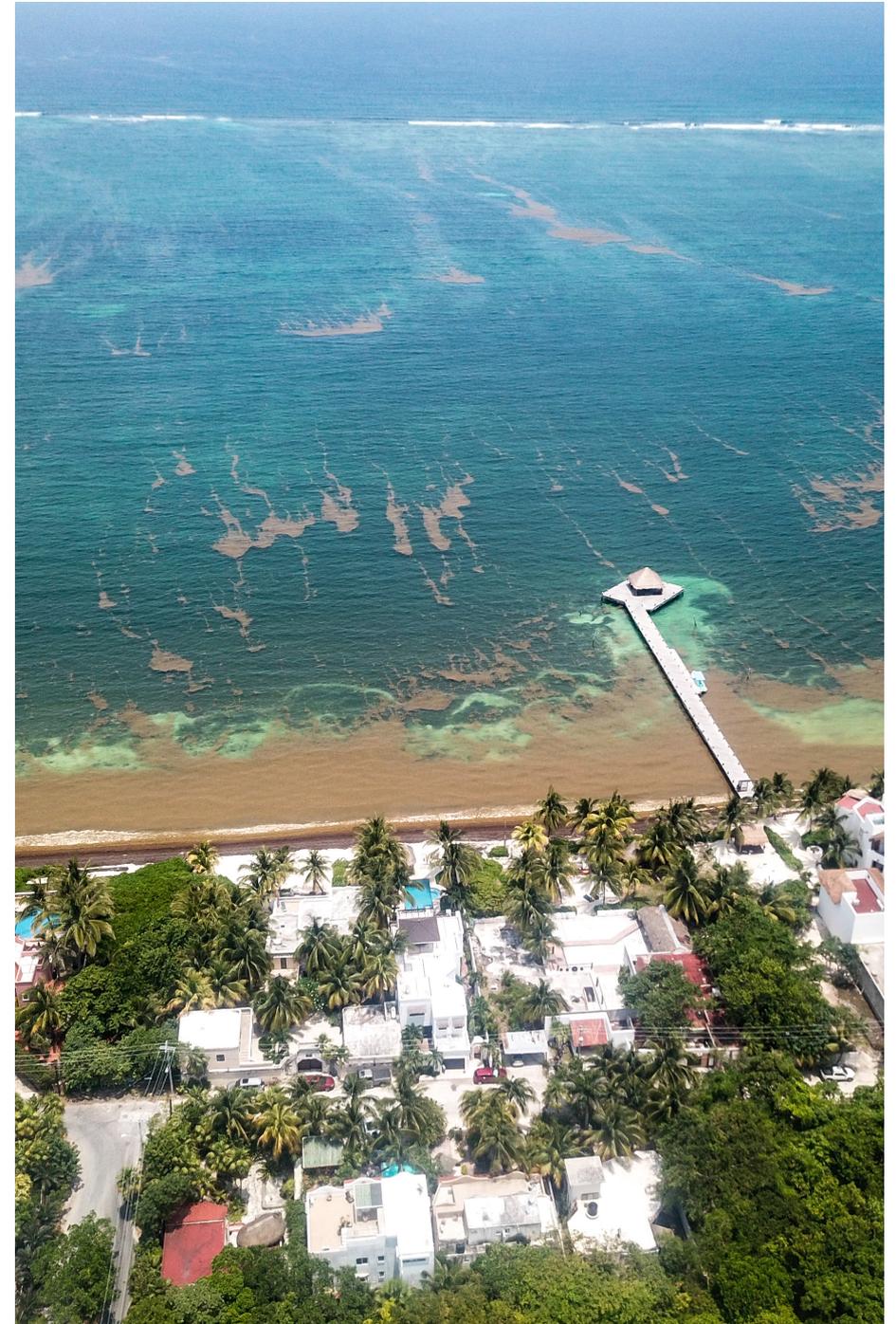
El tratamiento de aguas residuales es un proceso compuesto por procesos físicos, químicos y biológicos, donde se eliminan contaminantes del agua efluente del uso humano. Su objetivo es producir agua limpia (o efluente tratado) reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o lodo, también conveniente para futuros propósitos o recursos.

El proceso es el siguiente:

- 1 • Inicia con la separación física de sólidos de la corriente de aguas domésticas, hoteleras o industriales.
- 2 • Se produce la conversión progresiva de materia orgánica disuelta en una masa biológica sólida, usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas.

- 3 • Una vez que la masa biológica es separada o removida, mediante sedimentación, el agua tratada puede ser sometida a una **desinfección** mediante procesos físicos o químicos.
- 4 • El efluente final puede ser descargado al ambiente sin riesgos de contaminación del cuerpo receptor o reutilizado sin riesgos a la salud humana.
- 5 • Los sólidos biológicos o lodos producidos son sometidos a un tratamiento y estabilización adicional antes de su disposición final.

Estos últimos, los lodos activados, son utilizados con regularidad en la zona costera de Quintana Roo, por ello se ha enfocado este Manual de Operador a su explicación y manejo.



Vista aérea de la costa al arrecife de Puerto Morelos, donde se observa el alga café llamada sargazo que flota en el mar y se acumula a la orilla de la playa cada vez con mayor abundancia de lo normal .
(foto: Lorenzo Alvarez)

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO POR LODOS ACTIVADOS

FUNDAMENTOS

Los lodos activados, son un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales que utiliza microorganismos aerobios para llevar a cabo la descomposición de los residuos. Debido a que los microorganismos aerobios crecen y son mezclados por la agitación del aire, se agrupan formando **flóculos** que a su vez forman una masa microbiana activa llamada "lodo activado". La mezcla de los lodos activados y del agua residual se denomina "**licor mezclado**".

Cuando los lodos activados están en contacto con el agua residual, los microorganismos se alimentan con las partículas presentes en el agua contaminada, esto se conoce como **oxidación**. Como consecuencia, se generan productos como: dióxido de carbono, agua y más

microorganismos (reproducción de los que ya estaban presentes). Debido a esta reproducción, más y más materia orgánica es eliminada del agua. Al reproducirse, los microorganismos se aglomeran en partículas más grandes llamadas flóculos, las cuales serán removidos en el sedimentador o clarificador secundario, como lodo.

La masa de los flóculos está compuesta de millones de microorganismos que incluyen bacterias, **hongos**, levaduras, **protozoarios** y **nemátodos**. Las cenizas o material inorgánico (arcillas) que son adheridas por el flóculo incrementan su densidad.

El mezclado del contenido del reactor ocasiona que los flóculos choquen entre ellos y formen largos racimos. En cierto momento los flóculos son lo suficientemente pesados

para sedimentar en el fondo de un clarificador secundario, en donde pueden ser removidos con facilidad. Si por alguna razón los microorganismos fallan en la remoción de la materia orgánica presente en el agua, entonces la calidad del efluente del sedimentador secundario no será satisfactoria.

Para que el proceso por lodos activados funcione adecuadamente, el operador debe de controlar la cantidad de microorganismos en el sistema, la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aeración y el flujo de agua de entrada a la planta.

La operación satisfactoria de una planta de lodos activados requiere que el operador esté pendiente de todos los factores que influyen en el proceso y que éstos sean verificados constantemente.

El éxito del proceso de lodos activados va a depender de:

- 1 La generación de una comunidad de microorganismos que consuma la materia orgánica.
- 2 Que los microorganismos generados floquen.
- 3 Que los flóculos sedimenten bien, produciendo un lodo concentrado para recircularlo y, por consecuencia, un sobrenadante clarificado.

Los microorganismos expuestos a periodos largos sin alimento pueden morir pues la fuente de materia orgánica se agota.

1.2

COMPONENTES DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

En el proceso por lodos activados convencional (Figura 1.1), el agua residual junto con los lodos activados recirculados entran por un extremo del tanque de aeración o reactor biológico.

La mezcla se lleva a cabo por medio de difusores que proporcionan el aire o por medio de aeración mecánica. La aeración es generalmente uniforme a todo lo largo del tanque. Posteriormente, los lodos activados se separan en un sedimentador o clarificador secundario de donde se obtiene el efluente clarificado. Existen diferentes variantes en los procesos de lodos activados y es importante identificar el tipo de sistema que estamos operando. De acuerdo al inventario de CONAGUA edición 2019, del total de plantas activas, el proceso de tratamiento más utilizado en el Estado es el de lodos activados por aireación extendida, con una cobertura del 70%. (CONAGUA; 2019).

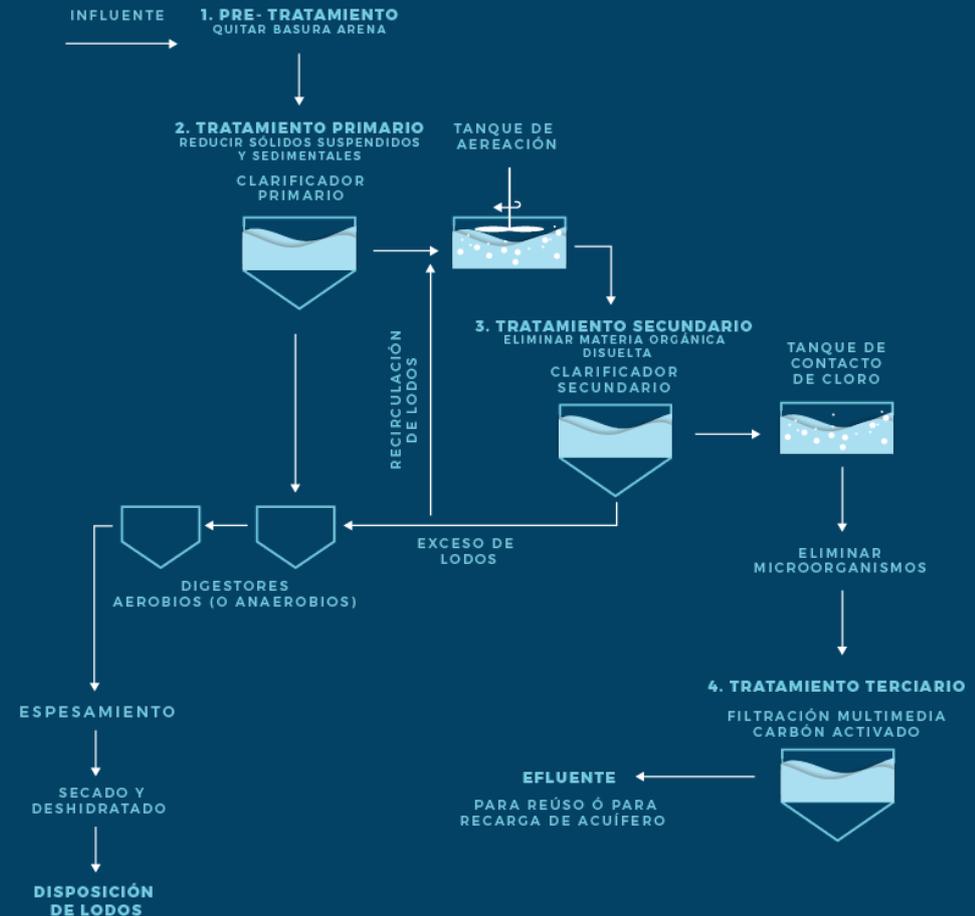


Figura 1.1 Planta típica de lodos activados

A continuación se realiza una descripción detallada de el proceso por lodos activados (Anexo VI y VII) parámetros y claves que el operador puede identificar con el simple hecho de observar ciertas características.

PROCESO	Aeración extendida
CARACTERÍSTICAS	Teóricamente no hay producción de biomasa en exceso en el proceso. En la práctica hay un aumento de material no degradable el cual debe eliminarse periódicamente para evitar el aumento de sólidos en la concentración del efluente.
SSLM (mg/l)	3000 - 6000
TMRC (DÍAS)	20 - 30
OBSERVACIONES	Se aplica generalmente para flujos menores a 45 Litros por Segundo (L/s) ya que se requieren tanques de aeración de grandes volúmenes. La eficiencia en la remoción de la DBO está entre 80 y 95 %.

Tabla 1.1 Parámetros de un proceso de lodos activados

PRETRATAMIENTO

La misión de esta etapa del tratamiento es la separación de materias y cuerpos gruesos (maderas, plásticos, ramas, telas, etc.) y arenosos, que son arrastrados junto con las aguas y, que de no ser apartados dañarían mecánicamente los equipos de las fases posteriores de tratamiento, o bien podrían sedimentarse en las tuberías y conductos de la instalación, obstruyéndolos.

Los pretratamientos más utilizados son el cribado (rejjas y tamices), decantación, desarenado, desengrasado y la homogenización.

Algo parecido sucede con la separación de aceites y grasas, ya que hay quien la considera un tratamiento previo mientras que para otros es un tratamiento primario. Esta separación, que se realiza por flotación (proceso físico), se efectúa simultáneamente al desarenado en una instalación única para ambos.

Analizando y observando esta área, el operador se puede percatar del tipo de agua que la planta recibe sin importar el tiempo que él pudo haber estado ausente. Algunos indicadores se muestran a continuación:

OLOR

¿CÓMO SE CONTROLAN LOS MALOS OLORES?

Los olores en esta área se pueden deber a que el agua que está recibiendo la planta está cargada con aguas del drenaje séptico, basura acumulada en las cribas o la presencia de desperdicios industriales. Una solución es limpiar frecuentemente la basura acumulada en esta zona. Si el problema proviene de la grasa acumulada o de desechos industriales, es necesario ubicar la fuente y eliminarla lo antes posible, para así evitar que estos se desechen por el drenaje y ocasionen problemas en la planta. Otra fuente de olor puede ser la constante acumulación de pequeños desechos en las cribas y barras, es necesario limpiar esta área hasta dos veces al día.

COLOR

¿QUÉ INDICA UN FLUJO NEGRO CON MAL OLOR?

Esto indica que el agua que llega a la planta, en algún punto del sistema del drenaje, se queda estancada debido a que se mantiene por mucho tiempo un bajo flujo de agua, provocando la sedimentación de sólidos en las líneas. Una sencilla solución a esto sería el revisar la línea de drenaje constantemente y eliminar estos sedimentos.

VISUAL

¿QUÉ INDICA UNA LÍNEA DE NIVEL MÁS ALTA DE LO NORMAL?

Cuando el agua entrante deja una marca más arriba de lo normalmente establecido, indica que un flujo mayor de agua se recibió o que existe un taponamiento en el sistema aguas abajo en el proceso. Es primordial asegurarse de que las cribas y rejillas estén libres y funcionando adecuadamente.

TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario utilizado comúnmente tiene como objetivo la separación por medios físicos y complementado con medios químicos, de los sólidos sedimentables no retenidos en la etapa de pre-tratamiento, así como de las sustancias flotantes como las grasas.

Algunas PTAR donde se reciben aguas residuales con cargas orgánicas muy altas, utilizan el tratamiento primario para remover entre 50% y 70% de los sólidos sedimentables y un 35% de la DBO.

Las operaciones unitarias normalmente utilizadas en el tratamiento primario son la sedimentación o decantación, flotación y la coagulación – floculación.

El presente manual no abordará esta parte del tratamiento ya que se ha identificado que en la mayoría de las PTAR de Quintana Roo no se emplea el tratamiento primario (CONAGUA; 2019) ya que las cargas de materia orgánica no alcanzan niveles de concentración tan altos que lo hagan necesario.

TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario tiene como objetivo la eliminación de la materia orgánica **biodegradable** no sedimentable (materia orgánica finamente dividida y disuelta en el agua residual), junto a otros varios contaminantes.

Básicamente, consiste en provocar el crecimiento de microorganismos aerobios que asimilan la materia orgánica, los cuales se reproducen y originan nuevos microorganismos insolubles que después son separados del flujo tratado (y con ellos varios contaminantes) como un lodo destinado a una digestión definitiva o a la reutilización, directa o indirecta, como mejorador del suelo.

Esta etapa del proceso está constituida por un reactor aerobio o tanque de aeración alimentado con el influente a tratar en flujo continuo y finaliza con la denominada sedimentación secundaria, que tiene como objeto la separación de la fase líquida de los flóculos de lodo. Para esta operación suelen emplearse tanques circulares o rectangulares, donde parte del lodo depositado en el fondo de los sedimentadores se recircula para mantener la concentración de microorganismos en el reactor, mientras que el resto del lodo se desecha.

**LOS HUMEDALES, LOS
PASTIZALES MARINOS
Y LOS ARRECIFES DE
CORAL SON
ECOSISTEMAS
COSTEROS
INTERRELACIONADOS...**

*..requieren de buena calidad del
agua para su funcionamiento, sin
embargo, esto depende del
estado en que viene este líquido
de los ecosistemas tierra
adentro.*

TANQUE DE AERACIÓN

El tanque de aeración es el primer componente mayor de un proceso de lodos activados. Es usualmente también llamado "reactor biológico" porque en el tanque de aeración se crea y mantiene un medio ambiente favorable para el crecimiento de los microorganismos. Existen tres importantes funciones que el tanque de aeración debe realizar:

RETENCIÓN DEL FLUJO

El tanque de aeración debe retener por una cantidad de tiempo suficiente el flujo de agua residual entrante y el flujo de los lodos activados de retorno.

AERACIÓN Y MEZCLADO

El tanque de aeración y el equipo de aeración deben proveer el oxígeno suficiente, disuelto, para mantener un ambiente aerobio y la fuerza necesaria para mantener mezclado óptimamente el contenido del tanque de aeración, minimizando las zonas muertas.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tanque de aeración debe proveer el medio ambiente adecuado para que los procesos biológicos remuevan y establezcan con eficiencia los contaminantes orgánicos presentes en el flujo de agua residual influente.

En esta sección se debe observar:

TURBULENCIA O MEZCLA

¿CÓMO SABER SI EXISTE UNA AGITACIÓN ADECUADA?

Se tiene que observar la superficie del tanque para identificar puntos muertos y apreciar un patrón uniforme de turbulencia en toda la superficie.

¿QUÉ ESTÁ CAUSANDO UNA BAJA DISOCIACIÓN DE OXÍGENO?

Si todo el equipo de aeración está siendo utilizado y el oxígeno disuelto no sobrepasa el valor de 1.0 mg/l, es posible que las tuberías o difusores estén bloqueados o se tenga una sobrecarga orgánica.

ESPUMA Y BASURA EN LA SUPERFICIE

¿QUÉ TIPO DE ESPUMA DEBE ESTAR PRESENTE?

La presencia de espuma en el tanque de aeración es completamente normal, en plantas correctamente operadas se presenta una capa de espuma liviana de aproximadamente 5 a 8 cm en la superficie del tanque.

¿QUÉ SIGNIFICA UN OLOR A HUEVO PODRIDO?

El olor característico de un tanque de aeración saludable es terroso. Si persiste un olor a huevo podrido (sulfuro de hidrógeno) es debido a condiciones anaerobias, es decir un indicador de que hay mal funcionamiento, por lo tanto será necesario asegurarse que se mantenga una concentración de oxígeno disuelto de 1 a 2 mg/l, y evitar concentraciones alrededor de 0.5 mg/l.

CLARIFICADOR SECUNDARIO

En esta etapa se busca separar los diferentes sólidos formados del efluente haciendo uso de la física y la gravedad para que sedimenten, debido a su densidad.

El clarificador o sedimentador secundario tiene un rol esencial en el proceso de tratamiento; la separación de los sólidos suspendidos provenientes del tanque de aeración, con el fin de alcanzar la calidad de agua requerida en el efluente final.

El clarificador debe espesar suficientemente los sólidos para alcanzar una concentración adecuada de sólidos en el flujo de

retorno. Es posible que el proceso de lodos activados llegue a fallar si el clarificador no espesa el licor mezclado y no separa los sólidos del flujo clarificado.

Es muy importante que el operador observe el efluente final y la superficie del clarificador secundario, esto le dará pistas muy importantes sobre el funcionamiento adecuado del proceso.

Si el efluente es turbio y se notan sólidos, es un indicativo de serios problemas, pero si el efluente final es claro o día a día el efluente se aclara más, indica que se está haciendo un excelente trabajo.

En esta sección se debe observar:

SUPERFICIE

ESPONJAMIENTO DE LODOS

La capa de lodos deberá ser uniforme, unos centímetros por debajo de la superficie del clarificador. Si el lodo llegara a fugarse por los vertederos, es posible corregirlo de distintas formas:

1. Evitando el uso de lodos activados muy jóvenes, para lo que se recomienda ajustar la tasa de recirculación de lodos activados.
2. Incrementando el Oxígeno Disuelto (OD) en el reactor aerobio para evitar la formación excesiva de microorganismos filamentosos. El OD debe estar por encima de 2 mg/l.

PRESENCIA DE SÓLIDOS EN FORMA DE CENIZA

Aparición de partículas pequeñas parecidas a ceniza, flotando en la superficie del clarificador, este problema es conocido como Ashing. Ocurre cuando:

1. Los lodos activados son muy viejos. Esto se puede resolver si se incrementa la tasa de eliminación de lodos.
2. Existe un licor sobre oxidado, por lo tanto se debe reducir el Oxígeno Disuelto al mínimo para mantener condiciones aerobias (2 mg/l).

FLOCÚLO RETARDADO

Aparición de partículas pequeñas casi transparentes, muy livianas y esponjosas, flotando en la superficie del clarificador, muy cercanas a los vertederos de salida. Este problema es comúnmente visto cuando la concentración de Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezclado (SSLM) es muy baja. Este problema se puede corregir de la siguiente forma:

1. Reducir la tasa de eliminación de lodos para elevar la concentración de SSLM.
2. Evitar eliminar lodos cuando la carga de DBO aumenta, también aumentando la tasa de retorno de lodos cuando el caudal aumenta.

TRATAMIENTO TERCIARIO

El tratamiento terciario se concentra en eliminar los contaminantes orgánicos no biodegradables y nutrientes minerales, especialmente nitrógeno y sales de fósforo que no había sido posible retirar en etapas anteriores. Tradicionalmente se explica como cualquier práctica más allá de los procesos secundarios.

Existe la tendencia y recomendación de realizar un tratamiento terciario, ya sea para cumplir con la normatividad aplicable o bien, lograr una reutilización cada vez mayor del agua y una mejor reutilización de los lodos, ya que la legislación en materia ambiental es cada vez más rigurosa, y se observa que un tratamiento primario seguido de uno biológico en la mayor parte de los casos no es suficiente para cubrir estas disposiciones legales.

Se enmarcan como tratamientos terciarios algunos procesos como la adsorción por carbón activo, intercambio iónico, procesos con membranas, desinfección y procesos de oxidación avanzada.

¹ [Información complementaria del tratamiento terciario en: https://mar2rmexico-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/lcruz_mar2rmexico_onmicrosoft_com/EUIN0zhP8F1DIXi-bSTyQZ4BnK7WbGMKJyJ8X3aYWaeAxQ?e=Cnffec

² Los procesos físico-químicos también suelen usarse en la etapa inicial del tratamiento antes del tratamiento secundario

TRATAMIENTO TERCIARIO¹/ AVANZADO

Los tratamientos terciarios o avanzados pueden utilizarse como complemento al proceso convencional de depuración biológica para eliminar contaminantes disueltos o en suspensión, elementos nutritivos, metales específicos y otros componentes peligrosos. La gama de tratamientos terciarios disponibles actualmente incluye los físicos, los químicos y los biológicos.

El tratamiento terciario, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes.

FINALIDAD DEL TRATAMIENTO TERCIARIO

La finalidad del tratamiento terciario es eliminar la materia en suspensión, fósforo y turbiedad del afluente secundario, mediante procesos físico-químicos², antes de

la desinfección. Los procesos que incluye son:

Coagulación, floculación, decantación y filtración.

El tratamiento terciario permite además, eliminar un porcentaje elevado de los virus, las bacterias y los parásitos contenidos en el afluente, dotando así de una mayor fiabilidad al proceso de regeneración.

El interés de disponer de un tratamiento terciario se debe fundamentalmente a los siguientes motivos:

- 1 Eliminación de nutrientes (N y P) para evitar la eutrofización (excesivo crecimiento de algas) de embalses.

- 2 Eliminación de compuestos nitrogenados. También se pueden prever etapas de desnitrificación (reducción de los nitratos a nitrógeno gaseoso) en aquellas instalaciones donde se espere la nitrificación (oxidación del nitrógeno amoniacal a nitratos) por las condiciones de temperatura del agua.

ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO

Las formas químicas del nitrógeno normalmente presentes en un agua residual son: el nitrógeno orgánico, el amoníaco y el nitrato. Así mismo, un agua residual puede contener pequeñas concentraciones de nitritos.

Cuando el agua residual es sometida a un tratamiento aerobio y dependiendo del grado de oxidación, el amoníaco presente en el agua será convertido normalmente en nitratos por acción de las bacterias nitrificantes. Esta forma química del nitrógeno es

la asimilada por las plantas. En general, la asimilación de nitrógeno aportado en los procesos de lodos activados tiene una eficiencia que no supera normalmente al 50%, siendo con frecuencia inferior a dicho valor.

En las plantas de aguas residuales la opción más común (Figura 1.2) de eliminación de nitrógeno es la de pasar las aguas por un proceso de anoxia y oxigenación, en la cual el nitrógeno es eliminado en forma de gas.



Figura 1.2 Esquema sencillo de la eliminación biológica de nitrógeno en una PTAR.

Para riego, aparentemente es posible que no sea necesario la eliminación de nitrógeno ya que el nitrógeno es un nutriente necesario para las plantas, pero existen casos en los que puede que sea. Por ejemplo, un caso sería aquel que se basa en la eliminación de nutrientes cuando el agua depurada debe ser vertida en un cuerpo de agua natural.

Con la inclusión de esta etapa se consigue una mejor calidad del efluente (sobre todo en lo que se refiere a los sólidos) a la salida de la clarificación final.

- 3 • Tratamientos físico-químicos para la reducción de cargas excepcionales de tipo puntual o estacional.
- 4 • Filtración, bien para mejorar las condiciones del vertido con vistas a su reutilización, bien para su uso como agua industrial o dentro de la propia PTAR.

En función de la calidad del efluente secundario y del tipo de reutilización, se aplican una serie o combinación de procesos unitarios físicos, químicos o biológicos, con el fin de eliminar al máximo posible la Materia en Suspensión (MES) y la Materia Orgánica (MO).

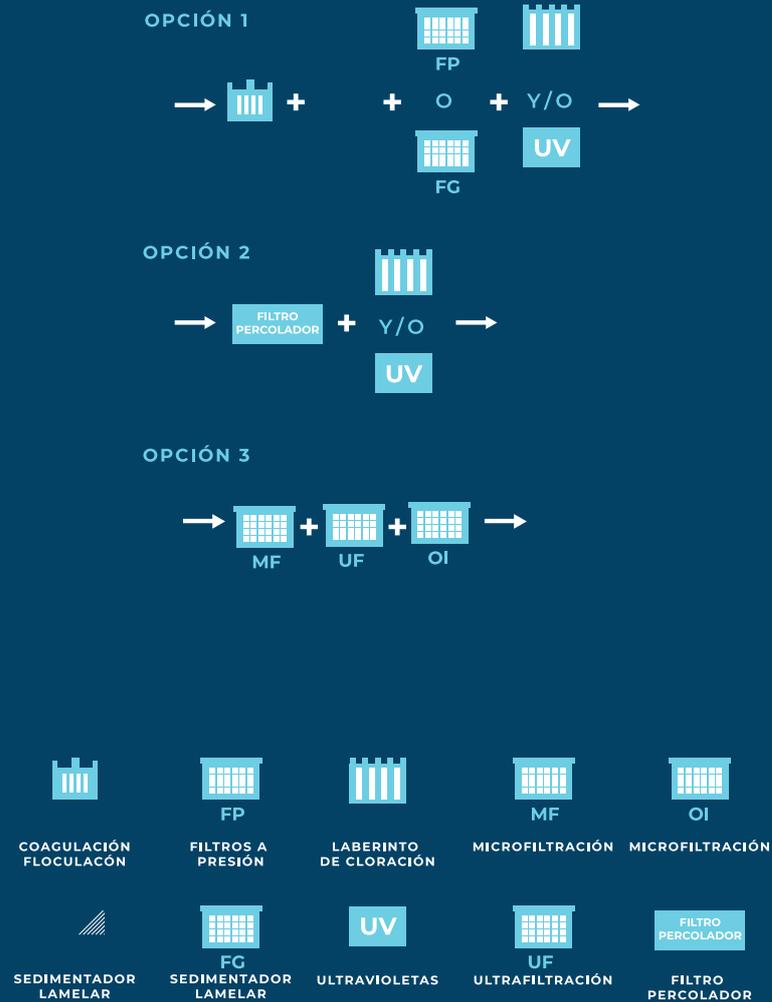


Figura 1.3 Distintas opciones para la instalación de tratamientos terciarios (Prats y Melgarejo ,2006).

OPCIONES MÁS USUALES

Según Prats y Melgarejo (2006) un tratamiento terciario clásico estaría formado por los elementos:

- Sistema de Coagulación-Floculación.
- Filtración (Filtros de arena, sílex, por gravedad, a presión...).
- Desinfección (Mediante cloración y/o Ultravioletas).

En la Figura 1.3 se muestran diversos esquemas de tratamiento terciario con diferentes opciones de tratamiento, dependiendo de la calidad de agua regenerada que necesitemos obtener y del agua depurada que tengamos para regenerar.

TRATAMIENTO FÍSICO - QUÍMICO. COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

La coagulación-floculación es un proceso que consiste en añadir productos químicos al agua para desestabilizar (reducir o eliminar) la carga superficial de las partículas (arcillas, coloides, virus, bacterias y ácidos húmicos). De esta manera se forman aglomeraciones de partículas de mayor tamaño llamadas flóculos que pueden sedimentar o ser filtradas.

Los coagulantes más usados son las sales de cationes polivalentes, principalmente Al^{+3} y Fe^{+3} .

Para un tratamiento con sedimentado la dosis recomendada es de 10-100 mg/l sin control de pH; mientras que para un tratamiento con filtración directa o de contacto, la dosis es de 2-5 mg/l de Al^{+3} con un control de pH de 7 a 7.5.

La coagulación se puede realizar en línea o en un tanque de mezcla completa.

La precipitación química permite eliminar aproximadamente del 80 al 90% de los sólidos en suspensión, del 70 al 80% de la DBO⁵ y del 80 al 90% de las bacterias. La desventaja de dicho proceso es que produce un aumento de la conductividad del agua.

SEDIMENTACIÓN

Los decantadores lamelares son los que más se utilizan en tratamientos terciarios, ya que presentan mejor rendimiento para un área determinada.

Los decantadores lamelares son tanques de poca profundidad que contienen unos dispositivos constituidos por paquetes de placas paralelas o de pequeños tubos de plástico de diferentes formas. Se emplean para eliminar los flóculos químicos formados en las etapas de coagulación y floculación del tratamiento terciario. El objetivo principal es obtener un efluente clarificado y transparente.

FILTRACIÓN

La filtración es un proceso de tratamiento que consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso para eliminar la materia en suspensión.

Los parámetros de control de un filtro son la turbiedad del agua, la disminución de la carga hidráulica y el tiempo entre lavados.

Dentro de la filtración en el tratamiento terciario se encuentran las tecnologías de membrana que ofrecen la posibilidad de una clarificación y desinfección simultánea sin la necesidad de adición de productos químicos. Entre los diferentes tipos de membrana, las membranas pueden ser:

Asimétricas: con una superficie muy lisa y compacta seguida de microporosidad, se usan en Osmosis Inversa (OI) y Nano Filtración (NF).

• **TFC Thin Film Composite:** para OI y NF formada por una línea capa de rechazo, seguida de un diferente material microporoso y finalmente otro de soporte.

Además dentro de cada grupo se pueden distinguir:

• **Membranas porosas** (separación por efecto de cribado), que poseen poros que pueden ser de diferentes tamaños. Las operaciones de Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF), Nanofiltración (NF) y Diálisis usan membranas porosas.

• **Membranas no porosas o densas** (separación por mecanismo de solución-difusión). Las operaciones que utilizan este tipo de estructura son: OI, permeado gaseoso (PG) y pervaporación (PV).

• **Membranas de intercambio iónico**, que son un tipo especial de las membranas no porosas con radicales cargados electrostáticamente.

Cuando la calidad del agua lo permite, se puede prescindir del decantador, obteniéndose el tipo de tratamiento conocido como filtración directa. La ventaja de la filtración directa es el ahorro en la inversión y su desventaja es la menor fiabilidad del proceso.

Por último, la filtración por contacto consiste en la inyección de coagulante en línea para luego pasar directamente a la filtración. Es este caso la dosis de coagulante es mucho menor que en el tratamiento completo, debido a que unos flóculos de gran tamaño colmatan rápidamente el filtro. La ausencia de decantador y de floculadores requiere necesariamente un efluente secundario de gran calidad. En la Figura 1.4 se observa que cada una de las diferentes técnicas cubre un campo en particular y corresponden a especies clasificadas en función de su tamaño o masa molecular.³

³ [1] Mulder M. 1991. *Basic principles of membrane technology*. Kluwer Academic Publishers

PRECIPITACIÓN QUÍMICA PARA ELIMINACIÓN DE FOSFATOS

La precipitación química del fósforo se consigue mediante la adición de sales de iones metálicos de valencia múltiple que forman precipitados de fosfatos poco solubles. Las sales más comunes son las de calcio, aluminio y hierro.

Las dosis necesarias, se determinan mediante la prueba de jarras en ensayos a escala de laboratorio.



Figura 1.4 Clasificación de técnicas de separación en base al tamaño de las especies a filtrar.

DESTILACIÓN

El proceso de destilación consiste en la separación de los componentes de un flujo residual líquido, mediante la vaporización parcial del mismo, obteniéndose, así una mayor concentración de elementos volátiles en flujo vapor y un flujo residual líquido enriquecido en componentes no volátiles o menos volátiles en las condiciones en las que se da el proceso.

RECTIFICACIÓN

Se considera como el procedimiento más empleado en la práctica para separar líquidos con distinto grado de volatilidad. El proceso consiste en hacer pasar una corriente de vapor producido en un calderín en la base de una columna, en sentido contrario al líquido condensado del vapor ascendente que recibe el nombre de "reflujo". En cuestión de rendimiento de la técnica, las columnas de platos y las columnas de relleno, son las más adecuadas.

DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR

La técnica de destilación por arrastre de vapor consiste en lograr que los componentes volátiles de un flujo residual compuesto de una mezcla de líquidos inmiscibles se vaporicen a baja temperatura, mediante el contacto directo de una corriente de vapor de agua o bien con otros gases y calefacción indirecta.

Esta técnica se utiliza, frecuentemente en la separación de compuestos orgánicos inmiscibles con el agua, mezclados con otros componentes no volátiles que podrían verse alterados si se someten a una destilación a altas temperaturas, necesiándose una cantidad de vapor que va a depender de la temperatura y de la presión total de destilación que será suma, a su vez, de las presiones parciales del vapor y de las presiones de vapor de los componentes volátiles.



DESTILACIÓN POR MEMBRANA

44

La destilación por membranas es una tecnología que cada vez es más competitiva en una amplia variedad de sectores industriales puesto que permite tratar efluentes complejos. Se trata de una técnica que, conjuntamente con la evaporación al vacío, son de las pocas tecnologías que permiten tratar efluentes salinos y salmueras sin producir, si es necesario, una corriente de rechazo, puesto que la separación no está limitada por el equilibrio. No obstante, la destilación por membranas aún no es una tecnología con una elevada eficiencia energética por las pérdidas de calor por conductividad de la membrana, por lo que su aplicación queda restringida a aquellas aplicaciones en las que la destilación convencional o la evaporación al vacío no son alternativas viables, como es el caso de cuando se desea concentrar ácidos o sustancias corrosivas.

OXIDACIÓN QUÍMICA

Es un procedimiento alterno a la adsorción en tratamiento de agua potable y sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Las moléculas orgánicas complejas con estructuras con detergente -fenólicos pueden ser oxidadas dentro de un simple compartimiento con oxidantes como ozono y cloro. La ventaja de este proceso incluye la eliminación de compuestos de amonio y la oxidación de sustancias inorgánicas (fierro y manganeso) existe la desventaja de que el cloro puede formar haloformos con algunos compuestos orgánicos.

FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO

Es un equipo utilizado en los sistemas de tratamiento para eliminar los materiales suspendidos que contenga el efluente.

Están constituidos por un clarificador, un sistema para el manejo y control del aire a disolver para la flotación, un mecanismo separador de sólidos flotantes, un mecanismo colector de sólidos sedimentados, un equipo para dosificación de productos químicos, un compresor de aire, un tablero de control eléctrico, dos bombas de presurización, y un tanque de solubilización.

ELECTRODIÁLISIS

45

Es un proceso de membrana, durante el cual los iones se transportan a través de una membrana semipermeable, bajo la influencia de un potencial eléctrico. Las membranas selectivas de cationes consisten en poliestireno sulfonado, mientras que las membranas selectivas de aniones consisten en poliestireno con amoníaco cuaternario.

A veces es necesario un tratamiento previo antes de que pueda realizarse la electrodiálisis. Los sólidos suspendidos con un diámetro que excede los 10 μm necesitan ser removidos, de lo contrario, taponarán los poros de la membrana. También hay sustancias que pueden neutralizar una membrana, como aniones orgánicos grandes, coloides, óxidos de fierro y óxido de manganeso. Estos perturban el efecto selectivo de la membrana.

Los métodos de pre-tratamiento que ayudan a prevenir estos efectos son la filtración de carbón activo (para materia orgánica), la floculación (para coloides) y las técnicas de filtración.

ADSORCIÓN / CARBÓN ACTIVADO

La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua. En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m²/g). Esta superficie interna grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo viene en dos variaciones: Carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC). La versión de GAC se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas, puede fijar las siguientes sustancias solubles por adsorción:

ADSORCIÓN DE SUSTANCIAS NO POLARES

- Aceite mineral
- BTEX
- Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs)
- (Cloruro) Fenol

ADSORCIÓN DE SUSTANCIAS HALOGENADAS: I, BR, CL, H Y F

- Olor
- Sabor
- Levaduras
- Varios productos de fermentación
- Sustancias no polares (no solubles en agua)

EL CARBÓN ACTIVO SE USA POR EJEMPLO EN LOS SIGUIENTES PROCESOS

- Depuración de agua subterránea
- Decloración del agua
- Depuración de aguas para piscinas
- Refinamiento de las aguas residuales tratadas

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADSORCIÓN DE COMPUESTOS PRESENTES EN EL AGUA⁴

- El tipo de compuesto que desee ser eliminado. Los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente.
- La concentración del compuesto que desea ser eliminado
- Presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.
- El pH del agua. Por ejemplo, los compuestos ácidos se eliminan más fácilmente a pHs bajos.

⁴Para obtener más información de los compuestos que son capaces de ser eliminados visite el documento https://mar2rmexico-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/lcruz_mar2rmexico_onmicrosoft_com/EUIN0zhP8F1DIXi-bSTyQZ4BnK7WbGMKJyJ8X3aYWaeAxQ?e=Cnffec en la Página 19.

DESINFECCIÓN

La desinfección es el tratamiento que consigue el mayor grado de inactivación de virus y, por lo tanto, el que merece un mayor grado de control. No obstante, la calidad de muchas aguas residuales es inadecuada para un tratamiento eficiente de desinfección.

Cuando se clora el agua en el efluente que ha pasado por un inadecuado tratamiento, se pueden generar compuestos tóxicos como:

cloraminas, trihalometanos, ácidos haloacéticos, además de otros compuestos órgano-clorados. Estos compuestos podrían entrar en contacto con los cultivos receptores, existiendo un peligro potencial de que pasen a la cadena alimentaria.

Los sistemas de desinfección más comunes descritos por Metcalf y Eddy (1995) en los procesos de tratamiento de aguas residuales son:

- 1 La adición de productos químicos (cloro, ozono y peróxido de hidrógeno).
- 2 La instalación de lagunas de afino.
- 3 El uso de luz UV
- 4 Los sistemas de filtración en medio granular o membrana.

Entre los desinfectantes químicos permitidos por la legislación tenemos:

• **Cloro y sus derivados.**

• **Ozono:** Es un poderoso oxidante. Ventajas con respecto al cloro: No deja olor ni sabor residual. Produce una oxidación simultánea de la materia orgánica, no da lugar a la formación de trihalometanos. Inconveniente: Alto coste. No acción residual

• **Permanganato potásico:** Es un oxidante enérgico, que actúa rápidamente sobre la materia orgánica. Ventajas: No da sabor ni olor al agua; manipulación sencilla y bajo coste. Inconvenientes: No tiene acción residual; El agua tratada con permanganato al cabo de tiempo forma un precipitado pardo-oscuro, que se adhiere a los recipientes de vidrio y porcelana.

• **Sales de plata:** La aplicación de estos metales como desinfectantes del agua no se ha desarrollado en razón de su elevado costo (200 veces más que el cloro gas) y tiempo de acción prolongado.

LUZ ULTRAVIOLETA

La desinfección con luz UV consiste en la destrucción selectiva de los microorganismos que causan enfermedades mediante la irradiación con rayos UV. Esta radiación provoca una serie de daños en la molécula de ADN de los organismos patógenos que

finalmente impiden la división celular y causan la muerte. Se ha observado que el pH del agua no tiene ningún efecto sobre la desinfección con luz UV, sin embargo, otros factores que sí influyen de forma directa en el rendimiento de la desinfección son:

- Acumulación de materia en la superficie de las lámparas de luz UV.
- Concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas. Turbiedad.
- Color.
- Caudal y tiempo de permanencia del agua residual en el reactor.
- Calidad del agua.
- Dureza total.
- Condición de la lámpara.
- Limpieza del tubo de cuarzo.
- Tiempo de uso de la lámpara.
- Tratamiento del agua antes de aplicar luz UV.
- Diseño del reactor.

CLORACIÓN

Los compuestos del cloro más frecuentemente utilizados en las plantas de tratamiento de agua residual son el hipoclorito sódico (NaClO), el hipoclorito cálcico ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y el cloro gas. Los dos primeros se emplean en plantas de tratamiento pequeñas. El hipoclorito de sodio se puede obtener comercialmente de 1,5 al 15%, siendo el 4,0% la concentración usual máxima (lejía).

La solución se descompone más fácilmente a mayores concentraciones y se ve afectada por la exposición a la luz y al calor.

Aparte del pH y la temperatura, hay otros factores que influyen notablemente en los procesos de desinfección de aguas residuales. En particular, algunos de estos factores para la desinfección con cloro son:

- 1 • El tiempo de contacto, puede oscilar entre 30 y 90 minutos.
- 2 • La concentración y el tipo de agente químico.
- 3 • El tipo de organismo.
- 4 • La materia en suspensión.
- 5 • La materia orgánica.

El cloro resulta un desinfectante bastante eficaz y económico para el tratamiento y potabilización de aguas, ya sea aportado en forma de gas disolviéndolo en el agua o bien aportándolo como hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico o como derivados del cloroisocianurato. Sin embargo, si existe un inadecuado tratamiento y el aporte de cloro reacciona con la materia orgánica del agua puede formar una serie de compuestos derivados del cloro que pueden resultar muy molestos y malolientes. De estos compuestos, los más perjudiciales son los llamados trihalometanos, de carácter cancerígeno para la salud humana.

OZONO

El ozono mata a la bacteria por medio de la ruptura de la membrana celular. Tiene un alto potencial de oxidación, es inestable y ejerce su propia acción de desinfección atacando enzimas, grupos sulfhidrilo o aldehídos, liberando compuestos peroxílicos, que son también desinfectantes, todo esto conduce como se ha dicho antes a la dispersión del citoplasma y por consiguiente a la muerte del microorganismo.

Las dosis necesarias para desinfectar el agua varían según la calidad de la misma.

También tiene capacidad de eliminar la turbidez del agua. Ésta se elimina por ozonización a través de una combinación de oxidación química y neutralización de carga. Las partículas coloidales que

causan turbidez son mantenidas en suspensión por partículas de carga negativa que son neutralizadas por el ozono. El ozono además destruye los materiales coloidales por medio de la oxidación de materias orgánicas.

El ozono no genera compuestos tóxicos y además dada su rápida acción es mucho más efectivo. Otra ventaja es que es bastante inestable pasando rápidamente a oxígeno, aumentando así el contenido disuelto de este gas en el agua. Lo anterior hace que se puedan evitar la formación de zonas anóxicas, que generan compuestos de mal olor (ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.).

Su principal inconveniente es que no aporta protección sobre las redes de abastecimiento de aguas abajo del punto de aplicación.

TRATAMIENTO DE LODOS

Otra parte importante que complementa el tratamiento del agua residual es el tratamiento del lodo producido por el sistema (purga de lodo), el cual contiene la materia orgánica presente en el agua residual, pero en una forma diferente a la inicial y es susceptible a descomponerse y llegar a crear un problema de salud pública si se dispone sin tratamiento.

Las operaciones que conforman el tratamiento de lodos son generalmente el espesamiento, estabilización o desactivación y deshidratación. Los lodos biológicos, después de su tratamiento, pueden ser reutilizados como mejoradores de suelo agrícola.

DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA TRATADA.

Una de las metas del tratamiento de aguas residuales es contribuir a la reducción de contaminación, sobreexplotación y disminución de la demanda de agua subterránea. Una alternativa viable para dar solución a estos problemas es el reúso del agua, las opciones para su implementación son diversas y cada una deberá cumplir con ciertos parámetros de calidad dispuestos en las normas oficiales mexicanas vigentes. Los tipos de reúso más comunes son:

- Reúso urbano.
- Reúso agrícola.
- Reúso industrial.
- Reúso en servicios públicos.
- Reúso para actividades recreativas.

El fin de fomentar la recirculación del agua tratada en las actividades sociales o industriales, es disminuir la opción de reúso para la recarga de acuíferos o inyección.

Ya que un efluente no tratado adecuadamente, puede afectar la calidad del agua subterránea y también daño a los ecosistemas.

El tipo de suelo kárstico hace aún más vulnerable al acuífero que posee Quintana Roo y Yucatán, ya que por un lado, el proceso de filtración no retiene los contaminantes del efluente y

el proceso de inyección hace que estos lleguen directamente al acuífero. Los contaminantes que pueden afectar principalmente al agua subterránea son: microorganismos patógenos, creando un foco de infección y propagación de enfermedades para la población; nutrientes que generan una disminución del oxígeno creando condiciones anaerobias y como consecuencia la muerte del ecosistema marino y carbono orgánico disuelto que puede generar un aumento de trihalometanos, si el agua subterránea para abastecimiento público es desinfectada con cloro, además la presencia de efluentes industriales, pueden introducir metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos.

La integración de uso de aguas residuales y agua subterránea en la planificación urbana es de suma importancia ya que nos permitiría atender a los siguientes dos aspectos técnicos y sociales: la capacidad inadecuada del subsuelo para el depósito final de efluentes líquidos y al desarrollo residencial de alta densidad con espacios insuficientes para el manejo de residuos sólidos.

Para tener un enfoque más integrado, debemos tener en cuenta las obligaciones legales tanto de generadores como de usuarios de aguas residuales y cómo debe ser la capacitación sobre la reutilización de las aguas consideradas para reúso. (GW-MATE; 2006)

DOS

MONITOREO DEL PROCESO

Para conocer realmente el proceso, su problemática y soluciones, es necesario que la PTAR sea monitoreada adecuadamente, esto representa la diferencia entre una planta por donde solo corre el agua y otra en donde se trata el agua. Cualquiera puede abrir o cerrar una válvula, arrancar o parar una bomba, pero solo un operador capacitado sabrá cuándo abrir o cerrar una válvula o cuándo arrancar o parar una bomba, y cuándo y cuánto lodo se debe recircular y purgar.

El operador de una planta de tratamiento tiene la responsabilidad de asegurar que la calidad del efluente cumpla con las normas establecidas. Para ello, es indispensable llevar a cabo un monitoreo de parámetros tanto visuales como analíticos que le permitirán conducir la planta bajo las mejores condiciones o, en su defecto, aplicar las medidas preventivas o correctivas para que la operación de la misma siempre sea satisfactoria. Para monitorear el proceso, es importante llevar a cabo registros de las actividades y de los indicadores, ya sea visuales o analíticos (Anexo IV y V).

2.1

INDICADORES VISUALES

Los indicadores visuales proveen información sobre la calidad y actividad de los microorganismos presentes en el proceso. Un operador puede usar indicadores físicos y visuales para conocer las condiciones de funcionamiento de su planta de tratamiento y proceder a su adecuada operación. Los indicadores visuales más comunes en sistemas de lodos activados son:

COLOR Y OLOR DEL LICOR MEZCLADO

El color del licor mezclado es una buena indicación de la calidad del lodo. Si el color de los lodos se encuentra entre el café claro y café oscuro y, además, tiene un olor a tierra mojada, lo más probable es que el lodo se encuentre en buenas condiciones. Sin embargo, si el color o el olor cambian puede deberse a problemas durante el proceso, como se muestra en la Tabla 2.1.

OBSERVACIÓN	Lodos Grises			Lodos Negros con olor a Huevo Podrido
MEDIR	Oxígeno disuelto	DQO, DBO	pH	Oxígeno disuelto
PROBABLE CAUSA DEL PROBLEMA	El sistema de aeración no funciona adecuadamente	Carga orgánica alta	Entrada de un tóxico	Problemas de aeración e incremento de la carga orgánica en el influente.
ACCIONES RECOMENDADAS	Observar si existen zonas sin aire, de ser así, corregir la anomalía	Incrementar la recirculación y reducir la purga de lodos	Interrumpir el flujo del influente, controlar el valor de pH, neutralizándolo	Aumentar la tasa de aeración y disminuir la carga orgánica

Tabla 2.1 Problemas más frecuentes en las plantas de tratamiento asociados al color del lodo.

El licor mezclado tiene un olor característico como a humedad o a "tierra mojada". El olor puede indicar si la planta está trabajando adecuadamente; una planta bien operada no debe generar olores desagradables. Una muestra tiene un ligero olor, si el lodo se vuelve séptico, su color cambia a oscuro y el olor aumenta hasta ser similar al del huevo podrido (ácido sulfhídrico gaseoso).

ESPUMA EN EL TANQUE DE AERACIÓN

La espuma es un indicio de las condiciones de operación de la planta. Se debe observar si la cantidad de espuma aumenta o si el color de la espuma cambia, generalmente se presentan los siguientes tipos de espuma que nos indican problemas en el funcionamiento de la planta:

ESPUMA BLANCA

La presencia de espuma blanca puede significar que la concentración de (Sólidos Suspendidos de Licor Mezclado (SSLM)) es muy baja y la relación alimento/ microorganismos (A/M) es muy alta. La espuma blanca puede componerse de detergentes que no pueden convertirse en alimento para las bacterias que se desarrollan en el licor mezclado a altas tasas de A/M.

ESPUMA CAFÉ CLARO

La presencia de una espuma color café claro indica que el lodo activado es muy joven, por lo que el operador debe reducir la tasa de purga de los lodos.

ESPUMA MARRÓN

Cuando se presenta una espuma espesa color marrón que cubre todo el tanque de aeración, se debe a que el lodo es muy viejo y posiblemente sobre oxidado. En estos casos se debe incrementar la tasa de desecho de lodos activados.

ESPUMA OSCURA

Si se presenta una espuma oscura y espesa su posible causa es una aeración insuficiente, por lo que se debe incrementar la aeración.

La presencia de espumas, algunas veces puede deberse a la existencia de sustancias químicas en el agua que ingresa a la planta, por lo que se sugiere hacer un análisis de la composición del **afluente** y evitar desechar las sustancias químicas que originan la espuma al alcantarillado.

PRESENCIA DE ALGAS

Si se observa el crecimiento de **algas** en las paredes de los tanques, puede ser indicio de elevados niveles de nutrientes.

El abundante crecimiento de algas en los tanque se desarrolla especialmente, bajo la influencia de la luz solar, ácido carbónico libre, y grandes cantidades de nutrientes presentes en el agua residual.

Una solución para limitar la proliferación de algas es reduciendo con oxido de calcio el contenido de CO₂ asimilable presente en el agua.

Para impedir el desarrollo de algas en decantadores y filtros abiertos, puede adicionarse unos granos de carbón activo en polvo por m³, su acción es debida al obstáculo que se opone a la penetración de los rayos solares en el agua, pero, para que se produzca la coagulación con las algas microscópicas que pudieran encontrarse presentes en el agua cruda, es necesario efectuar al mismo tiempo una dosificación de cloro.

EQUIPO EMITIENDO RUIDO O CALOR ANORMAL

Se debe revisar que los equipos funcionen adecuadamente. Si los motores de equipo del proceso de

la PTAR se sienten más calientes de lo normal o se observa una vibración excesiva en bombas o tuberías se puede identificar un posible daño de los equipos. Si se observan anomalías en los equipos se debe identificar la causa y corregirlo lo antes posible, evitando así un daño mayor y un costo de reparación superior.

FLOTACIÓN DE LODOS

En ocasiones, se puede observar que pedazos grandes de masa de lodo se elevan y se esparcen en la superficie de los sedimentadores secundarios. Este fenómeno frecuentemente está asociado con la desnitrificación en el sedimentador secundario. También puede deberse a concentraciones elevadas de grasas y aceites, o a la presencia de zonas anaerobias en el fondo del sedimentador

Cuando se emplea un tiempo medio de retención celular (TMRC) demasiado largo (por arriba de 15 días), una buena parte del nitrógeno amoniacal presente en las aguas residuales es transformado en nitratos y nitritos por medio del proceso que se conoce como **nitrificación**.

Si el tiempo de retención de sólidos en el sedimentador secundario es excesivo (mayor a 2 horas), o si la concentración de

oxígeno disuelto a la salida del tanque de aeración es demasiado pequeña, el oxígeno presente en la cama de lodos del sedimentador será consumido y los nitratos generados en el tanque de aeración serán transformados por las bacterias en nitrógeno gaseoso, el cual es atrapado en los flóculos ocasionando que éstos se eleven y floten.

Este problema se puede eliminar incrementando la tasa de recirculación o la concentración de oxígeno disuelto.

Los tiempos medios de retención celular demasiado grandes pueden generar la formación de flóculos en forma de alfiler y lodos cenizos.

Estos lodos cenizos se producen en el clarificador secundario cuando se elevan pequeñas partículas de lodos café oscuro a grisáceas.

Los flóculos en forma de alfiler se presentan cuando los lodos se vuelven granulares, en lugar de floculentos, lo que resulta en la suspensión de partículas pequeñas y compactas (alrededor de 1 mm) generando efluentes con turbidez moderada. Los problemas anteriores son el resultado de una tasa de mortandad excesiva de las bacterias (lodos demasiado viejos), aunque los flóculos en forma de alfiler también pueden ser ocasionados por una alta

turbulencia en el tanque de aeración.

En el otro extremo se encuentran los flóculos esparcidos, formados por pequeñas partículas casi transparentes, muy ligeras, esponjadas y flotantes (3 a 6 mm). Que se elevan en los sedimentadores secundarios que en otras ocasiones presentaban efluentes claros.

Esta es una señal para incrementar ligeramente el tiempo medio de retención celular. Si el tiempo de retención celular es muy pequeño, ocurrirá un crecimiento disperso de bacterias (no se forman los flóculos) y el efluente será demasiado turbio.

PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE MEZCLADO EN LA SUPERFICIE DEL TANQUE DE AERACIÓN

El licor mezclado se debe aerar para que los microorganismos reciban suficiente oxígeno para la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Esta aeración se logra mediante difusores de aire o aereadores mecánicos que adicionalmente mezclan el contenido del tanque de aeración.

El patrón de mezclado en el reactor biológico indica en forma indirecta si existen problemas

en la distribución del aire en el tanque, por lo que se debe vigilar diariamente que el mezclado sea el adecuado y la turbulencia sea uniforme en todo el reactor sin que sea excesiva, ya que si es muy violenta se gasta energía y puede romper el flóculo.

La Tabla 2.2 muestra a manera de guía algunas de las observaciones más comunes relacionadas con el patrón de distribución de aire en la superficie del tanque de aeración, sus causas y las posibles soluciones.

* 1 lb = 0.453592 kg

Tabla 2.2 Patrón de distribución de mezclado en la superficie del tanque de aeración.

OBSERVACIÓN	CAUSAS PROBABLES	POSIBLES SOLUCIONES
SISTEMAS CON DIFUSORES DE AIRE		
Fuerte turbulencia en la superficie del tanque burbujas mayores a ½"	Sobre aeración que causa elevada concentración de oxígeno disuelto o rompimiento del flóculo	Sustituir los difusores.
Mezcla desigual o zonas sin mezclado	Difusores tapados. Fugas en la tubería de aire. Flujo de aire demasiado bajo.	Los difusores deben de limpiarse. Revisar la tubería y las conexiones de aire. Incrementar el flujo de aire.
Bajo nivel de oxígeno disuelto y olor séptico del licor mezclado	Sub aeración. SSLM demasiado altos	Checar que exista una mezcla adecuada en el tanque de aeración, si no es así, incrementar la aeración. Ajuste los SSLM para una relación A/M adecuada
Mayores requerimientos de oxígeno sin cambios aparentes en la carga orgánica o hidráulica	Fugas en la tubería de aire.	Verificar fugas en la tubería de aire.
SISTEMAS CON AERADORES MECÁNICOS		
Turbulencia violenta	Sobre aeración que causa elevada concentración de oxígeno disuelto o rompimiento del flóculo	Reducir la velocidad del aerador.
Mezcla inadecuada en algunas partes del tanque	Velocidad del aerador demasiado baja o poca sumergencia del aerador.	Si es posible, incrementar la velocidad del aerador. Aumentar la sumergencia bajando el aerador.
Mayores requerimientos de oxígeno sin cambios aparentes en la carga orgánica o hidráulica	Insuficiente o inadecuada transferencia de oxígeno	Verificar que el sistema produzca de 1 a 1.2 lb de O ₂ por lb* de DBO removida, remplazar con aeradores más efectivos o incrementar el número de aeradores.
Oleaje en la superficie del agua con patrón de ondas oscilantes causadas por el equipos de aeración mecánica	Sumergencia inadecuada del impulsor.	Verifique las recomendaciones del fabricante para la sumergencia mínima del impulsor.

OBSERVACIONES MICROSCÓPICAS

Es recomendable realizar observaciones diarias de la población bacteriana para detectar cambios del sistema y condiciones de estrés de tal forma que se puedan aplicar acciones correctivas antes de que la eficiencia del proceso sea afectada.

Bajo condiciones normales la población microbiana está compuesta principalmente por bacterias con una gran cantidad de ciliados fijos y libres (protozoarios) así como por rotíferos. Los rotíferos se alimentan de bacterias y ayudan a obtener un efluente claro.

La presencia de estos organismos superiores indica que el proceso está operando adecuadamente. Si se observa un crecimiento excesivo de **bacterias filamentosas**, se puede esperar que los lodos no sedimenten adecuadamente. Los grupos de microorganismos que son de importancia para el operador de un proceso por lodos activados se encuentran en la Tabla 2.3.

La disminución de microorganismos, especialmente de los ciliados, frecuentemente es una alerta que indica pobre sedimentación en los lodos.

MICROORGANISMOS	CARACTERÍSTICAS
PROTOZOARIOS	
AMIBAS	La presencia de amibas en el licor mezclado puede darse durante los periodos de arranque de la planta o cuando el proceso se recupera de una condición extrema.
FLAGELADOS	Los flagelados generalmente se encuentran en flóculos ligeros, dispersos, con una población baja de microorganismos y una alta carga orgánica. Esta es una condición que se muestra en el arranque del proceso y a medida que el proceso tiende a estabilizarse, otros microorganismos aparecerán, los flóculos se volverán densos y la población de flagelados disminuirá.
CILIADOS	Se encuentran generalmente en grandes números cuando los lodos activados sedimentan en condiciones regulares a buenas. Se clasifican en dos grupos: los ciliados libres nadadores y los ciliados fijos. Los ciliados libres generalmente se presentan cuando existe una alta concentración de bacterias en los lodos. Estos organismos se alimentan de las bacterias y ayudan a mantener el efluente claro. Se asocian con un buen nivel de tratamiento. Los ciliados fijos generalmente aparecen cuando no hay competencia por el alimento disponible con los ciliados libres, es decir pocas bacterias libres.
PLURICELULARES	
ROTÍFEROS	Los rotíferos son organismos pluricelulares (constituidos por varias células) más grandes que los protozoarios . Se alimentan de flóculos y de microorganismos individuales. Al igual que los protozoarios , los rotíferos son organismos aerobios estrictos, por lo que se encuentran solamente en lodos activados muy estables y con adecuados tiempos medios de retención celular. Estos organismos son más sensibles a los compuestos tóxicos que las bacterias.

Tabla 2.3. Microorganismos de importancia para el proceso de lodos activados

El TMRC se debe de aumentar si se observa un número relativamente grande de amibas y flagelados respecto al número total de microorganismos, la cual se asocia a un lodo joven.

El TMRC debe disminuirse si se observa poca variedad de microorganismos y una elevada concentración de **rotíferos**, asociada a flóculos en forma de alfiler, lo cual indica un lodo viejo.

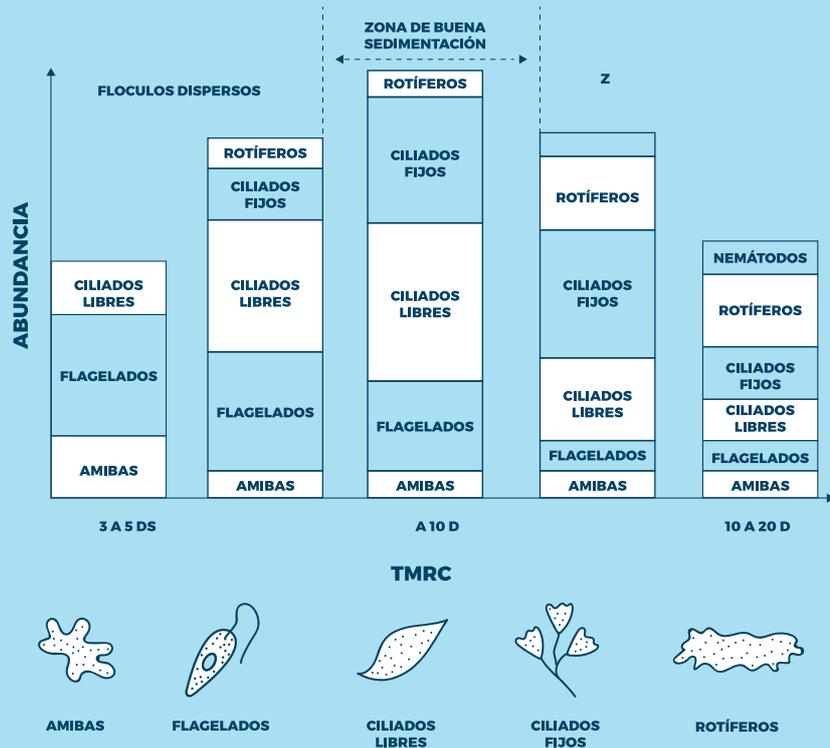
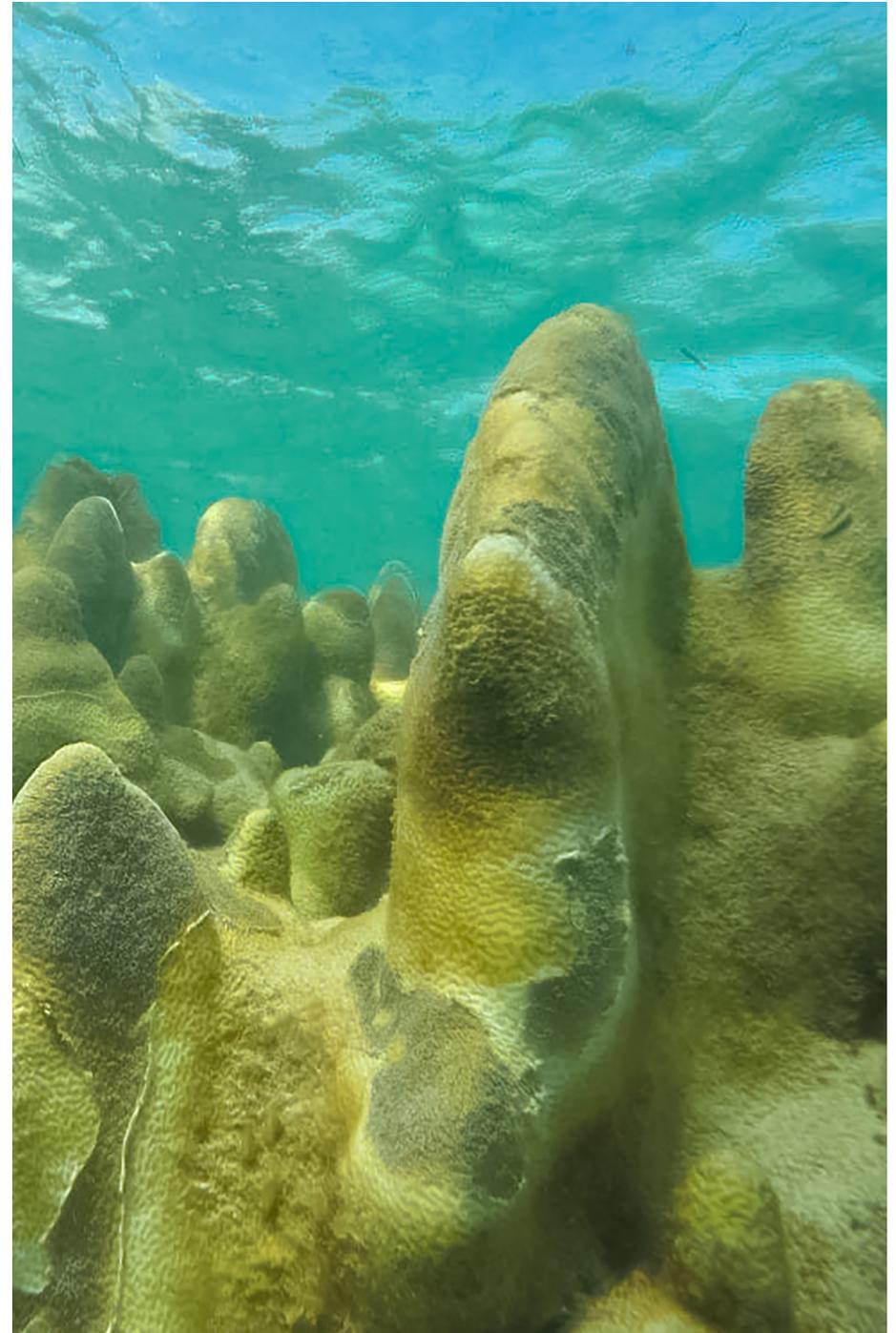


Figura 2.1 Número selectivo de microorganismos contra la calidad del lodo.

La Figura 2.1 puede ayudar a tomar la decisión sobre si el TMRC, debe aumentarse o disminuirse, en función del tipo de microorganismos presentes.

Existe una serie de recomendaciones para cuando se detectan cambios en la proporción de la población de microorganismos, como se explica a continuación:



Colonia de coral (*Dendrogyra cylindrus*) afectada por el "Síndrome Blanco" (foto: Érika Hernández).

La ausencia de ciliados y rotíferos indica que el proceso no está funcionando satisfactoriamente.

Algunas de las posibles causas de la ausencia de estos microorganismos son:

- 1 Niveles de oxígeno por debajo de 1 mg/l. Es posible que la eficiencia en la transferencia se dificulte a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, cuando existe una alta concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado.
- 2 Altas cargas orgánicas. Se ha observado que tanto los organismos superiores como las bacterias no trabajan eficientemente cuando éstas se encuentran en la fase de crecimiento acelerado, ocasionado por las altas concentraciones de contaminantes en el agua.
- 3 Entrada de sustancias tóxicas o deficiencia de nutrientes.
- 4 Falta de control de pH. Si existe un aporte de aguas residuales industriales y el sistema de regulación de pH no opera adecuadamente, los rotíferos y ciliados desaparecen ya que no se adaptarán a los cambios de pH.

SEDIMENTABILIDAD DE LODOS

Las observaciones de las características físicas del lodo en el tanque de aeración y en el clarificador secundario pueden dar claves útiles para saber si el tiempo medio de retención celular es el adecuado.

Un problema bastante frecuente ocurre cuando se puede observar una cama de lodos homogénea sobre todo en el clarificador secundario.

- 1 Si el IVL es menor a 150 ml/g, se puede considerar que los lodos no son esponjosos, es decir no existe bulking.

En este caso los lodos se escapan por los vertedores. Este problema puede deberse a que la tasa de recirculación es insuficiente o se presenta el problema conocido como "**bulking**" o **esponjamiento** de lodos. Las dos situaciones pueden diferenciarse fácilmente llevando a cabo pruebas para determinar el **Índice Volumétrico de Lodos (IVL)** (como se indica en la práctica 3 de sedimentabilidad).

En tal caso la situación de pérdida de lodos se resuelve aumentando la tasa de recirculación.

Si el problema persiste aún después de haber aumentado la tasa de recirculación, entonces puede ser probable que los sedimentadores no hayan sido diseñados para manejar tales cargas de lodos. La única manera para resolver el problema es reducir la concentración de los SSLM. Esto se realiza ya sea por medio de una reducción del tiempo medio de retención celular o por una alteración del flujo del proceso.

2 Si el IVL resulta mayor a 150 ml/g, entonces el problema lo ocasionan los lodos esponjosos. En general, existen dos formas de lodos esponjosos: los producidos por bacterias filamentosas y los otros por bacterias no filamentosas. Las dos formas se diferencian fácilmente por medio de observaciones al microscopio.

• Cuando el bulking es producido por bacterias no filamentosas, se deberá verificar la composición química del agua residual para comprobar si todos los nutrientes se encuentran en cantidades adecuadas, sobre todo nitrógeno y fósforo (la relación entre ellos debe de ser 100/5/1 ppm de DBO/N/P respectivamente) y, en caso necesario, tomar las medidas apropiadas para corregir la carencia de nutrientes. Si los nutrientes no son la causa del problema, entonces el tiempo medio de retención celular deberá incrementarse. Esto puede resultar algo difícil si el lodo no sedimenta adecuadamente, por lo que será necesaria una adición temporal de **coagulantes** y polímeros para mejorar las características de sedimentación de los lodos hasta conseguir el tiempo medio de retención celular deseado.

• La solución al problema del bulking filamentoso generalmente es más complicada pues es necesario llevar a cabo experimentación para detectar la causa. El desarrollo excesivo de las bacterias filamentosas ocurre cuando existen bajas concentraciones de:

- **Sustrato** (agua residual muy diluida).
- **Oxígeno.** Aunque la concentración crítica de oxígeno disuelto para evitar la formación de bacterias filamentosas depende de muchos factores, se ha observado que por arriba de 2 mg/l éstas no predominan.
- **Nutrientes.** Si aún con concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto y de nutrientes, así como el pH neutro persiste el crecimiento de bacterias filamentosas, será necesario tomar acciones adicionales para eliminar su presencia. Entre ellas se encuentran:

• 1. Establecer gradientes de sustrato. Esto se puede lograr introduciendo al tanque un compartimento, por medio de la aeración en etapas (en donde el oxígeno se suministra en mayor cantidad al principio del tanque y en menor al final), o a través del uso de reactores discontinuos secuenciales o **SBR**. Evidentemente esta acción implica cambios en el diseño del sistema y debe analizarse con cuidado.

• 2. Agregar un agente oxidante como el agua oxigenada o el cloro el cual destruye los filamentos. Esta acción requiere sumo cuidado, pues pueden inactivarse todos los microorganismos si la dosis de oxidante es excesiva. Para el caso del cloro, éste debe ser agregado en la zona de máxima turbulencia del tanque de aeración (cerca de los aereadores). Se recomienda comenzar con una dosis de

2 gramos de Cl^2/kg de SSLM dividiendo la dosis en dos o tres aplicaciones al día e ir en aumento (máximo hasta 6 g de Cl^2/kg de SSLM por día), verificando la decantabilidad de los lodos por medio del IVL hasta obtener una mejoría.

3. Agregar iones ferrosos que atacan los microorganismos filamentosos.

CLARIDAD DEL EFLUENTE

Un efluente turbio es obviamente un indicador de problemas operacionales. Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente es una indicación obvia del mal funcionamiento de la planta. Sin embargo, este problema, a menudo es observado solamente hasta que se tienen resultados analíticos del efluente.

Si el acarreo de sólidos se presenta solamente en una sección del tanque, es probable que se tengan cortos circuitos o que los vertedores estén desnivelados. Si el acarreo ocurre a lo largo de toda la canaleta (y vertedores), es indicativo de que el lodo tiene propiedades de sedimentación muy pobres.

INDICADORES ANALÍTICOS

Los indicadores analíticos son la principal herramienta del personal de operación para monitorear el funcionamiento de su planta de tratamiento. Los resultados analíticos se usan no solo para conocer las eficiencias del proceso, sino también para resolver problemas de operación mediante el cálculo de parámetros, que sirve como base para el funcionamiento adecuado del sistema. La eficiencia del proceso asegurará el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos en la normatividad vigente en materia de agua, la cual establece los límites máximos permisibles para los parámetros físicos, químicos y biológicos aquí presentados con respecto al agua tratada Anexo I.

CONCENTRACIÓN DEL AGUA CRUDA

Cualquier cambio significativo en las características del agua cruda afectará el desarrollo de los microorganismos del sistema de tratamiento; si la carga de la DBO^5 se incrementa significativamente, habrá demasiado alimento para los microorganismos del sistema. Este

exceso podrá incrementar la tasa de reproducción y producir un lodo activado joven caracterizado por un crecimiento disperso de la población, lo que se traduce en una sedimentación secundaria pobre. Además, no toda la DBO^5 (alimento) es utilizada por los microorganismos y una parte pasará directamente al efluente de la planta.

Si por el contrario, si la carga orgánica (DBO^5) decrece, no habrá suficiente alimento para los microorganismos y disminuirán su **tasa de crecimiento**, por lo que la población microbiológica del sistema se reducirá; el efecto será un efluente con incremento en la concentración de sólidos suspendidos al formarse un floc de rápida sedimentación que no ayuda al arrastre de partículas finas y coloidales. Se debe llegar a un balance adecuado entre la cantidad de alimento y la de microorganismos en el sistema.

NIVELES DE OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno es necesario para los microorganismos aerobios. Una parte de la materia orgánica removida es oxidada por los microorganismos para obtener la energía de mantenimiento de las

células y para su multiplicación. Si los organismos en el tanque de aeración no tienen oxígeno suficiente el proceso fallará, lo que será notado por el rápido deterioro de la calidad del efluente. Es por ello indispensable que el operador de la planta de tratamiento esté siempre al tanto de la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aeración.

Según las normas aceptadas de diseño, el equipo de aeración se proyecta de tal manera que se mantenga una concentración mínima de 2 mg/l de oxígeno disuelto para cualquier valor de carga orgánica y en cualquier punto del tanque de aeración, excepto en las inmediaciones de la entrada de la alimentación donde se ejerce una mayor demanda de oxígeno. En la práctica, la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aeración debe ser mantenida entre 1 y 2 mg O^2/l en todas las áreas del reactor. Los valores por arriba de 2 mg/l no mejoran la operación y aumentan los costos de operación considerablemente.

**DE LA CUENCA AL
ARRECIFE SOLO
HAY UN PASO...**

***¡Conserva el acuífero y sus
ecosistemas asociados!***

PH Y ALCALINIDAD

La acidez del agua es debido a la presencia del dióxido de carbono libre, de ácidos minerales y de algunas sales minerales. La alcalinidad de un agua se debe a la presencia de sustancias conocidas como bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

El grado de acidez o basicidad de un agua puede ser medido a través del pH. El agua pura tiene un pH neutro. Este valor corresponde a 7 en una escala que va de 0 a 14. Valores menores a 7 indican que el agua es ácida, mientras que los valores comprendidos por arriba de 7 indican que el agua es básica.

Para la mayoría de las bacterias y para los procesos de tratamiento de aguas, el intervalo de pH en el cual se desarrollan está comprendido entre 4 y 9. El valor óptimo para el crecimiento generalmente se encuentra entre 6.5 y 7.5.

Cuando el valor de pH está por debajo o por arriba del intervalo óptimo, el sistema no funcionará adecuadamente. Esto es debido a la tasa de crecimiento de los microorganismos, por lo tanto la velocidad de consumo de la materia orgánica, va a variar.

GRASAS Y ACEITES

Las grasas y aceites afectan negativamente la transferencia de alimento en los microorganismos, así como a la sedimentación de sólidos.

Este parámetro debe monitorearse tanto en aguas residuales municipales como en industriales, sobre todo cuando se conoce su existencia. Las grasas y aceites interfieren la transferencia de materia orgánica soluble a través de la pared celular de los microorganismos. Cantidades excesivas de grasas y aceites empujarán los flocs a la superficie en los clarificadores.

CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LICOR MEZCLADO

Los sistemas por lodos activados se diseñan de tal manera que la concentración de Sólidos Suspendedos en el Licor Mezclado (SSLM), no rebase ciertos límites, tanto inferiores como superiores, para que en la práctica funcionen adecuadamente. En la mayoría de las plantas el mezclado y el aporte de oxígeno se realizan a través de los sistemas de aeración.

El mezclado requiere una cierta cantidad de potencia por unidad

de volumen. De esta manera, cuanto mayor es el tamaño del reactor, mayores serán los requerimientos de potencia para mezclarlo. Si se tienen altas concentraciones de SSLM, y el tamaño del tanque de aeración es pequeño, la potencia necesaria para la transferencia de oxígeno será mayor que la potencia requerida para el mezclado.

A medida que la concentración de SSLM se reduce, la potencia requerida para el mezclado se incrementa. Cuando existe un cierto valor de SLM y el sistema requiere mayor potencia para el mezclado que para la oxigenación, ésta situación es antieconómica.

Para la mayoría de las aguas residuales el valor límite inferior de SSLM es de 1500 mg/l, por abajo de este valor los requerimientos de potencia para el mezclado serán mayores. En el otro extremo, cuando la concentración de SSLM se incrementa, la

potencia por unidad de volumen aplicada para la transferencia de oxígeno debe incrementarse, aumentando la turbulencia en el tanque. Se puede alcanzar un punto tal que la fricción del fluido, producida por el mezclado, dañe los flóculos biológicos haciendo difícil la sedimentación de los lodos. Cuando se utiliza aire para suministrar oxígeno a los microorganismos, esta limitación por la turbulencia generalmente se alcanza a concentraciones de 6000 mg/l de SSLM.

La concentración óptima de SSLM para un funcionamiento del proceso adecuado dependerá del tipo de agua a tratar y de las características del sistema de tratamiento. En la práctica se ha encontrado que la concentración de los SSLM no debe ser inferior a 1500 mg/l ni superior a 5000 mg/l. Existen rangos para cada variante de lodos activados, para el caso de los procesos de "aeración extendida", ver Tabla 1.1 del Capítulo 1.

CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES

Para que un organismo se reproduzca y funcione adecuadamente se le debe proporcionar:

- 1 • Una fuente de energía (dada por la materia orgánica presente en el agua residual).
- 2 • Una fuente de carbono para la síntesis de nuevo material celular (también dada por la materia orgánica presente en el agua).
- 3 • Elementos inorgánicos (nutrientes) como el nitrógeno, fósforo, y otros elementos.

Los nutrientes orgánicos o factores para el crecimiento también pueden ser requeridos para la reproducción de los microorganismos o síntesis celular. Las fuentes de carbono y energía generalmente se conocen como sustratos.

Los nutrientes inorgánicos muchas veces pueden ser el material limitante para el crecimiento y la reproducción microbiana (Figura 2.2). Los principales nutrientes necesarios para los microorganismos son nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio, hierro, sodio y cloro. Algunos nutrientes

de importancia menor son el zinc, manganeso, molibdeno, selenio, cobalto, cobre, níquel y vanadio.

Algunos nutrientes conocidos como factores del crecimiento también serán requeridos ya que sirven en la reproducción celular. Entre ellos se encuentran los aminoácidos y las vitaminas.

La cantidad de DBO, nitrógeno y fósforo que requiere un proceso de tratamiento va a depender del TMRC de los microorganismos y de su velocidad de crecimiento durante la eliminación de la DBO. Generalmente, se acepta como adecuada una relación de DBO/nitrógeno/fósforo de 100:5:1.

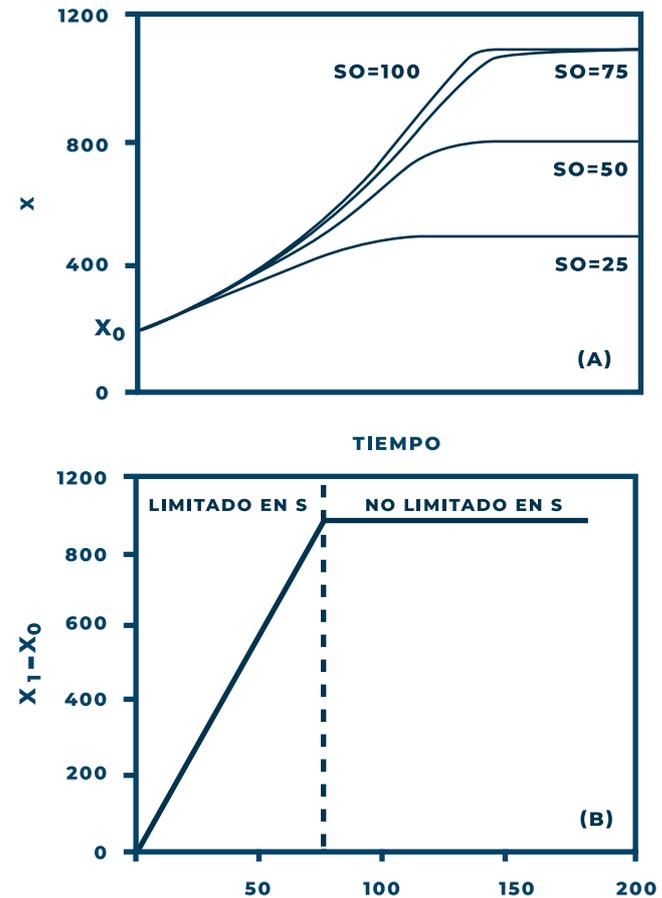


Figura 2.2.- a) Crecimiento microbiano para diferentes concentraciones iniciales de sustrato (S). (b) Biomasa formada ($X_f - X_0$) en función de la concentración inicial de sustrato (S_0). (Bertola, C.; 2017).

La deficiencia de nutrientes puede causar algunas veces un problema de abultamiento debido al crecimiento de bacterias filamentosas. Para evitar esto, se deben adicionar nutrientes. En el ejemplo 2 incluido en la sección de Ejercicios y Prácticas se muestra como calcular la cantidad

de nutrientes a adicionar para corregir este problema. Una vez que la tasa de alimentación es determinada (kg/d), los químicos deben alimentarse en el influente, preferentemente en proporción al flujo.

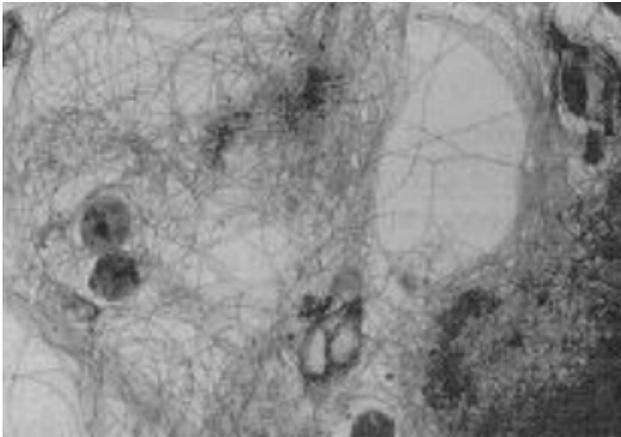
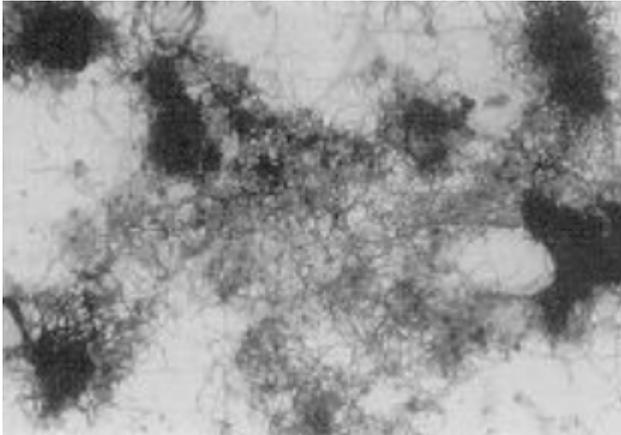


Figura 2.3.- Ejemplos característicos de organismos filamentosos que pueden desarrollarse en el proceso de lodos activados y afectar la capacidad de sedimentación de los sólidos suspendidos del licor mezclado (Moeller G. et al; s.f)

CONTROL DE ORGANISMOS FILAMENTOSOS

El control de organismos filamentosos se puede llevar a cabo de varias formas dentro de las que se incluyen:

- Adición de cloro o peróxido de hidrógeno al lodo activado de retorno
- Alteración de la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación
- Alteración de los puntos en los que se añaden desechos al tanque de aireación con el fin de modificar la relación F/M d.
- Adición de nutrientes principales (p.ej., nitrógeno y fósforo).
- Adición de metales de traza, nutrientes y factores de crecimiento y, más recientemente
- Adición de talco inorgánico

ENTRADA DE COMPUESTOS TÓXICOS

Entre los compuestos tóxicos más comunes que pueden ingresar a la planta de tratamiento se encuentran: las excesivas cantidades de amoníaco libre, cloro residual, detergentes, pinturas, solventes y biocidas. Otros residuos que pueden afectar a los microorganismos incluyen a los metales pesados, hidrocarburos clorados, productos del petróleo, ácidos y bases.

Estos materiales tóxicos pueden encontrarse en las corrientes de aguas residuales por un vertido deliberado, por un manejo inapropiado de los materiales tóxicos, por fugas en los tanques de almacenamiento o por derrames accidentales.

Existen dos grados de toxicidad: aguda y crónica. La toxicidad aguda puede presentarse rápidamente; en cuestión de horas, la población biológica del tanque de aeración puede morir, lo que hace que este tipo de toxicidad sea detectada rápidamente, mientras que la toxicidad crónica se presenta lentamente haciendo difícil su identificación. La toxicidad aguda se muestra con altas concentraciones de sustancias tóxicas, tales como cianuro o arsénico, cuando son descargados al sistema de alcantarillado que llega a la Planta.

La toxicidad crónica se presenta cuando un elemento como, por ejemplo cobre, se aumenta gradualmente dentro de las bacterias, en el período donde las bacterias son recirculadas una y otra vez en el sistema. Como la concentración del elemento tóxico se incrementa dentro de las células, el nivel tóxico es alcanzado y el nivel de actividad de los microorganismos disminuye hasta que mueren. El análisis de concentración de metales presentes en los lodos de la sedimentación de la planta puede ayudar a detectar problemas potenciales por toxicidad crónica.

En la planta de tratamiento, la primera indicación de la entrada de una corriente de agua con

tóxicos se observa en el aparato de medición del oxígeno disuelto. A medida que el tóxico se desplaza por el tanque de aeración, la concentración de oxígeno disuelto residual se incrementará significativamente.

Un incremento en la concentración de oxígeno disuelto sin elevar el flujo de aire de entrada, indica que el compuesto tóxico que ha entrado a la planta está matando a los microorganismos en el tanque de aeración, disminuyendo la velocidad de consumo de oxígeno (la respiración) de los microorganismos. Una segunda indicación de la llegada de compuestos tóxicos a la planta se observa en el efluente del clarificador secundario. El efluente comenzará a acarrear flóculos (lo que indica la muerte de los microorganismos). El grado de acarreo de los flóculos en el efluente depende de la cantidad y del tipo particular de tóxico. Cuando se sabe que ha entrado una sustancia tóxica al proceso, el operador debe concentrar sus esfuerzos en obtener una muestra de agua residual y analizarla lo más pronto posible para determinar los constituyentes tóxicos. La principal misión del operador es salvar el sistema por lodos

activados en el caso de ingresos de compuestos tóxicos. Cuando éste reconoce el ingreso de un compuesto tóxico en la planta, debe disminuir significativamente la tasa de recirculación de lodos (TRL). Si esta acción se lleva a cabo oportunamente, la mayoría de las bacterias permanecerán en el clarificador secundario, apartadas del tóxico. Enseguida, se aumenta el flujo de purga para eliminar los lodos activados que contienen microorganismos muertos e intoxicados. Cada vez que sea posible se debe evitar que el efluente tóxico continúe por el sistema de tratamiento, por ejemplo, evitar que éste pase a los digestores de lodo.

TEMPERATURA

Todos los procesos de crecimiento son dependientes de las reacciones químicas y éstas son influidas por la temperatura. Así, la tasa de crecimiento microbiano se ve afectada por la temperatura. A medida que la temperatura se incrementa existe un punto donde el crecimiento es máximo. La temperatura correspondiente a este punto es llamada temperatura óptima. A un mayor incremento de la

temperatura, los componentes de la célula sensibles al calor, como las enzimas, son desnaturalizados y el crecimiento microbiano disminuye rápidamente.

El rango óptimo de temperatura para la actividad bacteriana es entre 20 y 30 °C, a altas temperaturas, las bacterias se vuelven más activas y a menor temperatura, disminuye la actividad bacteriana. Durante los meses de invierno la actividad biológica baja, y los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aeración necesitan incrementarse; en el verano por condiciones inversas, los SSVLM deben reducirse, ya que cada bacteria asimilará más materia orgánica debido a su mayor actividad. La temperatura también afecta las características de sedimentación. Durante el invierno, el agua es más densa y la sedimentación será más lenta; en el verano sucede lo contrario.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Es una estimación de la cantidad de oxígeno que necesita una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra, el método más popular para medirlo es el DBO transcurridos 5 días, en el que se mide este parámetro.

Un efluente con altas concentraciones de DBO⁵ indica problemas operativos.

La DBO⁵ proporciona al operador la información relativa al funcionamiento de la planta, como es la eficiencia de remoción de DBO⁵, altas remociones de DBO⁵ indican que la planta funciona bien; bajas remociones denotan que existen problemas en la planta.

Se requieren registros diarios de DBO⁵ para calcular parámetros de operación, siendo el más importante la relación alimento – microorganismos (A/M). Otro uso de este indicador es para calcular la cantidad de nutrientes en caso de requerirse en el proceso.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La DQO determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua residual por medios químicos, esta puede usarse para estimar la DBO.

La DQO es una herramienta que cada vez tiene mayor uso, pues el análisis de laboratorio para su determinación es mucho más rápido que el de la DBO⁵. Se puede realizar en un lapso de 4 a 5 horas, mientras que la DBO requiere de cinco días.

La espera de resultados por más

de cinco días por la DBO⁵ ha promovido el uso de la relación DQO/DBO; esta relación puede obtenerse monitoreando de manera sistemática los dos parámetros durante un largo período para llegar a establecer de manera aproximada dicha relación.

Una vez que se tiene esta relación, determinando el DQO se infiere el valor de la otra, ahorrándose el tiempo de espera de resultados. Principalmente por esta razón, la DQO es un importante indicador analítico en plantas de lodos activados, además de ser un índice de descargas industriales.

PROFUNDIDAD DE LA CAMA DE LODOS

Es deseable tener un manto de lodos concentrado en el fondo del sedimentador para reducir el volumen líquido que debe ser extraído por recirculación o purga. Es recomendable tener en el sedimentador secundario una cama de lodos de 1.00 m.

La altura del manto de lodos del sedimentador debe medirse diariamente; un manto de lodos muy grande hará trabajar deficientemente al clarificador e indicará que los lodos no han sido

extraídos para la recirculación o purgados, y que se están acumulando más rápido de lo que son extraídos. Un manto de lodos pequeño provocará una sedimentación deficiente, quizá originado por un floc disperso por la extracción excesiva del lodo del sedimentador.

MEDICIÓN DE GASTOS

Se requieren datos precisos del gasto. Es obvio que sea necesario

monitorear el gasto influente y efluente de la planta. Los gastos se utilizan para determinar cargas orgánicas, balance de sólidos, cálculo de parámetros de control como A/M y TMRC, tiempos de retención, ajuste de recirculación, purga y dosificación de nutrientes. Se requieren datos suficientes para el adecuado control de la planta de tratamiento, de ser posible un equipo medidor de gasto continuo.

TIEMPO DE RETENCIÓN

Los microorganismos deben tener suficiente tiempo para proporcionar el tratamiento. El tiempo de retención hidráulica del tanque de aeración o la cantidad de tiempo que las

bacterias están en contacto con el alimento de las aguas crudas, es un importante factor de operación y debe verificarse periódicamente. Se debe dar el tiempo suficiente para permitir que las bacterias asimilen la materia orgánica presente en el agua residual.

Tiempos de retención demasiado grandes pueden generar problemas de sedimentación; tiempos muy cortos conducirán a bajas eficiencias de remoción de DBO⁵, pero si es demasiado corto el floc biológico no tendrá tiempo de sedimentar y la concentración de SS en el efluente será muy grande.

Si los lodos permanecen en el reactor mucho tiempo se vuelven sépticos; bajo condiciones anaerobias se pueden tener problemas de desnitrificación. También es importante este concepto de tiempo de retención para los tanques sedimentadores; en ellos se debe permitir que los flóculos de lodos activados se sedimenten en tiempo razonable. El tiempo de retención es un parámetro donde el operador tiene poco control, pero el cálculo del tiempo de retención en las unidades de proceso es particularmente importante cuando se alcanza o sobrepasa el grado máximo de diseño.



Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por lodos activados en Quintana Roo, México (foto: Archivo ASK).

TRES

PTAR

CONTROL
DEL PROCESO

La función principal del operador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales es el monitoreo y control del proceso completo, para que la producción de agua tratada cuente con la calidad esperada y logre cumplir con los estándares y parámetros establecidos en las normas aplicables.

A continuación, se exponen las dos opciones principales de control del proceso para el funcionamiento óptimo del sistema. (Figura 3.1) Al conocerlas a fondo el operador podrá determinar cuál funciona mejor para su planta.

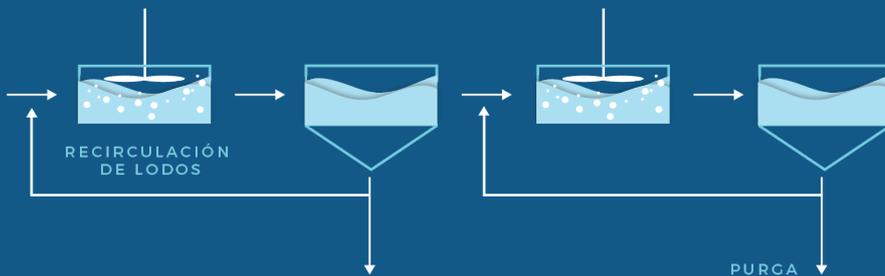


Figura 3.1 Opciones de control de proceso

CONTROL POR MEDIO DE LA RECIRCULACIÓN DE LODOS (LAR)

Para operar eficientemente el proceso por lodos activados, es importante alcanzar y mantener una adecuada sedimentación del licor mezclado. Los sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM) sedimentan en un clarificador y enseguida se regresan al tanque de aeración como lodos activados recirculados (LAR).

Los LAR hacen posible que los microorganismos permanezcan más tiempo en el sistema que el agua que fluye a través de éste. Para la operación de los sistemas convencionales por lodos activados el flujo de los LAR es generalmente entre 20 y 40 % del flujo que entra a la planta. El flujo de LAR óptimo será con el que la planta obtenga la mejor calidad de agua tratada. El control de flujo de recirculación mediante un caudal constante se logra por la sedimentabilidad del lodo y el monitoreo de la profundidad de la cama de lodo en el clarificador secundario. Si cambia la calidad de los lodos activados, será necesario cambiar la tasa de recirculación debido a las características de sedimentación de los lodos. El intervalo típico de la tasa de recirculación de lodos para un proceso de tratamiento por "aeración extendida" es (Tabla 3.1):



TIPO DE PROCESO	TASA DE RECIRCULACIÓN COMO PORCENTAJE DEL FLUJO DE ENTRADA AL TANQUE DE AERACIÓN %	
	MÍNIMO	MÁXIMO
AERACIÓN EXTENDIDA	50 %	150 %

Tabla 3.1 Tasa de recirculación de lodos

MÉTODOS BASADOS EN LA RECIRCULACIÓN DE LODOS

Para controlar la tasa de recirculación se pueden usar los dos siguientes enfoques:

- 1 La tasa de recirculación de lodos es independiente del flujo de entrada, es decir, tasa de recirculación constante.
- 2 La tasa de recirculación de lodos está en función de un porcentaje constante del flujo de agua residual entrante, es decir, tasa de recirculación variable.

A continuación se explica cada uno de ellos:

CONTROL POR MEDIO DE UNA RECIRCULACIÓN DE LODOS CONSTANTE

Mantener una tasa constante de los LAR, independiente del flujo de agua residual entrante al tanque de aeración, produce como resultado cambios en la concentración de los SSLM. Los SSLM se encontrarán en un mínimo cuando el flujo de agua residual que entra a la planta aumenta. Al contrario, los SSLM tendrán su valor máximo cuando el flujo de entrada se encuentre en valores mínimos. El tanque de aeración y el clarificador secundario deben ser vistos como un sistema en el cual los SSLM se almacenan en el tanque de aeración durante las condiciones de flujo mínimo de agua residual en el influente y después son transferidos al clarificador a medida que el flujo entrante se incrementa. Pero no es conveniente para plantas donde el caudal del influente tenga variaciones importantes durante el día, porque pierde flexibilidad para compensar los cambios y se afecta la eficiencia. La ventaja de usar la aproximación a tasa constante es su simplicidad, puesto que minimiza el esfuerzo de control. Este procedimiento es especialmente útil y efectivo para plantas pequeñas con flexibilidad limitada.



CONTROL POR MEDIO DE LA TASA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS VARIABLE

El segundo procedimiento de control de los LAR requiere un método de programación para mantener una tasa de LAR como porcentaje del flujo de entrada de agua residual, que se puede llevar a cabo con un aparato de medición del flujo, un sistema programado, o por ajustes manuales. El método de programación es teóricamente diseñado para mantener los SSLM constantes durante las altas y bajas del flujo de agua en la entrada de la planta.



COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS BASADOS EN LA RECIRCULACIÓN DE LODOS

En general, se puede decir que la mayoría de las operaciones de los lodos activados funcionan bien y una vez que se encuentra el valor óptimo, requieren menos atención cuando se usa el procedimiento por medio de la tasa constante de los LAR. En muchas plantas es mucho más simple para el operador dejar variar los SSLM, siempre y cuando se mantenga un tratamiento adecuado del agua. Las plantas grandes o muy complejas deberán variar los LAR para mantener los SSLM cerca al valor de diseño. Las plantas por lodos activados con flujos menores a 450 l/s han obtenido beneficios al usar el procedimiento de tasa constante de los LAR. La Tabla 3.2 presenta los procedimientos para monitorear y mantener las tasas de LAR.

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TASA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS CONSTANTE	<p>La carga máxima de sólidos en el clarificador se produce al comienzo de los periodos pico.</p> <p>Requiere menos tiempo de operación.</p>	<p>La relación A/M cambia constantemente. Sin embargo, el rango en el que fluctúa la relación A/M debido a las variaciones a corto plazo de los SSLM, es por lo general, lo suficientemente pequeña de tal manera que no aparecerán problemas significativos.</p>
TASA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS VARIABLE	<p>Se reducen las variaciones en la concentración de los SSLM y la relación A/M varía menos.</p> <p>Los SSLM permanecerán tiempos menores en el clarificador, lo cual reduce la posibilidad de la desnitrificación en el clarificador.</p>	<p>El sedimentador se somete a cargas hidráulicas máximas cuando el reactor contiene una máxima cantidad de lodos.</p> <p>Esto puede conducir al arrastre de sólidos en el efluente secundario.</p>

Tabla 3.2 Procedimientos para monitorear y mantener la tasa de LAR

PROCESO	MÉTODO DE CONTROL LAR	MODO DE OPERACIÓN	QUE MEDIR	FRECUENCIA DE AJUSTE	CUANDO MEDIR	CONDICIÓN	CAUSA PROBABLE	RESPUESTA
COMPLETAMENTE MEZCLADO O FLUJO PISTÓN	Flujo constante	Manual	Cama de lodos	Diario	Cada 8 hrs	Alta	Baja tasa de LAR	Incrementar la recirculación
						Satisfactoria		Continuar el monitoreo
						Baja	Alta tasa de LAR	Disminuir la recirculación
	% constante del flujo entrante	Manual	% constante del flujo entrante	Cada 2 hrs	Cada 2 hrs	Alta	Variaciones del flujo entrante durante el día	Ajustar el flujo al % deseado
						Satisfactoria		Continuar con el monitoreo
						Baja	% del flujo muy bajo	Incrementar el % del flujo
			Cama de lodos	Diario	Cada 8 hrs	Alta	% del flujo muy alto	Disminuir el % del flujo
						Satisfactoria		Continuar con el monitoreo
						Baja		Aumentar el % del flujo
	% constante del flujo entrante	Automático	Cama de lodos	Diario	Cada 8 hrs	Alta	% del flujo muy bajo	Incrementar el % del flujo
						Satisfactoria		Continuar con el monitoreo
						Baja	% del flujo muy alto	Disminuir el % del flujo
	Control por el nivel de la profundidad de la cama de lodos	Automático	Cama de lodos	Diario	Cada 8 hrs	Alta o baja	Controlador averiado	Fijar el controlador o ajustar manualmente
						Satisfactoria		Continuar con el monitoreo
	CONTACTO ESTABILIZACIÓN	% constante del flujo entrante	Automático		Cada 2 hrs	Cada 2 hrs	Relación alta	Recirculación alta
								Continuar con el monitoreo
Relación baja							Recirculación baja	Aumentar la recirculación

Tabla 3.3 Procedimientos de operación para el control de los Lodos Activados de Recirculación.

La Tabla 3.3 se puede utilizar para desarrollar procedimientos estandarizados para cada planta de tratamiento por lodos activados.

Para los dos procedimientos de control de la Tasa de Recirculación de Lodos (LAR), existen numerosas técnicas que pueden ser utilizadas. Las más comunes son las siguientes:

- 1 Monitoreo de la profundidad de la cama de lodos
- 2 Sedimentabilidad de los lodos
- 3 Índice Volumétrico de Lodos (IVL)

MONITOREO DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAMA DE LODOS

El monitoreo de la profundidad de la cama de lodos en el sedimentador, es un método directo para determinar la tasa de LAR. La profundidad y uniformidad de la cama de lodos debe ser verificada por cualquiera de las siguientes técnicas:

- 1 Por medio de bombas sumergibles montadas dentro del sedimentador, a varias profundidades.
- 2 Piezómetros localizados a varias profundidades.
- 3 Detectores electrónicos del nivel del lodo (celdas fotoeléctricas adheridas a una cuerda graduada).
- 4 Una tubería graduada con una fuente de luz y con un vidrio de nivel o tubo indicador amarrado en extremo final
- 5 Un muestreador de acrílico transparente.
- 6 Algún tipo de bomba portátil con una tubería de succión graduada o un sifón.
- 7 Método de la toalla blanca.

La cama de lodos debe permanecer a una altura correspondiente a 1/3 de la profundidad media del sedimentador secundario, medida desde fondo del sedimentador sobre la pared. El valor óptimo de la cama de lodos, para cada instalación, se determina relacionando la altura de la cama de lodos con la calidad del efluente. El operador deberá verificar la profundidad de la cama de lodos de manera rutinaria.

El objetivo es efectuar los ajustes necesarios a los LAR para que la profundidad de la cama de lodos sea controlada al nivel necesario. El incremento en la profundidad de la cama de lodos puede ser el resultado de una gran cantidad de lodos activados en el sistema y/o por problemas de sedimentación en los lodos. A largo plazo el problema deberá corregirse mejorando la sedimentación de los lodos, o eliminando el exceso de sólidos del sistema de tratamiento (purga).

Si se tienen lodos con una pobre sedimentación, el incremento en la tasa de recirculación de lodos ocasionará mayores problemas por el aumento del flujo a través del sedimentador. Si los lodos sedimentan pobremente debido al esponjamiento de los lodos, las condiciones ambientales de

los microorganismos deberán mejorarse. Si existen demasiados sólidos en el sistema, el exceso de lodos deberá purgarse.

La medida de la profundidad de la cama de lodos deberá llevarse a cabo cada día a la misma hora, por su parte la tasa de LAR deberá ajustarse según sea requerido. Estos ajustes en la tasa de recirculación serán requeridos si el proceso se opera adecuadamente. El mejor momento para efectuar dicha medición es durante el periodo de máximo flujo, porque en estas condiciones el sedimentador está funcionando bajo la máxima carga de lodos.

Una ventaja adicional que se obtiene al monitorear la profundidad de la cama de lodos, es que en caso de falla en los equipos de extracción de los lodos, el problema será reflejado a través de las variaciones en la profundidad de la cama de lodos. Un taponamiento en la tubería de extracción de lodos ocasionará que la altura de la cama de lodos se incremente.

SEDIMENTABILIDAD DE LOS LODOS

Otro método para calcular la tasa de LAR se basa en los resultados de la prueba de sedimentación de lodos a los 30 minutos.

La sedimentación de los lodos es el porcentaje del volumen ocupado por el lodo después de sedimentar durante 30 minutos. La prueba de sedimentación se realiza con una muestra tomada del efluente del tanque de aeración.

Hay que considerar que este método no representa las condiciones reales de un clarificador.

En el ejemplo 3, de la sección de Ejercicios y Prácticas se incluyen ejemplos para calcular la tasa de purga de lodos como porcentaje del flujo y la tasa de flujo de lodo recirculado.

ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LOS LODOS (IVL)

Para determinar la tasa de recirculación de lodos utilizando el procedimiento por medio del índice volumétrico de lodos, es necesario incluir los resultados de la prueba de sedimentación. Por lo tanto, ambos métodos tienen las mismas limitaciones.

La importancia real del IVL no reside en el cálculo de la tasa de LAR, sino en su uso como indicador de la estabilidad del proceso. Los cambios en el IVL, cuando la concentración de SSLM permanece constante, son más importantes que el valor mismo del IVL.

No hay que fijarse demasiado en la comparación del IVL de diferentes plantas ya que el valor de IVL que indica una buena operación, no necesariamente se aplica para otras. En general, las plantas que operan por lodos activados con oxígeno puro tienen un valor de IVL entre 50 y 100 y las operadas con aire, el valor del IVL varía entre 100 y 300 ml/g. En el ejemplo 4, de la sección de Ejercicios y Prácticas, se puede encontrar un ejemplo para ilustrar este método.

**LOS CONTAMINANTES
QUE ENTRAN DESDE UN
PUNTO SE DISPERSAN
HACIA OTROS,
GENERANDO GRAVES
PROBLEMAS EN TODA
UNA REGIÓN...**

*Desde la selva, hasta los
manglares y el arrecife,
todos los ecosistemas se
encuentran conectados.*

*Mantener esta conexión y
dejar que el agua fluya
limpia, sin contaminación
hasta desembocar al
arrecife, depende de cada
uno de nosotros.*

CONTROL POR MEDIO DE LA TASA DE PURGA DE LODOS

Uno de los controles más importantes del proceso por lodos activados es por medio de la cantidad de lodos purgados. La cantidad de lodos activados purgados afecta los siguientes parámetros:

- 1 • Calidad del efluente
- 2 • Velocidad de crecimiento de los microorganismos
- 3 • Consumo de oxígeno
- 4 • Sedimentación del licor mezclado
- 5 • Cantidad de nutrientes requerida
- 6 • Presencia de espumas
- 7 • Posibilidad de nitrificación

El objetivo de la purga de lodos es mantener un balance entre los microorganismos en aeración y la cantidad de alimento que llega a la planta.

Cuando los microorganismos remueven la DBO del agua, la concentración de lodos activados se incrementa (por el crecimiento y multiplicación de los microorganismos). La velocidad a la cual los microorganismos crecen se llama tasa de crecimiento. La purga de lodos elimina la cantidad necesaria de microorganismos que se produjeron por arriba de la cantidad de microorganismos que murieron en el proceso.

Cuando se realiza la purga, se restaura el balance que existía antes del crecimiento en exceso de los microorganismos. Esto permite que la cantidad de lodos activados en el proceso permanezca constante. Esta condición se conoce como estado estacionario y es una condición deseable para la operación de la planta. En la práctica, estas condiciones son aproximadas, ya que existen fluctuaciones tanto en la cantidad como en la naturaleza del alimento que llega a la planta. El objetivo del control del proceso es alcanzar el estado estacionario controlado, en uno o varios de los siguientes factores:

- 1 • Tiempo Medio de Retención Celular (TMRC).
- 2 • Relación Alimento/ Microorganismo, A/M.
- 3 • Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación y en la purga de lodos.
- 4 • Concentración de sólidos volátiles en licor mezclado.

La purga de lodos generalmente se lleva a cabo eliminando una porción de los lodos activados recirculados. El lodo purgado se bombea ya sea a los **espesadores** o a algún proceso de eliminación del agua y después de la estabilización, a disposición final o reúso.

Otra manera de purgar los lodos es tomar el licor mezclado directamente del tanque de aeración, ya que en éste existe una menor concentración de lodos que en la recirculación. Sin embargo, cuando se purgan los lodos del tanque de aeración directamente, se necesitarán

equipos de mayor tamaño debido a la baja concentración de lodos. La ventaja de purgar los lodos de la recirculación es que permite obtener lodos concentrados. Sin embargo, la purga del tanque de aeración posee la ventaja de evitar una purga en exceso, ya que ésta se controla mejor por el mayor volumen involucrado.

La purga de lodos se puede realizar de una manera intermitente o continua. La intermitente significa que la purga se realiza por lotes, por ejemplo una vez al día. Ambas presentan las ventajas y desventajas siguientes:

PURGA INTERMITENTE

VENTAJA • Mejor control de la cantidad de lodo purgado.

DESVENTAJAS • Grandes variaciones con los SSLM en el tanque de aeración.

PURGA CONTINUA

VENTAJA • No hay fuerte variación en la concentración de los SSLM.

DESVENTAJAS • Es necesario un mayor control del flujo de purga (si el flujo no es correcto la cantidad de lodo purgado es variable).

En la Tabla 3.4 se muestran los procedimientos de operación estándar para el control de la purga de lodos, en un proceso por "aeración extendida".

MÉTODO DE CONTROL	RELACIÓN ALIMENTO / MICROORGANISMOS (A / M)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES DEL LICOR MEZCLADO (SSVLM)	TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR (TMRC)
QUÉ VERIFICAR	SSVLM y DQO del Influyente	SSVLM y DQO del Influyente	TMRC
CUÁNDO VERIFICARLO	Diario	Diario	Diario
CÁLCULO	A / M basado en: DQO promedio de 7 días entre SSLM promedio de 7 días	Balance de sólidos volátiles	Concentración de sólidos promedio de 7 días en el efluente
FRECUENCIA DE AJUSTE	Diario	Diario	Diario
CONDICIÓN	A / M Baja	SSVLM Bajos	TMRC Bajo
CAUSA PROBABLE	Purga Insuficiente	Purga excesiva	Purga excesiva
RESPUESTA	Incrementar Purga	Reducir Purga	Reducir Purga

Tabla 3.4 Procedimientos de operación estándar para el control de la purga de lodos

CONTROL POR MEDIO DE LA RELACIÓN A/M

Este control se utiliza para asegurar que el proceso por lodos activados está siendo alimentado a la velocidad, a la cual, los microorganismos (SSVLM) en el licor mezclado son capaces de degradar la materia orgánica introducida. Si mucho o poco alimento es introducido para la cantidad de

microorganismos presentes, se pueden presentar problemas de operación ocasionando que la calidad del agua tratada disminuya.

Se deben tomar en cuenta los siguientes factores para el control por medio de la relación A/M:

- 1 La concentración de "alimento" o materia orgánica en el influente es estimada con la DQO (o la DBO).
- 2 La cantidad de microorganismos puede ser representada por los SSVLM. Idealmente, deberían contarse los microorganismos vivos, pero esto no es posible en la práctica, por lo que los SSVLM son una buena aproximación, porque se considera que la fracción volátil es materia orgánica e indirectamente representa a los microorganismos.
- 3 El control por medio de la relación A/M no debe basarse en los resultados de las pruebas diarias de laboratorio, ya que las concentraciones pueden variar

grandemente de un día a otro. Una manera de realizar los cálculos es por medio del promedio móvil a los 7 días. Para calcular el promedio móvil de la DQO (o de los SSVLM) de los últimos 7 días, se suman los valores de la DQO de los últimos 7 días, y se dividen entre 7. Cada día se sumará el valor más reciente y se restará el valor más viejo.

El rango de cargas orgánicas para las plantas de tratamiento por lodos activados está dado por los valores de A/M. Se necesitan diferentes valores de A/M para los diferentes sistemas, para un sistema de "aeración extendida", el rango recomendado de A/M, va de 0.05 a 0.15 mg/l.

La técnica de control a través de la relación A/M da mejores resultados cuando se aplica en conjunto con la técnica del tiempo medio de retención celular, TMRC. La obtención de un TMRC deseado se lleva a cabo por medio de la purga de una cantidad de sólidos del tanque de aeración, lo cual va a generar o fijar una relación A/M.

La relación A/M se calcula por medio de la cantidad de DQO o DBO aplicada por día y del balance de sólidos en el tanque de aeración. En el ejemplo 5, de la sección de Ejercicios y Prácticas se puede encontrar un ejemplo de cómo determinar la relación A/M, para una planta de lodos activados y como calcular la tasa de purga a partir del valor de la relación A/M.

TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR, TMRC

Al fijar el TMRC, el operador puede controlar la carga orgánica A/M. Además, el operador podrá calcular la cantidad de lodos activados que debe purgar de una manera lógica.

Básicamente, el TMRC representa el tiempo promedio que un microorganismo pasará en el proceso de lodos activados. Se deberá seleccionar el mejor TMRC para obtener la mejor calidad de efluente. Este valor debe corresponder con la relación A/M, para la cual el proceso fue diseñado.

Por ejemplo, un proceso diseñado para operar a cargas A/M convencionales no producirá un efluente de alta calidad si el valor del TMRC es pequeño, debido a que el valor A/M será demasiado alto comparado con el valor de diseño. Por lo tanto, el operador deberá encontrar el

mejor valor de TMRC asociándolo con el valor de la relación A/M, así como a las concentraciones es del efluente para la DQO y los sólidos suspendidos.

El TMRC también determina el tipo de microorganismos que predominan en el sistema ya que tiene una influencia directa en el proceso de nitrificación. Una planta que es operada a TMRC elevados, es decir, mayores a 15-20 días, generarán un efluente nitrificado.

Las plantas que operan a TMRC comprendidos entre 5 y 10 días no producirán nitrificación, a menos que las temperaturas del agua sean superiores a 25 °C.

El TMRC se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{TMRC} = \frac{\text{SS en el tanque de aeración (kg)}}{\text{SS purgados (kg/d) + SS en el efluente (kg/d)}}$$

Algunos operadores utilizan los SSV en lugar de los SS. La fracción volátil contenida en los SSLM, en los lodos de purga y en el efluente, son generalmente muy similares, por lo tanto existe poca diferencia en los cálculos. El TMRC puede ser calculado de tres maneras. Sin embargo el operador deberá de utilizar siempre el mismo método de cálculo:

- 1 Utilizando los SS en el tanque de aeración.
- 2 Utilizando los SS en el tanque de aeración + los SS del sedimentador secundario.
- 3 Utilizando los SS en el tanque de aeración + los SS de la cama de lodos del sedimentador secundario.

En el ejemplo 6, de la sección de Ejercicios y Prácticas se encuentra un ejemplo que muestra el uso del TMRC para mantener la tasa de purga deseada.

BALANCE DE SÓLIDOS EN LA RECIRCULACIÓN Y EN LA PURGA DE LODOS

El operador deberá medir la concentración de sólidos suspendidos volátiles en la recirculación cuando la purga se efectúe en este punto. Si la concentración de SSV en la recirculación disminuye, la tasa de purga de lodos debe de incrementarse proporcionalmente. De manera similar, si hay un incremento en la fracción volátil de los sólidos en la recirculación, la tasa de purga de lodos debe disminuirse para evitar pérdidas de microorganismos, o lo que se conoce como el lavado del reactor.

PURGA CONTINUA

Cuando se realiza una purga en continuo, el operador debe verificar los SSV en la recirculación, al menos cada vez que la planta sufra algún cambio (concentración y cantidad alimentada) y con ello, deberá de realizar el ajuste apropiado en la tasa de recirculación.

PURGA INTERMITENTE

Cuando se practica una purga intermitente, el operador debe verificar los SSV en la recirculación para calcular el flujo de purga necesario. Además, este cálculo debe reajustarse para el periodo de purga reducido. El operador deberá repetir el cálculo del flujo de purga para cada periodo de purga, para tener en cuenta las variaciones de los SSV en la recirculación.

La purga intermitente de los lodos tiene la ventaja de generar menos variaciones en la concentración de los SS y la cantidad de lodos purgados se conocerá con mayor precisión. La desventaja es que los equipos de bombeo deberán usarse con cargas hidráulicas mayores además de que se generará un desbalance

en el proceso hasta que nuevos microorganismos se hayan reproducido para reemplazar a los que fueron purgados. La purga intermitente no es práctica para plantas grandes en donde se tratan más de 450 l/s de agua residual.

Cuando el operador utiliza este método para controlar el proceso, no tiene un control completo sobre la cantidad de lodos purgados, debido a que no se contabilizan los sólidos suspendidos en el efluente.

Las pérdidas de sólidos en el efluente generalmente cuentan con menos del 5% del total de lodos que deben ser purgados. En el ejemplo 7, de la sección de Ejercicios y Prácticas, se pueden encontrar ejemplos para ilustrar el cálculo de la tasa de purga para ambos métodos.

CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR MEZCLADO

Esta técnica es utilizada por muchos operadores porque es fácil de entender e implica un mínimo de control de laboratorio. La técnica de los SSVLM producirá una buena calidad del efluente; siempre y cuando, las características del agua residual sean constantes y haya mínimas variaciones de flujo de agua que entra a la planta. En épocas de lluvia, si los sistemas de drenaje son combinados, el agua puede llegar con mayor caudal y muy diluido por lo que sería muy difícil utilizar esta técnica.

Con esta técnica, el operador trata de mantener la concentración de SSVLM constantes en el tanque de aeración. En otras palabras, si se encuentra que una concentración de 2,000 mg/l de SSVLM produce una buena calidad del efluente, el operador deberá purgar los lodos de proceso para mantener esta concentración. Cada vez

se purgarán más lodos para obtener el nivel de concentración deseado. Los controles de laboratorio que son necesarios para esta técnica son:

- 1 La concentración de SSVLM
- 2 La concentración de SSV en la recirculación
- 3 Flujo de agua del influente
- 4 Volumen del tanque de aeración

Cuando se arranca una planta nueva, esta técnica es utilizada por el operador para saber cuando debe purgar los lodos. En cualquier caso, no es la técnica más confiable pues ignora importantes variables de proceso, tales como la relación A/M y la tasa de crecimiento de microorganismos necesaria para mantener en óptimas condiciones el sistema. En el ejemplo 8, de la sección de Ejercicios y Prácticas, se puede encontrar un ejemplo que ilustra el uso de esta técnica.

CUATRO

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

4.1

TRATAMIENTO DE LODOS

110

El tratamiento de aguas residuales, tanto municipales como industriales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes con el fin de hacerlas aptas para otros usos, o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua trae siempre como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos indeseables difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición.

En México, el manejo de lodos residuales municipales e industriales es un aspecto descuidado, y son pocas las PTAR que cuentan con un sistema de tratamiento de lodos. En muchos casos, gran parte de los lodos generados en una PTAR son descargados en sistemas de alcantarillado, en cuerpos de agua o dispuestos en tiraderos a cielo abierto sin ningún tratamiento previo que permita tomar las medidas de protección adecuadas, de forma que se logra evitar la contaminación del suelo, agua subterránea o la atracción de vectores (insectos, ratas, carroñeros, etc.), generando problemas de contaminación de los mantos freáticos y ríos subterráneos, así como en la y de salud pública.

Para el tratamiento de los lodos residuales generados en las PTAR, se utiliza alguno de los siguientes procesos:

DIGESTIÓN ANAEROBIA

Comprende dos fases; en la primera, se forman ácidos volátiles y en la segunda, las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno.

DIGESTIÓN AEROBIA

Proceso de aeración prolongada (dotando al sistema de oxígeno) para provocar el desarrollo de microorganismo aerobios, hasta sobre pasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular.

TRATAMIENTO QUÍMICO

Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza.

INCINERACIÓN

Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas resultantes son constituidas únicamente por materias minerales provenientes del lodo.

En general, las líneas de tratamiento de lodos residuales se encuentran enfocadas en dos aspectos fundamentales, que son:

111

PTAR

1. Reducción de volumen: puede obtenerse por un simple espesamiento (con el que la sequedad del producto podrá alcanzar en algunos casos el 10 o muy excepcionalmente, el 20%), deshidratación por drenaje natural, escurrido mecánico, secado térmico, o también y como continuación de una deshidratación, por una incineración.

2. Reducción del poder de fermentación o estabilización: consiste en reducir su actividad biológica (tendencia a la putrefacción) y su contenido de microorganismos causantes de enfermedades. La estabilización puede obtenerse mediante procesos tales como: digestión anaerobia o aerobia, estabilización química, pasteurización, cocción, etc.

En la Tabla 4.1 se describen los componentes del proceso de tratamiento de lodos más comúnmente utilizados en las PTAR que operan en Quintana Roo.

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
ESPESAMIENTO	Reduce la cantidad de lodos, con el fin de eliminar los inconvenientes de disposición, confinamiento y manejo.
DIGESTIÓN AEROBIA	La digestión aerobia se puede definir como la destrucción de componentes orgánicos degradables de los lodos, gracias a mecanismos biológicos aerobios. La digestión aerobia se basa en el principio de la respiración endógena, que sucede cuando el alimento disponible para los microorganismos es mínimo, por lo que dichos microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma. El material que permanece después de la digestión está formado por componentes que presentan un bajo nivel energético y son biológicamente estables.
DESHIDRATACIÓN	La deshidratación es una operación unitaria física, utilizada para reducir el contenido de humedad del lodo. Los dispositivos de deshidratación utilizan varias técnicas para la eliminación de la humedad, algunas se basan en la evaporación (lechos de secado) y percolación naturales, mientras que los aparatos de deshidratación mecánica utilizan medios físicos, asistidos mecánicamente para acelerar el proceso. El filtro banda (o prensa), es un dispositivo de deshidratación de lodos de alimentación continua, que incluyen el acondicionamiento químico, drenaje por gravedad, y aplicación mecánica de presión para deshidratar el lodo.

Tabla 4.1 Componentes del proceso de tratamiento de lodos

PARÁMETROS DE CONTROL Y OPERACIÓN ESPESAMIENTO DE LODOS

El objetivo del proceso de espesamiento es incrementar la concentración del lodo biológico al 4% para reducir el volumen de lodo que se enviará a digestión. El lodo biológico es alimentado al tanque de mezclado para floculación del lodo (suministrado con el equipo), donde se adiciona una solución de polímero diluido al 0.2%.

La integración del lodo con la solución de polímero se realizará con el agitador vertical de baja velocidad del tanque de mezclado, propiciando el agrupamiento de sólidos suspendidos para facilitar la separación del sólido en el agua. El operador deberá verificar el proceso de floculación en el pre-reactor, para evitar sobre-dosificar la solución de polímero y obstruir la malla filtrante del espesador de lodos. La eficiencia de retención de sólidos en el espesador de lodos se considera del 90%.

El operador debe también medir los siguientes parámetros:

- Sólidos suspendidos totales (SST) (mg/l) en el lodo biológico
- SST (mg/l) en el lodo espesado
- Sólidos en el agua recuperada del espesamiento (señal de falta de polímero)

DIGESTIÓN DE LODOS

El objetivo de este proceso es producir un lodo estable, adecuado para su deshidratación y disposición final. El tiempo de residencia de los lodos en los digestores será de 18 días, para obtener una destrucción del 40% de los sólidos suspendidos volátiles.

En el diseño del sistema se consideró que el porcentaje de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) en el lodo espesado es del 55% (incluye el lodo proveniente de la remoción química del fósforo),

que para una producción de lodo espesado de 196.8 m³/día al 4% es de 975 kg SSV.

Se requiere un suministro de oxígeno de 2 kg de oxígeno por cada kg de SSV destruido. Con esta cantidad de oxígeno se logra oxidar directamente la materia biodegradable, así como la oxidación de materia celular microbiana (proceso de respiración endógena); cuando la masa microbiana se expone a aereación bajo condiciones limitadas de alimento, la célula usa el alimento almacenado dentro de la célula (en forma de sólidos volátiles) para sobrevivir, dando como resultado un lodo estable y sin olor; mientras que el licor sobrenadante tendrá una baja concentración de DBO.

Esporádicamente, será necesario que el operador detenga el proceso de aeración y mezclado de los digestores, con el fin de aumentar la consistencia y/o concentración del lodo digerido. Esto sucederá durante el tiempo en que el espesador de lodo no esté en operación. Una vez fuera de operación estos equipos, el operador dejará que el lodo

sedimente y procederá a decantar el sobrenadante del digestor.

Los parámetros de operación que se deben medir en esta etapa son:

- Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) en el influente (mg/l)
- SSV en el efluente (mg/l)
- Oxígeno disuelto (mg/l)
- Temperatura (°C)
- pH

De manera esporádica el operador deberá medir los siguientes parámetros:

- Nitrógeno
- Fósforo
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

**EL INADECUADO
TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES
ESTÁ COLAPSANDO UNO
DE LOS ECOSISTEMAS
MÁS IMPORTANTES
DEL MUNDO: ¡EL
SISTEMA ARRECIFAL
MESOAMERICANO!**

*Al aplicar de manera adecuada
este manual contribuyes a su
cuidado y prevenir su
contaminación.*

DESHIDRATACIÓN DE LODOS

Antes de alimentar el lodo digerido al Filtro Banda o Prensa, éste se acondiciona con una solución del polímero diluido al 0.2%. El acondicionamiento se lleva a cabo en el mezclador estático.

La dosis de polímero que se agrega para el acondicionamiento del lodo es de 4 kg/tonelada de lodo seco, lo que equivale a 278.5 l/h para el flujo de alimentación de lodo de 1.22 l/s al 3.15%. El ajuste de la dosis se realiza en forma manual en la carrera de la bomba dosificadora correspondiente.

El equipo de deshidratación considerado permite alcanzar una sequedad del 20%, con una eficiencia de retención de sólidos del 98%.

El operador debe medir el siguiente parámetro:

• % de humedad en la torta (lodo deshidratado)

DISPOSICIÓN DE LOS LODOS DE DESECHO

Los lodos generados de las plantas de tratamiento son residuos de manejo especial, esto quiere decir que se desconocen las características de los mismos; por lo que en cierta medida se ignora si son residuos peligrosos o residuos sólidos con algún tipo de aprovechamiento.

Para determinar las características es necesario realizar el análisis bajo la NOM-052-SEMARNAT-2005, con lo que se determinará si posee alguna característica Corrosiva, Reactiva, Explosiva, Tóxica, Inflamable o Biológica (CRETIB). Si los resultados provenientes del análisis indicaran que no poseen ninguna de estas características, entonces NO son residuos peligrosos, pero seguirán siendo sujetos de manejo especial, de lo contrario recibirán el tratamiento para desincorporar residuos peligrosos.

Una vez descartada la posibilidad de ser un residuo peligroso, es necesario conocer las características para su aprovechamiento; para ello,

se realizan los análisis bajo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para el aprovechamiento y disposición final de los lodos y biosólidos, dónde según las características de estos residuos se podrán clasificar y aprovechar.

Todos los lodos generados serán reportados en bitácora, la cual debe ser actualizada constantemente. Dichos registros se resguardarán por un tiempo mínimo de 5 años.

Los reportes o registros deben contar como mínimo con la siguiente información:

- Movimientos de entrada
- Movimientos de salida
- Producción

Los biosólidos que cumplan con lo establecido en la NOM-004-SEMARNAT-2002, podrán ser almacenados hasta por un período

de 2 años. El sitio en el que se almacenen deberá ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y cuente con un sistemas de recolección de lixiviados.

Cuando los biosólidos generan olores, se aplica una dosis de aromatizante o cal según la conveniencia. Los lixiviados generados en las plataformas de secado deberán de extraerse periódicamente y tratarse debidamente. Los lixiviados se retornan automáticamente al proceso. Los lodos para donación o autoconsumo sólo deberán entregarse previa autorización por oficio del interesado y con la autorización del jefe de planta, siempre y cuando se verifique el cumplimiento de la calidad aceptada mediante los análisis CRETIB y la NOM-004-SEMARNAT-2002, mismos que deberán estar disponibles en las plantas para la verificación por parte de la autoridad.

En la Figura 4.1 se resume el proceso de generación, caracterización, tratamiento, manejo y disposición final de los lodos residuales generados en una PTAR.

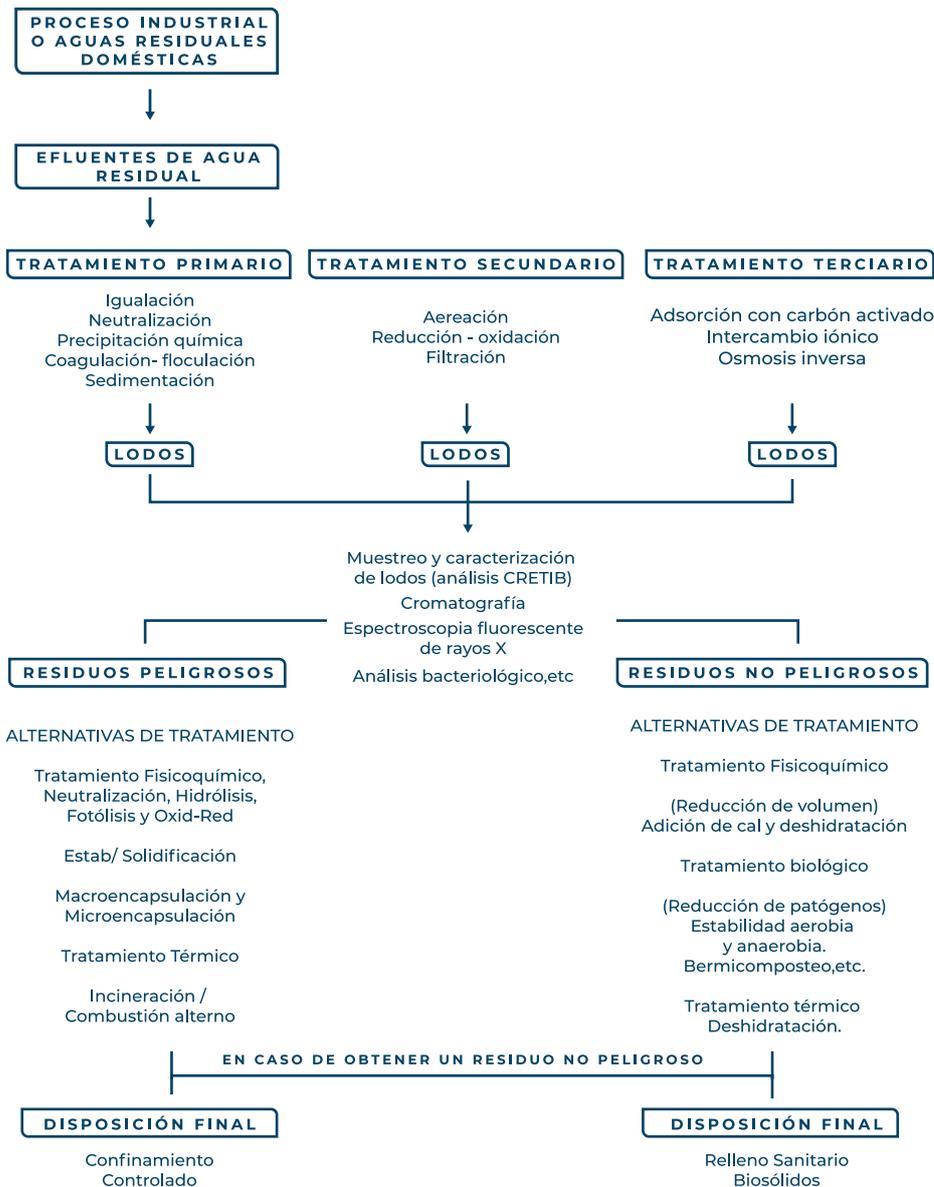


Figura 4.1 Alternativas planteadas para tratamiento y disposición de lodos.

COMPOSTAJE COMO ESTABILIZADOR DE LODOS RESIDUALES

Una de las soluciones para la disposición final de estas enormes masas de residuo, es la aplicación de estos lodos residuales al suelo, con los que se obtendrán beneficios tanto ambientales como económicos, debido a que proporcionan material orgánico, mejoran la estructura del suelo y ofrecen un gran potencial para el reciclaje del nutriente.

El compostaje nos permite la

degradación biológica de la materia orgánica hasta conseguir un producto final estable. Esto se logra por medio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno y el carbono presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor, en donde, según la temperatura, se dividen las diferentes fases del compostaje (Figura 4.2) como se describen a continuación:

FASE MESÓFILA

El material de partida comienza con el proceso de compostaje, temperatura ambiente y en pocos días u horas, la temperatura aumenta hasta los 45°C debido a la actividad microbiana que utiliza fuentes sencillas de carbono y nitrógeno. La descomposición de compuestos solubles, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH baja (de 4.0 a 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos a ocho días).

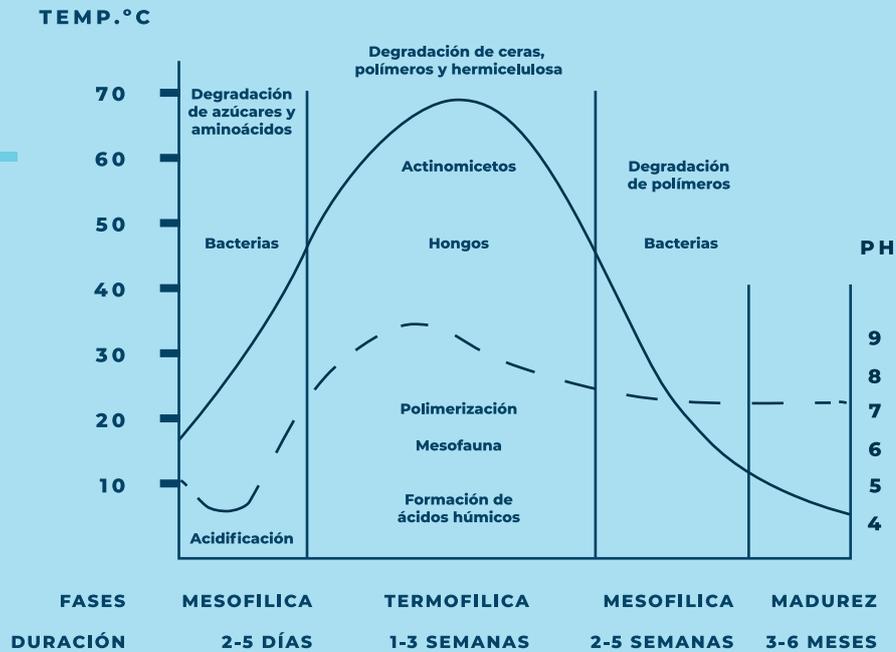


Figura 4.1 - Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje. (FAO; 2013)

FASE TERMÓFILA

Es la fase del composteo donde la temperatura alcanza de 40°C a 70°C, debido al calor producido por el metabolismo de microorganismos mesófilos que son reemplazados por bacterias termófilas capaces de vivir a esas temperaturas. Durante esta etapa ocurre la destrucción de **patógenos**.

FASE DE ENFRIAMIENTO

La temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH desciende. La fase de enfriamiento requiere varias semanas, puede confundirse con la fase de maduración.

FASE DE MADURACIÓN

Periodo que demora meses a temperatura ambiente. Se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

La composta difiere mucho en su composición, según los materiales que se composte y las condiciones en que se realiza el proceso, el cual debe ser controlado, pues de eso dependerá la composición del producto final. Respecto al origen de los materiales a compostar, puede obtenerse de los siguientes materiales

- Fracción orgánica
- Fracción procedente del tratamiento **anaerobio** de los RM
- Lodos de depuradora
- Diferentes tipos de estiércoles
- Restos de poda vegetales solos o enriquecidos con algunas fuentes de nitrógeno.

MONITOREO DEL PROCESO

Según la técnica empleada para la realización de la composta, se deberá llevar un control de los parámetros de temperatura, aireación, humedad y mezcla inicial. Los condicionantes biológicos y físicos (transferencia de masa y energía) del proceso se refieren a aquellos que afectan a "los actores principales" (microorganismos: bacterias,

hongos y actinomicetos) a los que el proceso de tratamiento se les tiene que facilitar las condiciones de trabajo (Soliva y Huerta, 2004). En la Tabla 4.2, son descritas las condiciones de seguridad ambiental y sanitaria establecido en el apartado 6.3 de la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2012.

PROCESO	DESCRIPCIÓN	
RELACIÓN C/N	Debe ser comprendida entre los valores de 25:1 y 40:1 siendo el óptimo de 30:1	
HUMEDAD INICIAL	Con valor inicial en un rango de 40 a 70% No rebasar el 70% para evitar formación de condiciones anaerobias.	
HUMEDAD DURANTE EL PROCESO	Debe mantenerse en un rango de 40 a 70%	
TEMPERATURA	Temperatura promedio	Tiempo
	55°C	2 semanas
	60°C	1 semana
	Hasta 65°C	3 días
PH	Rango adecuado es de 4 a 9 a lo largo del proceso	
ESCURRIMIENTO	Contar con un plan de manejo; dicha fracción líquida debe ser colectada y reincorporada en alguna fase del proceso	

Tabla 4.2.-Condición de los parámetros durante el proceso de composteo.

Sin embargo no todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente son considerados compostos, la utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede ocasionar riesgos como los citados a continuación se describen.

FITOTOXICIDAD

En un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato, un exceso de este tiende a perderse por infiltración en el suelo y contribuye a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, de igual manera puede ser extraída por los cultivos, generando una acumulación excesiva de nitratos, con consecuencias negativas sobre la calidad del fruto y la salud humana. El amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta. Igualmente un material sin compostar tendrá compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las plantas.

BLOQUEO BIOLÓGICO DEL NITRÓGENO

En donde, si la relación carbono-nitrógeno (C/N) no es equilibrada, cuando se aplica al suelo, los microorganismos consumen el carbono presente y rápidamente incrementan el consumo de nitrógeno, agotando las reservas de nitrógeno en el suelo.

REDUCCIÓN DEL OXÍGENO RADICULAR

Cuando un material aun se encuentra en fase de descomposición, los microorganismos utilizarán el oxígeno presente en el suelo para continuar con el proceso, no dejándolo disponible para otras plantas.

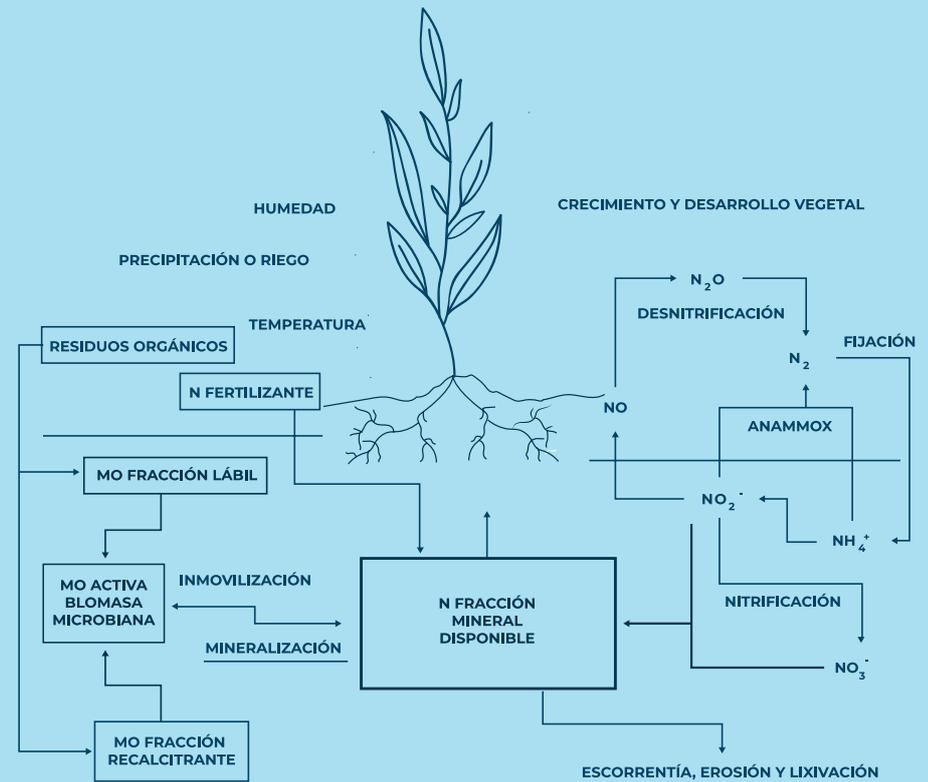


Figura 4.3.-Dinámica de relaciones entre el ciclo del nitrógeno y los compartimientos orgánicos y minerales. Los cuadros blancos son las entradas al sistema y las fracciones disponibles; sin recuadro procesos y factores que tiene influencia en la disponibilidad de nitrógeno (MO: Materia orgánica). (Cerón, L; 2012).



CRITERIOS DE CALIDAD

La calidad de la composta deberá considerarse a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato. En México se ha establecido la Norma Ambiental para el Distrito Federal: NADF-020-AMBT-2012. Esta norma nos define las condiciones del proceso, las características de la composta en su etapa final así como también los límites permisibles para microorganismos y **parásitos** que pueden repercutir a la salud humana (Tabla 7, 8 y 9 Anexo III),

La asignación de la disposición final de la composta, dependerán de las características generales del biosólido.



CINCO

RESOLUCIÓN
DE FALLAS
MÁS COMUNES

Para poder mantener en buen estado una PTAR es importante que el operador conozca:

- Cuál es el objetivo de cada uno de los sistemas.
- Cómo opera un equipo en condiciones normales.
- Cómo reconocer condiciones anormales.
- Las alternativas disponibles para resolver un problema.

Con estos conocimientos un operador capacitado podrá resolver algún problema apoyándose en la comprensión de las condiciones y posibles causas.

CONTROLES

CONDICIÓN	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
BOMBA NO ENCIENDE	Sobrecarga de relevadores, carbón dañado, protector térmico apagado, fusible dañado, alternador dañado, breaker apagado interruptor apagado.	Inspeccionar motores, solicitar electricista.
SOBRECARGA DE MOTORES	Alto uso de amperes.	Observar motores.
CONTACTOS ENTRANTES FALLAN	Contactos sucios en alternador.	Inspección limpieza o reemplazo de contactos.

Tabla 5.1. Alternativas de solución respecto a la condición de los controladores.

BOMBAS

CONDICIÓN	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
SONIDO INUSUAL	Impulsor de succión conectado, alternar bombeo de agua en lugar de lodos.	Alternar bombeo de agua en lugar de lodos, apagar bomba, destapar y limpiar impulsor.
VIBRACIONES	Línea de cebado conectada a la bomba.	Remover y desconectar línea, revisar impulsores por sedimentos.
REDUCCIÓN EN LA TASA DE BOMBEO	Impulsor descompuesto, desgaste de anillos.	Desmontar, reemplazar impulsores.

Tabla 5.2. Alternativas de solución respecto a la condición de las bombas.

**¿SABES QUÉ EL AGUA
QUE SE TRATA
ADECUADAMENTE EN
UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO ES
INYECTADA A MÁS DE
CIEN METROS DE
PROFUNDIDAD AL
ACUÍFERO DE
QUINTANA ROO...**

*...y que, se mueve
debajo de nosotros
hasta llegar al mar?*

SELLOS MECÁNICOS

CONDICIÓN	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
FILTRO TAPADO	Fuga del sello interno; mal soporte del motor y vibraciones causadas por la falla del sello.	Reparar soporte y sellos.

128

Tabla 5.3. Alternativas de solución respecto a la condición de los sellos mecánicos.

MOTORES

CONDICIÓN	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
SONIDO Y/O VIBRACIONES	Aspas de ventilador rotas o dañadas.	Inspeccionar, reparar o reemplazar, si es necesario.
CALENTAMIENTO EN EL FUNCIONAMIENTO	Uso excesivo de grasa, tipo incorrecto de grasa, sobrecarga, falta de grasa.	Revisar las recomendaciones del fabricante y verificar la cantidad y tipo de grasa que se necesita.
ALTO AMPERAJE	Motor de manejo muy ligero para lo requerido, muy baja descarga de presión, impulsor conectado, soporte dañado, desequilibrio de carga, alta o baja condición de voltaje, desalineamiento.	Que coincida el equipo usado con la carga requerida, limpiar y reparar impulsores según lo requerido.

Tabla 5.4. Alternativas de solución respecto a la condición de los motores.

PRE TRATAMIENTO

CONDICIÓN	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
SONIDO Y/O VIBRACIONES	La falta de limpieza frecuente causa que la materia orgánica se establezca en la sección superior.	Limpiar rejillas y enjuagar alcantarilla.
CALENTAMIENTO EN EL FUNCIONAMIENTO	Recolección de residuos no desechadas frecuentemente.	Remover residuos y cubrir con 15 -30 cm de tierra.
FUGA DEBAJO DE LA BASE DEL TRITURADOR	Sello de hule desgastado o no colocado correctamente.	Inspeccionar, ajustar o reemplazar.
ASENTADO ORGÁNICO EN DESARENADO	Flujo muy lento.	Reducción del número de canales usados durante un flujo bajo; Introducir aire a la cámara para mantener organismos suspendidos.

Tabla 5.5. Alternativas de solución respecto a la condición de los procesos del pre tratamiento.

129

TRATAMIENTO BIOLÓGICO

130

CONDICIÓN	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
CLARIFICADOR SOBRENADANTE TURBIO (EFLUENTE)	Desajuste en la tasa de purga de lodos.	Ajustar tasa de lodos a 1.5-3 horas de concentración de asentamiento.
SSLM NEGRO, OLOR SÉPTICO Y SOBRENADANTE TURBIO	No hay suficiente aire, mezcla incompleta localizada en bolsas sépticas.	Revisar y limpiar difusores, incrementar suplemento de aire
SSLM NEGRO Y SOBRENADANTE TURBIO	pH anormal, posiblemente debido a residuos industriales.	Checar pH. Adicionar ácido o bicarbonato de sodio si el pH es bajo. Ver a oficial funcionario de estado y esperar instrucciones.
SSLM ROJIZO Y REGRESO DE LODOS	Sobre aeración	Verificar el OD, si es muy alto reducir aire a tanque de aeración.
LÍQUIDO CAFÉ CLARO Y SÓLIDOS DELGADOS EN TANQUE DE AERACIÓN	Insuficiente regreso de lodos.	Incrementar regreso de tasa de lodos a tanque de aeración.

131

CONDICIÓN	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
MASA DE SÓLIDOS NEGROS OLOROSOS EN CLARIFICADOR	Ocurren condiciones sépticas, porque los sólidos se mantienen mucho tiempo en el clarificador; línea de regreso de lodos posiblemente obstruida. Bordes de tolva del clarificador azolvados.	Revisar línea de regreso de lodos para operar apropiadamente e incrementar el flujo de regreso de lodos.
CONTENIDOS NEGROS DEL TANQUE DE AERACIÓN	Condiciones sépticas.	Incrementar aeración.
EXCESO DE FORMACIÓN DE BURBUJAS EN EL REACTOR	Demasiada cantidad de lodos activados desperdiciados en un tiempo; insuficiente aire al tener varios flujos turbulentos; recuperación de sobrecarga o sobre aeración de condiciones sépticas.	Puede ser controlado hasta eliminación usando un rociador de agua. La solución general es el de dejar de purgar hasta que los sólidos regresen a la normalidad.
ABULTAMIENTO DE LODOS	Bajos niveles de sólidos en el sistema. Fuerte contaminación en drenaje séptico recibido después de múltiples flujos turbulentos y un prolongado secado.	Revisar nivel de asentamiento de sólidos con la prueba de asentamientos. Incremento de gasto de lodos. Incrementar tasa de aire si las pruebas señalan 0.5 mg/L de oxígeno disuelto cerca de la superficie del tanque de sedimentación.

Tabla 5.6. Alternativas de solución respecto a la condición de los procesos del tratamiento biológico.



Algas creciendo encima de un coral (foto: Armando Gasse).



Las Plantas de tratamiento, sin importar el tamaño, deben contar con un programa que incluya los elementos básicos para la prevención de accidentes, incluyendo un programa de seguridad que permita asignar responsabilidades y lograr un mejor rendimiento en la planta.

La seguridad de una planta debe ser incluida desde el diseño del proceso y dentro de cada operación de producción y mantenimiento.

La prevención de accidentes inicia con un buen control de los procedimientos y del ambiente de trabajo, así como del cumplimiento por parte del empleado. El jefe de la planta será quien implemente el programa de seguridad, mismo que debe asegurar las responsabilidades de supervisión y entrenamiento así como, mantener las condiciones de seguridad en el trabajo. El programa de seguridad también debe incluir actividades de servicio médico y primeros auxilios, así como un registro de accidentes y la investigación de éstos.

La descripción del Equipo de Protección Personal (EPP) es indispensable, haciendo énfasis en las labores y actividades en las que debe usarse, así como verificar que los operadores den buen uso al mismo, e informar al supervisor si éste se encuentra dañado o deteriorado. Los equipos de seguridad, deben estar siempre en lugar visible y de fácil acceso para su rápida utilización.



**CASCO DE
SEGURIDAD**



MASCARILLA



GUANTES



**BOTAS
DE HULE**

6.1

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Cualquier equipo con partes móviles y eléctricas, deberá considerarse como potencialmente peligroso. Es muy importante que al detener un equipo, el botón de arranque sea etiquetado, indicando el trabajo que se realizó y el porqué del paro.

Un equipo con movimiento lento, aparentemente no es peligroso, tal es el caso de un sistema de filtros percoladores donde la velocidad con que gira el brazo distribuidor es muy baja; sin embargo, las partes móviles del equipo, pueden causar serios accidentes si se meten las manos o brazos, por lo que las guardas de seguridad siempre deben estar colocadas sobre estas partes del equipo.

La instalación eléctrica debe ser revisada periódicamente para corregir fallas que pueden ser peligrosas, tales como conexiones flojas, cables pelados, etc. Si es necesario suspender la operación de algún equipo para reparar estas fallas, no olvide poner una etiqueta de advertencia para evitar que alguien vaya a encenderlo y causar un accidente. Se debe tener especial cuidado y atención cuando se trabaja en áreas resbalosas, pues cualquier falla puede ser motivo de un serio accidente. Se recomienda que los derrames de aceites y grasas sean removidos inmediatamente.

Trabajar con aguas residuales obliga a tener cuidado por el contagio de infecciones y enfermedades, sobre todo si el agua es de origen doméstico. Por ello, después de realizar cualquier actividad sobre algún equipo de la planta, es indispensable lavarse las manos. El operador deberá llevar como regla general, una higiene personal estricta para evitar su contagio y el de otras personas que convivan con él.

Se mencionan a continuación algunos aspectos particulares de la seguridad en la planta:



REJILLAS

- Manejar adecuadamente el rastrillo con espacio suficiente. Limpiar grasas u otro material que pueda provocar resbalones y utilizar guantes para evitar raspones en las manos. Al terminar, colocar el rastrillo en el lugar indicado.

DESARENADORES

- Mantener limpios los pasillos de acceso evitando resbalones o caídas.

CÁRCAMO DE BOMBEO DE AGUAS CRUDAS

- Remover los guardacoples de las bombas o motores una vez que esté parado el equipo. Remover la grasa excedente que se haya derramado. Reinstalar los guardacoples e iniciar el funcionamiento. Tener bien iluminada esta zona de trabajo para cuando sea necesario trabajar de noche.

SEDIMENTADORES PRIMARIO Y SECUNDARIO

- Al realizar la limpieza de vertedores y cajas de espumas y natas, es necesario asegurar al trabajador con cinturón de seguridad y un salvavidas, además de estar acompañado por otro operador.

DIGESTOR AEROBIO

- Al trabajar en esta área, el operador debe estar siempre acompañado y tener a la mano salvavidas y cuerdas alrededor del tanque. Cuando realice trabajos de limpieza y mantenimiento en esta área, el operador debe estar amarrado con una cuerda a la cintura que a su vez, debe estar sujeta a un punto que le garantice seguridad.

SISTEMA DE CLORACIÓN

- El sistema para la detección de fugas debe ser revisado semanalmente (en el caso de cloración con gas Cl₂), en el caso de ser detectada una fuga, deberá ser reportada al jefe de operación quien atenderá este problema de inmediato con personal especializado.

**DE LOS 653 ACUÍFEROS
QUE EXISTEN EN
MÉXICO, 106 SON
SOBREEXPLOTADOS,
ESPECIALMENTE EN
ZONAS AGRÍCOLAS Y
URBANAS...**

...lo que significa su inminente agotamiento y contaminación, así como problemas en la salud pública, contaminación del suelo y del agua subterránea que interactúa y modifica la composición del agua del mar.



*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activados y Cuerpo Receptor
(foto: Rosa María Loreto).*

EJEMPLO 1**LÍNEA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS**

Durante una prueba de calibración de la bomba de recirculación, el agua de un clarificador de 20 metros de diámetro desciende 15 centímetros en 10 minutos. Calcular la tasa de bombeo de los lodos activados recirculados en m³/min.

DATOS

Diámetro = 20 m
Profundidad = 15 cm
Tiempo = 10 min

INCÓGNITA

Tasa de bombeo en m³/min

SOLUCIÓN

Calcular la tasa de bombeo por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{ÁREA} = \pi \times (d/2)^2 = 3.1416 \times (20/2 \text{ m})^2 = 314.16 \text{ m}^2$$

$$\text{VOL. BOMBEADO} = \text{Área} \times \text{Altura} = 314.16 \text{ m}^2 \times 0.15 \text{ m} = 47.124 \text{ m}^3$$

$$\text{TASA DE LAR} = 47.124 \text{ m}^3 / 10 \text{ min} = 4.71 \text{ m}^3/\text{min}$$

EJEMPLO 2**CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES.**

Calcular la cantidad de nitrógeno necesario en el influente de una planta de tratamiento de aguas residuales con base en los siguientes datos:

INFLUENTE

DBO⁵ 170 mg/l;
NTK = 4.5 mg/l
Q = 1,360 l/s

RELACIONES SUGERIDAS POR PESO: DBO⁵/N = 100/5 = 20

RELACIONES DE PESO ATÓMICO: NH₃/N = 17/14 = 1.2

SOLUCIÓN

1. Calcular la cantidad de nutrientes necesarios para conseguir las relaciones sugeridas con la siguiente ecuación:

Entonces, para el caso del nitrógeno:

$$\text{NUTRIENTES NECESARIOS (mg/l)} = 170/20 = 8.5 \text{ mg/l}$$

2. Calcular la diferencia entre la disponibilidad de nutrientes y la necesidad de nutrientes.

Si el resultado es cero o negativo, no hay deficiencia de nutrientes y por lo tanto no será necesario adicionar.

$$\text{NUTRIENTES EN (mg/l) DEFICIENCIA} = \text{NUTRIENTE (mg/l) NECESARIO} - \text{NUTRIENTE (mg/l) DISPONIBLE}$$

$$\text{N deficiencia, mg/l} = \text{N necesario} - \text{NTK}$$

$$\text{N deficiencia, mg/l} = 8.5 - 4$$

$$= 4.0 \text{ mg/l}$$

3. Calcular el peso de nutrientes que es necesario adicionar

NUTRIENTE A ADICIONAR (kg/d) = N deficiencia x flujo

$$\begin{aligned} \mathbf{N \text{ A ADICIONAR}} &= (4 \text{ mg/l}) \times (1360 \text{ l/s}) \times (0.0864) \\ &= \mathbf{470 \text{ kg/d}} \end{aligned}$$

4. Calcular el peso del compuesto químico comercial a adicionar por día, por deficiencia de nutriente.

Para el amoníaco la solución es de grado comercial con concentración del 80 % Amoniaco,

$$\mathbf{AMONIACO, \text{ kg/d} = \frac{(470) \times (1.2) \times (100)}{80} = 705 \text{ kg/d}}$$

EJEMPLO 3

SEDIMENTABILIDAD DE LOS LODOS

Determinar la tasa de recirculación de lodos como porcentaje del flujo entrante en m³/min cuando se tiene un flujo de entrada (Q) de 20 m³/min y el volumen de lodo sedimentado en 30 minutos (VS) es de 300 ml/l.

DATOS

Q entrada = 20 m³/min
VS = 300 ml/l

INCÓGNITA

Tasa de LAR como porcentaje del flujo de entrada (R)

SOLUCIÓN

Calcular la tasa de LAR como porcentaje del flujo de entrada con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{R = 0.428 \times 20 \text{ m}^3/\text{min} = 8.56 \text{ m}^3/\text{min}}$$

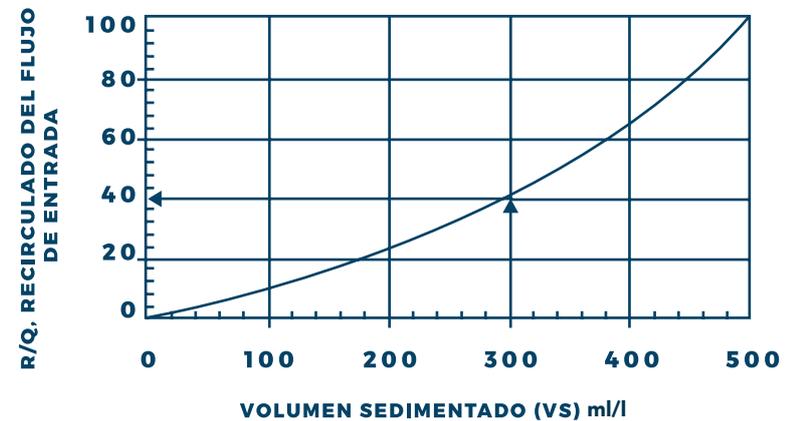


Figura 7.1. Porcentaje del flujo de entrada recirculado en función del volumen sedimentado

EJEMPLO 4**ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)**

Determinar la tasa de recirculación de lodos activados como porcentaje del flujo entrante cuando éste es de 20 m³/min. Los sólidos suspendidos en el licor mezclado son de 2000 mg/l y el IVL es de 120 ml/g.

144

DATOS

Flujo entrante = 20 m³/min
SSLM= 2000 mg/l
IVL = 120 ml/g

INCÓGNITA

Tasa de recirculación de lodos en m³/min
Tasa de recirculación de lodos como % del influente

SOLUCIÓN

Calcular la tasa de LAR basada en el IVL con la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN LAR, mg/l}}{1000000} = \frac{1000000}{\text{IVL}}$$

$$\frac{\text{CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN LAR, mg/l}}{120} = \frac{1000000}{1000000}$$

Concentración sólidos suspendidos en LAR = **8333 mg/l**

Calcular el flujo de LAR basado en el IVL con la ecuación siguiente:

$$\text{TASA DE LAR (m}^3\text{/min)} = \frac{\text{Flujo de entrada m}^3\text{/min} \times \text{SSLM mg/l}}{\text{Sólidos Suspendidos en LAR mg/l} - \text{SSLM mg/l}}$$

$$\text{TASA DE LAR (m}^3\text{/min)} = \frac{20 \times 2000}{8333 - 2000}$$

$$\text{TASA DE LAR} = \mathbf{6.3 \text{ m}^3\text{/min}}$$

Calcular el % de LAR con respecto al flujo de entrada con la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{FLUJO DE LAR (\%)}}{100} = \frac{\text{Flujo de LAR m}^3\text{/min} \times 100}{\text{Flujo de entrada m}^3\text{/min}}$$

$$\frac{\text{FLUJO DE LAR (\%)}}{100} = \frac{6.3 \times 100}{20}$$

$$\text{FLUJO DE LAR} = \mathbf{31.5\%}$$

145

EJEMPLO 5

CONTROL POR MEDIO DE LA RELACIÓN F/M

Determinar la relación A/M para una planta de lodos activados que es alimentada con un influente que tiene una DQO de 100 mg/l, un flujo de 30,000 m³/día y 15,000 kg de sólidos en el tanque de aeración. Considerar que 70% de los SSLM son materia volátil. Todos los valores están calculados con base en promedios móviles de 7 días.

146

DATOS

Flujo entrante: 30,000 m³/día
DQO: 100 mg/l
Sólidos en el tanque de aeración: 15,000 kg
Materia volátil como porcentaje de los SSLM: 70%

INCÓGNITA

A/M, kg DQO/kg SSVLM/d

SOLUCIÓN

Calcular la relación alimento / microorganismos

$$A / M = \frac{\text{Flujo} \times \text{DQO}}{\text{SSLM} \times \text{Fracción volátil}}$$

$$A / M = \frac{30000 \text{ m}^3/\text{d} \times 100 \text{ mg/l} \times 0.001}{15000 \times 0.70}$$

$$A / M = 0.28 \text{ kg DQO/kg SSVLM-d}$$

El siguiente ejemplo mostrará como calcular la tasa de purga a partir del valor de la relación A/M

Determinar la tasa de purga usando la relación A/M como técnica de control. El flujo de entrada al sistema de lodos activado es de 30,000 m³/día, el volumen total del tanque de aeración es de 4,500 m³, la DQO del agua es de 100 mg/l, la concentración de SSLM es de 3,500 mg/l, con 70% de materia volátil, la concentración de los sólidos suspendidos en la recirculación es de 6,300 mg/l y el A/M deseado es de 0.29. La tasa de purga de lodos es de 320 m³/d.

147

DATOS

Flujo entrante = 30,000 m³/día
Volumen del tanque = 4,500 m³
DQO = 100 mg/l
SSLM = 3,500 mg/l
Fracción volátil = 0.70
Sólidos suspendidos en la recirculación = 6,300 mg/l
A/M deseada = 0.29 kg DQO/kg SSVLM/d
Tasa de purga de lodos actual = 320 m³/d

INCÓGNITA

Tasa de purga de lodos nueva, m³/d

SOLUCIÓN

1. Determinar la DQO aplicada en kg por día

$$\begin{aligned} \text{DQO (kg/d)} &= \text{flujo (m}^3/\text{d)} \times \text{DQO (mg/l)} \times 0.001 \text{ (kg/m}^3/\text{mg/l)} \\ &= 30,000 \text{ m}^3/\text{d} \times 100 \text{ mg/l} \times 0.001 \\ &= \mathbf{3,000 \text{ kg DQO/d}} \end{aligned}$$

2. Determinar los kg deseados de SSVLM.

$$\text{kg DE SSVLM} = \frac{\text{DQO aplicada (kg/d)}}{\text{A/M (kg DQO/kg SSVLM/d)}}$$

$$\text{kg DE SSVLM} = \frac{3000 \text{ (kg/d)}}{0.29 \text{ (kg DQO/kg SSVLM/d)}}$$

$$\text{kg DE SSVLM} = \mathbf{10,345 \text{ kg}}$$

3. Determinar los SSLM deseados.

$$\begin{aligned} \text{SSLM (kg)} &= \text{SSVLM/fracción volátil} \\ &= 10,345/0.70 \end{aligned}$$

$$\text{SSLM} = \mathbf{14,778 \text{ kg}}$$

4. Determinar los SSLM actuales en el tanque de aeración.

$$\begin{aligned} \text{SSLM ACTUALES} &= V \text{ del tanque (m}^3\text{)} \times \text{SSLM (mg/l)} \\ &\quad \times 0.001 \text{ (kg/m}^3\text{/mg/l)} \\ &= 4,500 \text{ m}^3 \times 3,500 \text{ mg/l} \times 0.001 \end{aligned}$$

$$\text{SSLM ACTUALES} = \mathbf{15,750 \text{ kg}}$$

5. Calcular el flujo de purga adicional para mantener la relación A/M deseada

$$\begin{aligned} \text{TASA DE PURGA ADICIONAL} &= \frac{\text{Sólidos actuales (kg)} - \text{Sólidos deseados (kg/día)}}{\text{Conc. de sólidos en la purga (mg/l)} \times 0.001 \text{ (kg/m}^3\text{/mg/l)}} \\ &= \frac{15750 - 14778}{6300 \times 0.001} \\ &= \frac{972 \text{ kg de sólidos removidos por día}}{6.3} \\ &= \mathbf{154 \text{ m}^3\text{/d}} \end{aligned}$$

6. Calcular la tasa de purga total

$$\begin{aligned} \text{TASA DE PURGA TOTAL ADICIONAL} &= \text{TASA DE PURGA ACTUAL} + \text{TASA DE PURGA} \\ \text{TASA DE PURGA TOTAL} &= 320 \text{ m}^3\text{/d} + 154 \text{ m}^3\text{/d} \\ \text{TASA DE PURGA TOTAL} &= \mathbf{474 \text{ m}^3\text{/día}} \end{aligned}$$

EJEMPLO 6**TIEMPO MEDIO DE
RETENCIÓN CELULAR,
TMRC**

Determinar la tasa de purga de lodo utilizando la técnica del TMRC. El flujo de influente es de 30,000 m³/d, el volumen total del tanque de aeración es de 4,500 m³, la concentración de SSLM es de 3,500 mg/l, la concentración de sólidos suspendidos en la recirculación es de 6,300 mg/l, la concentración de sólidos en el efluente es de 15 mg/l y el TMRC deseado es de 8 días.

DATOS

Flujo entrante = 30,000 m³/día
Volumen del tanque = 4,500 m³
SSLM = 3,500 mg/l
SS en la recirculación = 6,300 mg/l
SS en el efluente = 15 mg/l
TMRC deseado = 8 días

INCÓGNITA

Tasa de purga de lodos (m³/d)

SOLUCIÓN

1. Determinar los sólidos suspendidos en el tanque de aeración.

$$\text{SSLM} = V_{\text{tanque}} (\text{m}^3) \times \text{SSLM} (\text{mg/l}) \times 0.001 (\text{kg/m}^3/\text{mg/l})$$

$$\text{SSLM} = 4,500 \text{ m}^3 \times 3,500 \text{ mg/l} \times 0.001 = \mathbf{15,750 \text{ kg}}$$

2. Determinar los sólidos suspendidos perdidos en el efluente por día.

$$\text{SS PERDIDOS/DÍA} = \text{Flujo entrante} (\text{m}^3/\text{d}) \times \text{SS Efluente} (\text{mg/l}) \times 0.001 (\text{kg/m}^3/\text{mg/l})$$

$$= 30,000 \text{ m}^3/\text{día} \times 15 \text{ mg/l} \times 0.001 (\text{kg/m}^3/\text{mg/l})$$

$$\text{SS PERDIDOS/DÍA} = \mathbf{450 \text{ kg/d}}$$

3. Determinar la cantidad deseada de sólidos suspendidos purgados al día

$$\text{SS PURGADOS} = \frac{\text{SS en Tqe de aer} (\text{kg})}{\text{TMRC}} - \text{SS en el efluente} (\text{kg/d})$$

$$\text{SS PURGADOS} = \frac{15,750}{8 \text{ d}} - 450 \text{ kg/d}$$

$$\text{SS PURGADOS} = \mathbf{1519 \text{ kg/d}}$$

4. Determinar la tasa de purga de lodos

$$\text{TASA DE PURGA DE LODOS} (\text{m}^3/\text{día}) = \frac{\text{Sólidos Suspendidos purgados} (\text{kg/d})}{\text{SS en la recirculación} (\text{mg/l}) \times 0.001 (\text{kg/m}^3/\text{mg/l})}$$

$$\text{TASA DE PURGA DE LODOS} = \mathbf{241 \text{ m}^3/\text{d}}$$

EJEMPLO 7**BALANCE DE SÓLIDOS EN LA RECIRCULACIÓN Y EN LA PURGA DE LODOS****7.1. PURGA CONTINUA**

Una planta de lodos activados purga normalmente 2.8 l/s de lodos. Los SSV en la recirculación en el día 1 fueron de 6,000 mg/l y en el día 2 (día siguiente) los SSV se incrementaron a 7,500 mg/l. Determinar el ajuste en la tasa de purga basado en el cambio de los SSV en la recirculación.

DATOS

Tasa de purga = 2.8 l/s
 SSV en la recirculación = 6,000 mg/l (día 1)
 SSV en la recirculación = 7,500 mg/l (día 2)

INCÓGNITA

Ajuste en el flujo de purga en l/s

SOLUCIÓN

1. Calcular el ajuste en la purga de lodos activados

$$\text{AJUSTE EN LA PURGA} = \frac{\text{SSV1 recirculación (mg/l)} \times \text{flujo de purga (l/s)}}{\text{SSV2 recirculación (mg/l)}}$$

$$\text{AJUSTE EN LA PURGA} = \frac{6000 \text{ mg/l} \times 2.8 \text{ l/s}}{7500 \text{ mg/l}}$$

$$\text{AJUSTE EN LA PURGA} = 2.24 \text{ l/s}$$

7.2. PURGA INTERMITENTE

El periodo de purga de una planta es de 4 horas al día y el flujo de purga calculado es de 1.75 l/s. Calcular el flujo de purga para el periodo de 4 horas.

DATOS

Flujo de purga = 1.75 l/s
 Tiempo de purga = 4 h/d

INCÓGNITA

Flujo de purga para el periodo de 4h por día (l/s)

SOLUCIÓN

Determinar el flujo de purga para un periodo de purga intermitente de 4h/d.

$$\text{NUEVO FLUJO DE PURGA (l/s)} = \frac{\text{flujo de purga (l/s)} \times 24 \text{ h/d}}{4 \text{ h/d}}$$

$$\text{NUEVO FLUJO DE PURGA (l/s)} = \frac{1.75 \times 24 \text{ h/d}}{4 \text{ h/d}}$$

$$\text{NUEVO FLUJO DE PURGA (l/s)} = 10.5 \text{ l/s}$$

**EL SISTEMA ARRECIFAL
MESOAMERICANO
(SAM) ES UN CONJUNTO
DE ARRECIFES DE CORAL
DEL CARIBE EN MÉXICO,
BELICE, GUATEMALA Y
HONDURAS; CON
APROXIMADAMENTE
1000 KILÓMETROS DE
LARGO.**

En 1997, los dirigentes de estos países firmaron un acuerdo para su conservación, reunidos en Tulum a instancias de las asociaciones The Nature Conservancy y Amigos de Sian Ka'an.

EJEMPLO 8

CONCENTRACIÓN DE SSV
EN EL LICOR MEZCLADO

Una planta con un tanque de aeración de 4,500 m³ tiene una concentración de SSLM de 3,300 mg/l. La concentración de los SS recirculados es de 6,300 mg/l. La fracción volátil de ambos sólidos es de 0.70. La experiencia ha mostrado que la cantidad adecuada de SSVLM en el tanque de aeración es de aproximadamente 9,500 kg. Determinar la tasa de purga de lodos necesaria si la tasa de purga actual es de 6.5 l/s.

154

DATOS

Volumen del tanque = 4,500 m³
 SSLM = 3,300 mg/l
 SS recirculación = 6,300 mg/l
 Fracción volátil = 0.70
 Cantidad de SSVLM deseada =
 9,500 kg
 Flujo de purga actual = 6.5 l/s

INCÓGNITA

Flujo de purga nuevo (l/s)

SOLUCIÓN

1. Determinar la cantidad de SSVLM presentes en el tanque de aeración

$$\text{SSVLM ACTUALES} \times 0.001 \text{ (kg/m}^3\text{/mg/l)} = \text{Vol. tanque (m}^3\text{)} \times \text{SSLM (mg/l)} \times \text{fracción volátil (3.18)}$$

$$\text{SSVLM} = 4,500 \text{ m}^3 \times 3,300 \text{ mg/l} \times 0.70 \times 0.001 \text{ (kg/m}^3\text{/mg/l)}$$

$$\text{SSVLM} = 10,395 \text{ kg}$$

2. Determinar los kg de SSVLM que deben ser purgados

$$\text{SSVLM A PURGAR} = \text{SSVLM actuales (kg)} - \text{SSLM deseados (kg)}$$

$$\text{SSVLM A PURGAR} = 10,395 \text{ kg} - 9,500 \text{ kg}$$

$$\text{SSVLM A PURGAR} = 895 \text{ kg A PURGAR POR DÍA}$$

3. Determinar el flujo de purga adicional

$$\text{FLUJO DE PURGA ADICIONAL (m}^3\text{/d)} = \frac{\text{Cantidad de purga (kg/día)}}{\text{SS en recirc. (mg/l)} \times \text{Fracc vol.} \times 0.001 \text{ (kg/m}^3\text{/mg/l)}}$$

$$\text{FLUJO DE PURGA ADICIONAL (m}^3\text{/d)} = \frac{895 \text{ kg/día}}{6300 \text{ mg/l} \times 0.70 \times 0.001 \text{ (kg/m}^3\text{/mg/l)}}$$

$$\text{FLUJO DE PURGA ADICIONAL (m}^3\text{/d)} = 203 \text{ m}^3\text{/d} \times 0.00116 \text{ lps/m}^3\text{/d}$$

$$\text{FLUJO DE PURGA ADICIONAL (m}^3\text{/d)} = 2.4 \text{ l/s}$$

4. Determinar el flujo de purga deseado

$$\text{FLUJO DE PURGA DESEADO} = \text{FLUJO ACTUAL} + \text{FLUJO ADICIONAL}$$

$$\text{FLUJO DE PURGA DESEADO} = 6.5 \text{ l/s} + 2.4 \text{ l/s}$$

$$\text{FLUJO DE PURGA DESEADO} = 8.9 \text{ l/s}$$

155

PRÁCTICA 1

MEDICIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

Una de las claves para mantener estable una planta de tratamiento de aguas de lodos activados, es mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto de alrededor de 2 mg/l en el tanque de aeración o reactor biológico. El aire se puede hacer llegar al reactor biológico principalmente por 2 medios, sopladores y difusores o aireadores superficiales.

Para poder controlar este parámetro se necesita un cronómetro y un timer que controle la operación del soplador. La cantidad de OD necesaria para el proceso varía a lo largo del día, esto es debido a que los flujos que entran a la planta no son constantes.

Las mediciones de OD deben de ser tomadas a las 8 am. Según los resultados se tienen que realizar los ajustes pertinentes. Si los valores de OD son:

Arriba de 4.0 mg/l, se debe de reducir el aire en la noche

Debajo de 1.0 mg/l, se debe incrementar el aire en la noche Un esquema de control para el aireador sería el siguiente:

7 AM - 9 PM	El soplador o aireador debe mantenerse prendido todo el tiempo
9 PM - 2 AM	15 min prendido, 10 min apagado
2 AM - 7 AM	10 min prendido, 10 min apagado

El régimen anterior se debe ajustar según el volumen de entrada a la planta, aumentando o disminuyendo el tiempo del aireador o soplador prendido.

Es importante que los lodos se eliminen periódicamente para mantener un balance adecuado en la planta. Se puede analizar cuánto se debe desechar, a partir de las pruebas de sedimentabilidad y cantidad de lodos.

CLARIFICADOR SECUNDARIO Y RETORNO DE LODOS ACTIVADOS

Es importante mantener condiciones calmadas en el clarificador secundario para que los lodos se puedan sedimentar. Dos cosas que pueden afectar estas condiciones:

- 1** Si la tasa de retorno de lodos es muy grande, el lodo en el fondo se puede alterar, flotar y escaparse por los vertederos.
- 2** Si la planta está operando cerca de su capacidad máxima hidráulica, el tiempo que el agua permanece en el clarificador es muy corto ocasionando turbulencias.

El retorno de los lodos puede ser continuo o de manera intermitente.

Se debe tener mucho cuidado de no bombear el lodo muy rápido, para evitar que quede una capa de lodo muy delgada o que este flote. Pero también no debe de ser muy lento, para evitar que se acumulen los lodos.

PRÁCTICA 2

ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO Y PRUEBA DE SEDIMENTABILIDAD

En esta práctica se buscará encontrar el índice volumétrico de lodos (IVL), un parámetro que nos da información acerca de las características de la sedimentación del lodo activado y también nos indica la estabilidad del proceso. El IVL también se utiliza para controlar la tasa de recirculación.

También se realizará la prueba de sedimentabilidad, el cual se emplea para evaluar las características de la sedimentación del lodo y para calcular la tasa de recirculación. Cuando se termine de realizar esta prueba se podrá obtener información relacionada con el volumen de lodo sedimentado a diferentes intervalos de tiempo, el cual servirá para confrontar los análisis con el monitoreo visual.

158

SITIO DE MUESTREO

Esta prueba se hace con los lodos activados del tanque de aeración. Es necesario realizar la toma de la muestra en un punto en el tanque de aeración antes de la salida hacia el sedimentador, pero nunca dentro de ellos. Tomar la muestra con un recipiente de boca ancha y evitar

agitarla durante el traslado. La muestra no se debe preservar, por lo que se recomienda hacer el análisis a la brevedad posible.

EQUIPO Y MATERIAL

- Probeta de 1000 ml (8 a 8.5 cm de diámetro)
- Cinta adhesiva
- Marcador indeleble, lápiz y regla
- Hojas milimétricas
- Varilla de vidrio de 40 cm
- Muestra de lodos del tanque de aeración y de la recirculación
- Muestra de agua tratada del sedimentador secundario
- Recipiente de boca ancha y paleta de mezclado
- Cronómetro

159

PROCEDIMIENTO

- Tome una muestra de los lodos del tanque de aeración en el recipiente de boca ancha.
- Vierta la muestra en la probeta hasta los 1000 ml.
- Agite la probeta, introduciendo la varilla de vidrio hasta 1/3 del volumen de la probeta y agitando suavemente hasta homogeneizar la muestra.
- Coloque la probeta en una superficie plana. En este momento se inicia el registro del tiempo.
- A los 30 minutos registre el volumen ocupado por los lodos y anótelos en la siguiente tabla:

PRUEBA DE SEDIMENTABILIDAD DEL LODO

Los resultados de esta prueba se deben tomar con cautela, ya que la probeta no refleja las condiciones reales del sedimentador secundario.

- 1** • Realice la prueba en un sitio libre de vibraciones y lejos de la luz del sol.
- 2** • Mezcle con cuidado la muestra y vacíela en la probeta de 1 litro, evitando turbulencias. Mezcle suavemente con una paleta ancha para asegurar una mezcla completa, posteriormente retire la paleta.
- 3** • Registre las observaciones de la forma en que sedimenta el lodo y del aspecto del sobrenadante (transparente o turbio, flotación de lodos, burbujas de gas, etcétera).
- 4** • Registre el volumen de lodo sedimentado cada cinco minutos durante los primeros 30 minutos en la Tabla 7.1. La observación a los 30 minutos es el valor más importante, necesario para el control del proceso.

PRUEBA DE SEDIMENTABILIDAD DE LODO ACTIVADO			
TIEMPO (MIN)	VOLUMEN DE LODO SEDIMENTADO (ml/l)	TIEMPO (MIN)	VOLUMEN DE LODO SEDIMENTADO (ml/l)
0	100	35	
5		40	
10		45	
15		50	
20		55	
25		60	
30			

ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS			
VOLUMEN DE SÓLIDOS SEDIMENTADOS		SSTLM (mg/l)	IVL (ml/g)
30 MIN			

Tabla 7.1. Datos de Sedimentabilidad e Índice Volumétrico de Lodos.

5 Continúe registrando las lecturas de lodo sedimentado hasta que cambien muy poco entre lecturas. Si la sedimentación de lodo es muy lenta (volumen de lodo sedimentado a los 5 minutos es mayor de 900 ml), continúe realizando las lecturas a los 90, 120, 150, 180 y 240 minutos de ser necesario.

6 Después de que las lecturas hayan sido realizadas, deje reposar las muestras por varias horas más. Registre el tiempo en que el lodo sedimentado suba a la superficie de la probeta.

7 Cuando existan dudas acerca de si el lodo sedimenta lentamente debido a que se encuentra abultado o simplemente porque es espeso, realice tres pruebas de sedimentabilidad simultáneamente.

Se recomienda hacerlas con:

- Licor mezclado sin dilución
- 50% de licor mezclado y 50% del efluente tratado
- 25% de licor mezclado y 75% del efluente tratado

CÁLCULOS

Índice volumétrico de lodos (IVL)

- 1 Determine la concentración de sólidos en la probeta.
- 2 Efectúe el cálculo del IVL sustituyendo en la siguiente relación:

$$\text{IVL (ml/g)} = \frac{\text{Volumen de Sólidos Sedimentados a los 30 min (ml/l)}}{\text{Sólidos Suspendedos Totales del Licor Mezclado (g/l)}}$$

- 3 El resultado final se redondea a múltiplos de 10 con el propósito de compensar los errores inherentes al procedimiento.

INTERPRETACIÓN DE LA SEDIMENTABILIDAD DEL LODO

Determine el comportamiento de la sedimentabilidad del lodo. Grafique tiempo (eje X) contra volumen de lodo sedimentado (eje Y).

Ejemplo:

- 1 En la Figura 7.2 se presentan una familia de curvas de lodo sedimentado para tres diferentes tipos de lodos activados a concentraciones similares de licor mezclado. Determine el tipo de sedimentación del lodo.
- 2 En la siguiente gráfica se presentan a manera de guía, las características de las tres curvas de sedimentación.
- 3 Compare las observaciones del comportamiento del lodo en el equipo de sedimentación (Tabla 7.2) con las observaciones del monitoreo visual en el proceso lodos activados.

El operador de la planta deberá familiarizarse con su propio proceso de lodos activados y reconocer las características particulares que le indiquen un buen funcionamiento del proceso.

SEDIMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
NORMAL	El lodo puede alcanzar en 5 minutos de 800 a 500 ml/l y al cabo de 60 minutos el lodo debe haber sedimentado por completo.
RÁPIDA	Normalmente se encuentra debajo de 500 ml/l en los primeros 5 minutos y generalmente alcanza su menor volumen en menos de 1 hora.
LENTA	Se puede presentar un volumen de lecho de 800 ml/l o más después de 5 minutos y no sedimenta por debajo de 800 ml/l en 60 minutos.

Tabla 7.2. Características de la sedimentación

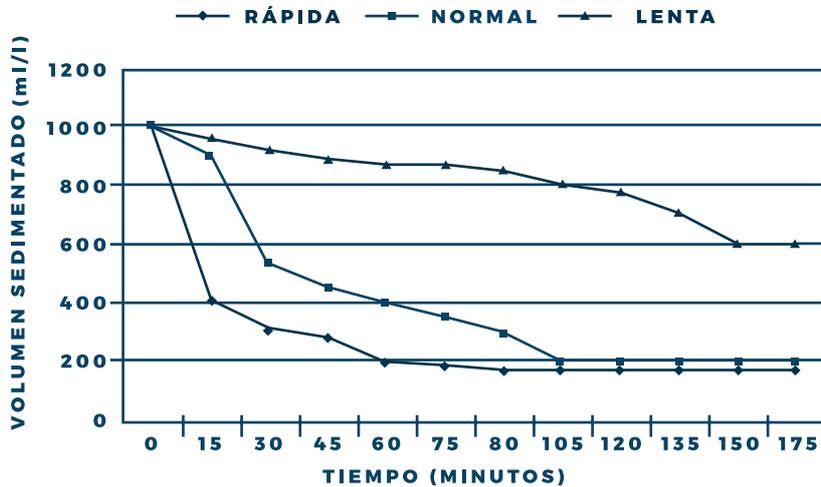


Figura 7.2 Familia de curvas para la prueba de sedimentabilidad de lodos.

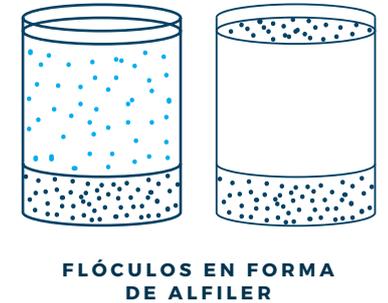
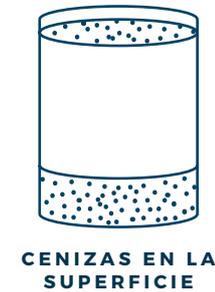
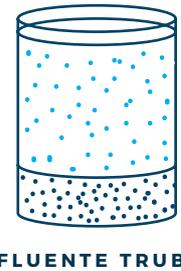
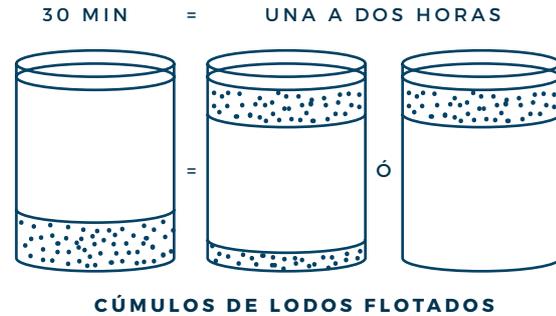


Figura 7.3 Representación de los problemas observados con más frecuencia en la prueba de sedimentabilidad

PRÁCTICA 3

MEDICIÓN DE LA CAMA DE LODOS INTRODUCCIÓN

Un clarificador secundario puede dividirse en 3 áreas: a) área clara libre en sólidos, b) área con flóculos dispersos los cuales sedimentan y se depositan en el fondo, y c) área que contiene los sólidos que han sido separados del licor mezclado para formar la cama de lodos. Generalmente la cama de lodos es una capa completamente homogénea y como criterio se debe de considerar esta cama como máximo 1/3 de la parte recta del sedimentador secundario. La profundidad varía muy poco de un día para otro cuando la operación de la planta es estable.

La profundidad del lecho de lodos es la distancia medida desde el espejo de agua al nivel superior de la cama. La cama sedimentada es la distancia del nivel superior de la cama de lodos al fondo del clarificador. La medición de la profundidad del lecho permite al operador anticipar problemas, lo cual es importante en la toma de decisiones relacionadas con el ajuste en la recirculación y purga de lodos. El método más usado para medir la profundidad de una cama de lodos es usando las miras de vidrio y el juez de lodos.

EQUIPO Y MATERIAL

- Juez de lodos
- Guantes de látex
- Palo grueso de madera con altura similar al sedimentador secundario
- Tela blanca o gasa de algodón
- Cuerda

PROCEDIMIENTO

- Determine el punto en el sedimentador secundario donde la profundidad sea igual a la profundidad promedio del clarificador.
- En la Figura 7.4 se indica al 1/3 del centro hacia la pared del sedimentador.
- Sumerja lentamente el juez de lodos en el agua hasta alcanzar el fondo.
- Cuando el juez de lodos llegue al fondo levante el tubo para retirarlo Figura 7.4 Medición de la cama de lodos. del clarificador. La válvula se cerrará automáticamente y quedará un núcleo de muestra en el tubo.

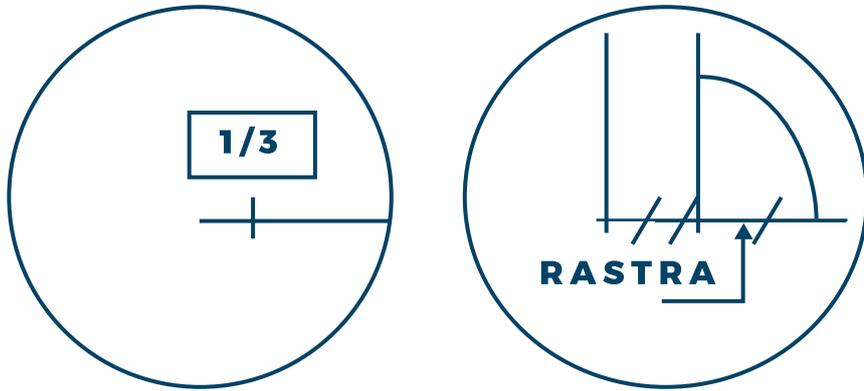


Figura 7.4 Medición de la cama de lodos.

MÉTODO ALTERNATIVO

En la mayoría de las plantas de tratamiento no se cuenta con el equipo mencionado anteriormente, por lo que una forma práctica de medir la altura de la cama de lodos es la siguiente:

- Utilice un palo de madera, de una longitud equivalente a la altura del sedimentador, al que se le engrapa o amarra tela blanca hasta una altura de 2 m aproximadamente y se marca cada medio metro.
- Baje el palo con la tela blanca lentamente, hasta el fondo del sedimentador.
- Después de 1 minuto sáquelo lentamente (lavar la tela después de cada medición).

CHECKLIST DE AUTOEVALUACIÓN				
NOMBRE DE LA PLANTA:				
TIPO DE TRATAMIENTO:				
CAPACIDAD DISEÑO:		CAPACIDAD ACTUAL:		
TIEMPO DE RETENCIÓN:		PERSONAL DE OPERACIÓN:		
NO.	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL	SÍ	NO	OBSERVACIONES
1	¿La planta cuenta con manuales y procedimientos de operación?			
2	¿Se cuentan con registros y/o bitácoras de operación?			
3	¿Se cuentan con programa de mantenimiento, registros, órdenes de trabajo y/o bitácoras de mantenimiento preventivo y correctivo?			
4	¿Se cuenta con respaldo de los equipos críticos de la operación de la planta (bombas, sopladores, aireadores, difusores, etc.)?			
5	¿Se cuenta con registros de la capacitación y adiestramiento del personal para la operación adecuada de la planta (certificados, listas de asistencia a cursos, constancias)?			
6	¿Se cuenta con un programa de control operacional de las variables más importantes? ¿Que variables son monitoreadas? ¿Se cuenta con registros?			

NO.	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL			OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
7	¿Se realiza la verificación periódica de la calidad del efluente? ¿Qué parámetros son analizados? ¿Se cuenta con registro de los resultados?			
8	¿Se cuenta con dispositivos de medición del caudal y accesos de muestreo que permitan verificar el volumen y la concentración de contaminantes en la descarga de agua?			
9	¿El efluente producido es reutilizado dentro de las actividades del hotel? ¿En que actividades?			
10	¿El efluente producido es descargado sobre aguas y/o bienes nacionales?			
11	¿Se cuenta con permiso vigente otorgado por la CONAGUA para la descarga del efluente sobre aguas y/o bienes nacionales?			
12	¿Se respeta el volumen de descarga permitido que se establece en el permiso de descarga con que se cuenta?			
13	¿Se presenta ante CONAGUA, los reportes de caracterización del agua residual que es descargada sobre aguas y/o bienes nacionales?			
14	¿La descarga de agua residual sobre aguas y/o bienes nacionales cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y/o su permiso de descarga?			

NO.	BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL			OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
15	¿El estudio de caracterización de la descarga de agua residual es realizado por un laboratorio certificado y acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA)? ¿Qué laboratorio?			
16	¿Los lodos generados por el sistema de tratamiento son estabilizados? ¿Qué tratamiento reciben?			
17	¿Qué disposición final reciben los lodos generados por el sistema? ¿Son dispuestos en cumplimiento a la normatividad y de acuerdo a sus			
18	¿Se cuenta con análisis de caracterización de los lodos biológicos generados (CRIT)?			
19	¿El agua producida por el escurrimiento de los lodos y los lixiviados generados en la estabilización de los mismos, reciben tratamiento antes de su descarga?			
20	¿Se cuentan con procedimientos de emergencia (fallas en el equipo mecánico, derrames accidentales, huracanes, incendios, etc.)?			

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

Existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son indispensables para salvaguardar la calidad de la descarga de agua. Estas normas son de carácter oficial, por lo que todas las PTAR deben cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) que se establecen en ellas. Estas NOM son las siguientes:

174

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM - 001 - SEMARNAT - 2021

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM - 002 - SEMARNAT - 1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM - 003 - SEMARNAT - 1997

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM - 004 - SEMARNAT - 2002

Establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para el aprovechamiento y disposición final de lodos y biosólidos.

MULTAS Y SANCIONES

El no cumplir con las NOM antes mencionadas equivale a multas y sanciones las cuales se señalan en la Ley de Aguas Nacionales (LAN).

Conforme a la LAN y su reglamento, se debe realizar un monitoreo continuo de la calidad de las aguas y control de las descargas de aguas residuales

El artículo 92 establece:

Ordenará la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, cuando:

II. La calidad de las descargas que no se sujeten a las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, y a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en la LAN y sus reglamentos.

El artículo 96 Bis 1, señala que las personas físicas o morales que descarguen aguas residuales en violación a las disposiciones legales aplicables, y que causen contaminación en un cuerpo receptor, asumirán la responsabilidad de reparar o

compensar el daño ambiental causado mediante la remoción de los contaminantes del cuerpo receptor afectado y restituirlo al estado que guardaba antes de producirse el daño.

De igual forma, cuando no se cumple con estas especificaciones, se aplican sanciones por incumplimiento, como la mencionada en el, artículo 119 de la LAN, es decir multas equivalentes de 1,500 a 20,000 días de salario mínimo en el momento en el que se comete la infracción.

175

El Código Penal Federal, en su artículo 416, establece que se impondrá pena de uno a nueve años de prisión y de trescientos a tres mil días multa, al que ilícitamente descargue, deposite, o infiltre, lo autorice u ordene, aguas residuales, líquidos químicos o bioquímicos, desechos o contaminantes en los suelos, subsuelos, aguas marinas, ríos, cuencas, vasos o demás depósitos o corrientes de agua de competencia federal, que cause un riesgo de daño o dañe a los recursos naturales, a la flora, a la fauna, a la calidad del agua, a los ecosistemas o al ambiente. Cuando se trate de aguas que se encuentren depositadas, fluyan en o hacia una área natural protegida, la prisión se elevará hasta tres años más y la pena económica hasta mil días multa.

El Artículo 420 Bis señala que se impondrá pena de dos a diez años de prisión y por el equivalente de trescientos a tres mil días multa, a quien ilícitamente dañe, deseque o rellene humedales, manglares, lagunas, esteros o pantanos, así como que cause daño a los arrecifes.

ANEXO I: NOM-001-SEMARNAT-2021

La actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 ha sido un logro relevante dentro del marco regulatorio del sector ambiental. Ésta tiene como antecedente la NOM-001-SEMARNAT-1996, norma que fue ratificada en su primera revisión quinquenal (2002) para dar oportunidad a los sujetos regulados a cumplir con ella. Cuando se creó la norma, se consideró debía revisarse cada 5 años, de acuerdo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, de esta forma se permitiría establecer parámetros más estrictos y descargar aguas residuales menos contaminadas, en línea con los propósitos del desarrollo sustentable. Finalmente, el 27 de agosto del 2021, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COMARNAT) aprobó la próxima publicación de esta Norma, en el Diario Oficial de la Federación, resultado del trabajo de diversas organizaciones civiles y el sector académico que se sumaron a estos esfuerzos aportando información técnica para lograr la actualización.

Puesto que el objeto de la Norma es establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación, su aplicación tiene un impacto directo en la cantidad y la calidad de las fuentes de agua y, por lo tanto, un impacto directo en uno de los elementos que conforman al medio ambiente y que es elemento fundamental para desarrollar una vida sana y digna, no sólo un insumo para el crecimiento económico.

Las principales adecuaciones que tengan que hacerse en la industria hotelera en el Caribe Mexicano, para la aplicación de la NOM-001-SEMARNAT-2021, ya sea en los procesos que generan o tratan aguas residuales, se centran en la reducción de parámetros que se medirán más estrictamente: a) patógenos, como *Escherichia coli* y coliformes fecales; b) metales pesados; c) grasas, aceites y sólidos suspendidos totales; d) demanda química de oxígeno (DQO). Existe la posibilidad de que la industria turística deba invertir en adecuar sus trampas de grasas y plantas de tratamiento para cumplir con esos nuevos estándares. Los cambios más importantes, y polémicos, de la NOM 001 son la medición de toxicidad y color verdadero. Sin embargo, en general, no representan un impacto en Quintana Roo pues son parámetros ligados a procesos industriales que no existen en la región.

Localmente, el cambio más significativo de la NOM-001-SEMARNAT-2021 es la inclusión de los suelos cársticos entre los cuerpos y suelos receptores de aguas residuales. Sin embargo, los límites máximos permisibles en suelos cársticos para nitrógeno y fósforo totales no sufren ningún cambio por lo que, legalmente, no impactan al tratamiento de aguas residuales, aunque es deseable que los efluentes que se generan reduzcan los niveles de nutrientes pues siguen impactando la salud de los ecosistemas.

En el caso de los sólidos suspendidos totales, así como de las grasas y aceites, la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021 sí es más estricta. En el caso de la temperatura de las aguas descargadas, esta no deberá exceder los 35o C, 5 grados menos que en lo permitido en la NOM-001 de 1996, lo que no implicará ningún ajuste operativo para las plantas de tratamiento. En cuanto a los metales pesados, podemos ver que el promedio mensual que se exigirá con la NOM-001-SEMARNAT-2021, es igual que en la norma aún vigente, con excepción del cadmio. Para el caso del promedio diario, las concentraciones de metales pesados serán, en todos los casos, más estrictas (Tabla 8.1).

Es por lo anterior, que este anexo presenta los principales criterios técnicos que deben observarse como un referente para la determinación en la calidad del agua para vertimiento o reúso. Su atención contribuye a la responsabilidad que tenemos todos de cuidar este importante recurso natural.

Esperamos que más allá de su pronta publicación, las instituciones y los operadores que tienen esta responsabilidad, tanto en México como en los países que integran el Sistema Arrecifal Mesoamericano, adopten estos criterios para tomar acciones con una visión de la cuenca al arrecife, el cual depende de la buena calidad del agua para su funcionamiento.

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

La NOM-001-SEMARNAT-2021 tiene por objeto establecer los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales.

Esta norma será de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales en cualquier tipo de cuerpo receptor propiedad de la Nación.

La Norma no aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes destinados exclusivamente para aguas pluviales ni a las descargas que se vierten directamente a sistemas de drenaje y alcantarillado municipales.

1. DEFINICIONES

1.1 COMISIÓN

Comisión Nacional del Agua.

1.2 ACTA CIRCUNSTANCIADA:

Documento que emite la Comisión o la Unidad de Verificación durante las actividades de verificación en sitio, el cual constituye la base del informe de resultados y del Dictamen de Conformidad que avalará el cumplimiento de la presente Norma.

1.3 DICTAMEN DE CONFORMIDAD:.

Documento emitido por la Procuraduría, o la Unidad de Verificación o por la Comisión que avala el cumplimiento de la presente Norma.

1.4 MUESTRA SIMPLE:

La que se colecta por el signatario autorizado en el punto señalado en el permiso de descarga, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

1.5 MUESTRA COMPUESTA:

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 5. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su colecta.

1.6 PROMEDIO DIARIO (P.D.):

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta o el resultado del promedio ponderado en función del caudal o de la media geométrica o del promedio aritmético, según corresponda al parámetro conforme a esta Norma Oficial Mexicana.

1.7 PROMEDIO MENSUAL (P.M.):

Es el valor que resulta de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio Diario) colectadas en un mismo mes calendario. Los caudales que se deben considerar para el citado promedio ponderado serán el resultado del promedio aritmético de los caudales de las muestras simples que conforman cada una de las muestras compuestas.

1.8 DESCARGAS MUNICIPALES:

Son las descargas de aguas residuales que provienen del sistema de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, generalmente conducidas por un colector principal, cuya fase terminal es un cuerpo receptor.

1.9 DESCARGAS NO MUNICIPALES:

Son las descargas de aguas residuales que no están conectadas al sistema de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, cuya fase terminal es un cuerpo receptor.

2. ESPECIFICACIONES**2.1**

La concentración de contaminantes básicos, así como de contaminantes patógenos y parasitarios, toxicidad aguda y color verdadero, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, no debe exceder el valor indicado como límite permisible de acuerdo al tipo de cuerpo receptor especificado en las Tablas 8.2 y 8.3 de esta Norma Oficial Mexicana.

En caso de que existan condiciones particulares de descarga emitidas conforme a una Declaratoria de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales publicada en el Diario Oficial de la Federación o cuyos límites permisibles sean más estrictos o

con parámetros adicionales en comparación con los previstos en esta Norma Oficial Mexicana (por ej. descargas de aguas residuales en humedales y suelos cársticos), los parámetros y límites permisibles que se deberán cumplir serán los que establezcan las citadas condiciones particulares de descarga.

Los responsables de la descarga deberán comprobar de manera ordinaria en términos de lo dispuesto en el numeral 4.4, el cumplimiento de los límites permisibles establecidos para Promedio Diario y Promedio Mensual en las Tablas 8.2 Y 8.3 según corresponda al tipo de cuerpo receptor. El valor instantáneo será verificado ya sea por la Comisión o la Procuraduría.

2.2

El responsable de la descarga estará exento por un periodo de hasta tres años de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre a la Comisión mediante Promedios Mensuales de los seis meses inmediatos anteriores a la presentación de su solicitud de exención que por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar. La Comisión dictaminará la procedencia o no de la exención y podrá verificar para efectos de emitir el citado dictamen, así como durante la vigencia de la exención, la veracidad de la información que presentó el responsable de la descarga, para lo cual podrá realizarla directamente por ella, o a través de una Unidad de Verificación.

2.3

En el caso de que el agua clara o de primer uso de abastecimiento registre concentración de algún contaminante en Promedio Mensual, se podrá restar de la concentración de la descarga, a excepción de los parámetros: temperatura, pH, toxicidad aguda, color verdadero, Escherichia coli, Enterococos fecales y huevos de helmintos siempre y cuando lo acredite a través de al menos dos análisis Promedio Diario de calidad del agua efectuados por un laboratorio, realizados en términos de lo dispuesto en la presente norma (Capítulos 5 y 6).

Los informes de resultados de muestreo y análisis de agua de abastecimiento referido en el párrafo anterior realizados en un mes calendario serán válidos para los informes de resultados de muestreo y análisis de aguas residuales realizados en el trimestre al que corresponda el citado mes.

PARÁMETROS (*) (MILIGRAMOS POR LITRO, EXCEPTO CUANDO SE ESPECIFIQUE)	RÍOS, ARROYOS, CANALES, DRENES			EMBALSES, LAGOS Y LAGUNAS			ZONAS MARINAS MEXICANAS Y ESTUARIOS			SUELO								
										RIESGO DE ÁREAS VERDES			INFILTRACIÓN Y OTROS RIESGOS			CÁRSTICO		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
TEMPERATURA (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
GRASAS Y ACEITES	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
CARBÓN ORGÁNICO TOTAL*	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
NITRÓGENO TOTAL	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
FÓSFORO TOTAL	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
HUEVOS DE HELMINTOS (HUEVOS / LITRO)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								
ESCHERICHIA COLI. (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
ENTEROCOCOS FECALES* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
PH (UPH)	6-9						6-9											
COLOR VERDADERO	LONGITUD DE ONDA									COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ESPECTRAL MÁXIMO								
	436 nm									7.0 m ⁻¹								
	525 nm									5.0 m ⁻¹								
	620 nm									3.0 m ⁻¹								
TOXICIDAD AGUDA (UT)	2 a los 15 minutos de exposición									2 a los 15 minutos de exposición								

N.A: No Aplica
P.M: Promedio Mensual
P.D: Promedio Diario
V.I: Valor Instantáneo
NMP: Número más probable
UPH: Unidad de pH
UT: Unidades de Toxicidad

Tabla 8.2 Límites permisibles en descargas de aguas

* Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO.
 * Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT.
 * Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli.
 * Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales.
 Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.

PARÁMETROS (MILIGRAMOS POR LITRO)	RÍOS, ARROYOS, CANALES, DRENES			EMBALSES, LAGOS Y LAGUNAS			ZONAS MARINAS MEXICANAS Y ESTUARIOS			SUELO								
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	RIESGO DE ÁREAS VERDES			INFILTRACIÓN Y OTROS RIESGOS			CÁRSTICO		
										P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
ARSÉNICO	0.2	0.3	0.4	0.1	0.15	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.1	0.15	0.2	0.1	0.15	0.2
CADMIO	0.2	0.3	0.4	0.1	0.15	0.2	0.2	0.3	0.4	0.05	0.075	0.1	0.1	0.15	0.2	0.05	0.75	0.1
CIANURO	1	2	3	1	1.5	2	2	2.50	3	2	2.5	3	1	1.50	2	1	1.50	2
COBRE	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
CROMO	1	1.25	1.5	0.5	0.75	1	1	1.25	1.5	0.5	0.75	1	0.5	0.75	1	0.5	0.75	1
MERCURIO	0.01	0.015	0.02	0.005	0.008	0.01	0.01	0.015	0.02	0.005	0.008	0.01	0.005	0.008	0.01	0.005	0.008	0.01
NÍQUEL	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
PLOMO	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	0.5	0.75	1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
ZINC	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20

PARÁMETROS MEDIDOS DE MANERA TOTAL

P.M: Promedio Mensual
P.D: Promedio Diario
V.I: Valor Instantáneo

Tabla 8.3 Límites permisibles para metales pesados y cianuros

**UNO DE LOS DAÑOS QUE
PROVOCA LA PRESENCIA DE
AGUAS RESIDUALES SOBRE
EL SISTEMA ARRECIFAL
MESOAMERICANO, ES EL
CRECIMIENTO DE ALGAS
DEL TIPO CIANOBACTERIAS
SOBRE LAS ESTRUCTURAS
DE CORAL...**

*...poniendo en riesgo su condición
de salud. ¿Sabes si estás
conectado al drenaje o cuentas
con un humedal artificial que
mejore la calidad del agua
residual?*

3. MÉTODOS DE PRUEBA

3.1

Para determinar los valores y concentración de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar las normas mexicanas correspondientes, establecidas en la Norma Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-20211

3.2

El responsable de la descarga podrá solicitar a la Secretaría, la aprobación de métodos de prueba alternos conforme a lo establece el artículo 49 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

4.4.

La periodicidad de los muestreos, análisis e informe de resultados se indican en la Tabla 8.4 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 8.5 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión podrá modificar la periodicidad de muestreo, análisis e informe de resultados.

4. MUESTREO

4.1.

El muestreo se realiza con base en la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Aguas residuales-Muestreo.

4.2.

Los responsables de las descargas de aguas residuales a cualquier cuerpo receptor deberán prever en el sitio autorizado el permiso de descarga emitido por la Comisión, la existencia de infraestructura fija, segura y adecuada para que pueda realizarse la colecta de muestras, conforme lo establece el Apéndice Normativo que se encuentra en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

4.3.

El responsable de la descarga realizará el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y el mensual, con la periodicidad establecida en la NOM-001-SEMARNAT-2021 (numeral 4.4), a través de un laboratorio.

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE INFORME DE RESULTADOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS
Mayor de 50,000 habitantes	Mensual	Trimestral
De 10 001 a 50 000 habitantes	Trimestral	Trimestral
De 2 501 a 150 000 habitantes	Semestral	Trimestral

Tabla 8.4 Descargas municipales

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	CARBÓN ORGÁNICO TOTAL* (TONELADAS/DÍA)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (TONELADAS/DÍA)	FRECUENCIA DE MUESTREO ANÁLISIS	FRECUENCIA DE INFORME DE RESULTADOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS
Mayor a 3.0	Mayor a 0.75	Mayor a 3.0	Mensual	Trimestral
De 1.2 a 3.0	De 0.3 a 0.75	De 1.2 a 3.0	Trimestral	Trimestral
Menor a 1.2	Menor a 0.3	Menor a 1.2	Semestral	Trimestral

* Aplica para aguas residuales con una concentración mayor a 1000 mg/l de cloruros

Tabla 8.5 Descargas no municipales

Todo informe de resultados de muestreo y análisis deberá registrarse y firmarse en el sistema electrónico que para tal efecto la Comisión pondrá a disposición de los laboratorios, mismo que deberá firmarse a más tardar el décimo día hábil posterior a que haya concluido el trimestre en cuestión. Para el caso de la frecuencia de muestreo e informe de resultados con carácter semestral, el registro y firma a que se refiere este párrafo será en el trimestre en que se haya realizado el muestreo. El laboratorio deberá coleccionar las muestras simples en el número e intervalo que refiere la Tabla 8.6 las cuales conformarán una muestra compuesta, debiendo al menos existir dos muestras compuestas "Promedio Diario" durante el mes calendario para poder determinar el Promedio Mensual.

La selección del intervalo para la colecta de las muestras simples dentro del rango mínimo y máximo que corresponda, deberá asegurar que la colecta de la última muestra simple se realice dentro de los últimos treinta minutos del periodo que opera el proceso generador de la descarga en el día del muestreo.

5. Para más especificaciones de la toma de muestra simple y compuesta y la presentación del informe de resultados a la

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO ENTRE COLECTA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍN	MÁX
Menor que 4	2	N.E	N.E
De 4 y hasta 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 8	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Tabla 8.6 Número e intervalo de muestras simples.

Comisión, consulte la NOM-001-SEMARNAT-2021 del punto 6.2 al 6.3.

Los resultados de pH, toxicidad aguda, color verdadero y huevos de helmintos no deberán estar fuera del límite permisible en ninguna de las muestras simples.

6. Para más especificaciones del reporte del valor de los parámetros y el cálculo de los promedios diarios (P.D.) y promedios mensuales (P.M.) de los parámetros establecidos consulte, la NOM-001-SEMARNAT-2021 del punto 6.5 al 6.11.

6.1. La cadena de custodia, la hoja de campo y las demás evidencias que soporten los informes de resultados de muestreo y análisis deberán mantenerse por el laboratorio para su consulta por un periodo de 5 años posteriores a su emisión, registro y firma.

7. Para más especificaciones del procedimiento para la evaluación de la conformidad de la presente norma consulte la NOM-001-SEMARNAT-2021 punto 7.

ANEXO II

QUE ESTA NORMA REGULA LOS LÍMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS		MÉXICO			ALEMANIA		
		CUERPOS RECEPTORES: RÍOS, LAGUNAS, AGUAS MARINAS Y SUELO. PM, PD Y VI			DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN LAS AGUAS		
		X- SI SE REGULA	LÍMITES		X- SI SE REGULA	MUNICIPIO	INDUSTRIA
MÁX	MÍN						
CONTAMINANTES BÁSICOS (MILIGRAMOS POR LITRO, EXCEPTO CUANDO SE ESPECIFIQUE)	GRASA Y ACEITES	X	15	21			
	SST	X	20	140			
	DBO				X	15	
	DQO	X	60	210	X	75	100
	CO2	X	21	53			
	NÍTROGENO	X	15	35	X	13	
	FÓSFORO	X	5	21	X	1	
	FOSFATOS						
	COLOR VERDADERO (LONG. ONDA)	X	525	620			
	TOXICIDAD	X	2 a los 15 minutos de exposición		X	2	2
	TEMPERATURA	X	35				
	PH	X	6	9			
	OTROS				X		
	MATERIAL FLOTANTE						
METALES PESADOS Y CIANUROS (MILIGRAMOS POR LITRO)	ARSÉNICO	X	0.1	0.4	X		0.05
	CADMIO	X	0.05	0.4	X		0.05
	COBRE	X	4	6	X		0.25
	CROMO	X	0.5	1.5	X		0.25
	MERCURIO	X	0.008	0.015			
	NÍQUEL	X	2	4	X		0.25
	PLOMO	X	0.2	1	X		0.25
	SULFURO						
	ZINC	X	10	20	X		1
	CIANURO	X	1	3			
	ESTAÑO						
	COBALTO						
	OTROS METALES				X		0.5
	CONTAMINANTES PATÓGENOS Y PARASITOS	ESCHERICHIA COLI	X	50	600		
COLIFORMES FECALES							
ENTEROCOCOS		X	50	500			
HUEVOS DE HELMINTOS		X	1				

QUE ESTA NORMA REGULA LOS LÍMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS		CANADA			PERÚ		
		COMMISSIONER'S DIRECTIVE: MANAGEMENT OF WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS			SEPARA LAS REGULACIONES: UNA PARA MUNICIPIOS Y OTRAS POR SECTORES INDUSTRIALES CERVEZA, CEMENTO Y PAPEL		
		X- SI SE REGULA	INSTALACIONES FEDERALES	X- SI SE REGULA	MUNICIPIO	INDUSTRIA	
GRASA Y ACEITES	X						
SST	X	(NOTA 1)	5-20	X	150	500	
DBO	X	(NOTA 1)	5-20	X	100	500	
DQO				X	200	1000	
CO2							
NÍTROGENO	X		10			50	
FÓSFORO	X	(NOTA 4)	0.005				
FOSFATOS	X		0.5				
COLOR VERDE							
TOXICIDAD							
TEMPERATURA	X	(NOTA 2)		X	<35	35	
PH	X		6-9	X	6.5-8.5	6-9	
OTROS							
MATERIAL FLOTANTE							
METALES PESADOS Y CIANUROS (MILIGRAMOS POR LITRO)	ARSÉNICO	X		0.05			
	CADMIO	X		0.005			
	COBRE	X		0.2			
	CROMO	X		0.05	X		0.5
	MERCURIO	X					
	NÍQUEL	X		0.3			
	PLOMO	X					
	SULFURO	X		0.5	X		10
	ZINC	X		0.5			
	CIANURO						
	ESTAÑO	X		5			
	COBALTO	X		0.01			
	OTROS METALES	X	(NOTA 3)				
	CONTAMINANTES PATÓGENOS Y PARASITOS	ESCHERICHIA COLI					
COLIFORMES FECALES		X		100/100	X	10000	
ENTEROCOCOS							
HUEVOS DE HELMINTOS							

Tabla 8.7 Concordancia con límites permisibles internacionales

QUE ESTA NORMA REGULA LOS LÍMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS		ECUADOR		CHILE		COSTA RICA	
		DIFERENCIA LAS REGULACIONES PARA DESCARGAS EN: 1) ALCANTARILLADO Y CUERPO RECEPTOR. 2) AGUA DULCE 3) AGUA MARINA		AGUAS SUBTERRÁNEAS		REGLAMENTO DE VERTIDO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES. LÍMITES MÁXIMOS PREMISIBLES PARA LOS PARÁMETROS OBLIGATORIOS	
		X- SI SE REGULA		X- SI SE REGULA		X- SI SE REGULA	
CONTAMINANTES BÁSICOS (MILIGRAMOS POR LITRO, EXCEPTO CUANDO SE ESPECIFIQUE)	GRASA Y ACEITES	X	0.3	X	10	X	30
	SST	X	100			X	50
	DBO	X	100			X	50
	DQO	X	250			X	150
	CO2						
	NÍTRÓGENO	X	15	X	10	X	50
	FÓSFORO	X	10				
	FOSFATOS					X	25
	COLOR VERDE	X	*			X	15%
	TOXICIDAD	X	NOTA				
	TEMPERATURA	X	<35			X	15 ≤ T ≤ 40
	PH	X	5-9	X	6-8.5	X	5-9
	OTROS	X		X	NOTA	X	VER NOTA CR
MATERIAL FLOTANTE					X	AUSENTE	
METALES PESADOS Y CIANUROS (MILIGRAMOS POR LITRO)	ARSÉNICO	X	0.1	X	0.01	X	0.1
	CADMIO	X	0.02	X	0.002	X	0.1
	COBRE	X	1	X	1	X	0.5
	CROMO	X	0.5	X	0.05	X	1.5
	MERCURIO	X	0.005	X	0.001	X	0.01
	NÍQUEL	X	2	X	0.2	X	1
	PLOMO	X	0.2	X	0.05	X	0.5
	SULFURO	X	0.5	X	1	X	25
	ZINC	X	5	X	3	X	5
	CIANURO	X	0.1	X	0.2	X	1
	ESTAÑO	X	5			X	2
	COBALTO	X	0.5				
OTROS METALES	X		X	NOTA	X	VER NOTA CR	
CONTAMINANTES PATÓGENOS Y PARASITOS	ESCHERICHIA COLI						
	COLIFORMES FECALES	X	REMOCIÓN AL 99.9%			X	1000
	ENTEROCOCOS						
	HUEVOS DE HELMINTOS						

* Inapreciable en dilución 1/20

ANEXO III

NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES, ASÍ COMO LAS ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE CALIDAD DE LA COMPOSTA PRODUCIDA Y/O DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO FEDERAL.

OBJETO

Establecer los requisitos mínimos para la producción de composta a partir de la FO de los RSU, así como la generada por las actividades agrícolas, forestales y pecuarias, siempre que estos últimos sean de carácter biodegradable, que no afecten la calidad del producto final ni representen riesgo para la salud humana y el ambiente.

ÁMBITO DE VALIDEZ

Esta Norma es de observancia obligatoria para las personas físicas, morales y Dependencias Gubernamentales que produzcan composta proveniente de la FO de los RSU y otros señalados en esta Norma. Asimismo, aplica para la composta que se produzca, se aplique y/o se comercialice en el Distrito Federal.

Quedan exentos del cumplimiento de esta Norma quienes produzcan composta para autoconsumo, a partir de los residuos orgánicos que ellos mismos generan, siempre que dichos residuos no rebasen la cantidad de 500 kg/día o un volumen de 1 m³/día, de lo contrario debe ajustarse a los criterios de la presente Norma.

NIVEL-TIPO	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Nivel 1- tipo A	0.1	0.1	70	70	0.4	25	45	20
Nivel 2 - tipo B	0.7	1	70	150	0.7	60	120	50
Nivel 3 - tipo C	2	3	250	400-500	3	100	200	1200-1800

Tabla 8.8 Concentración máxima de elementos traza en mg/kg en base seca, que deben cumplir los tipos de composta

MICROORGANISMOS	TOLERANCIA
Coliformes fecales	1000 NMP /g (en base seca)
Salmonella	< 3 NMP en 4 g (en base seca)
Huevos de Helminetos viables	1 en 4 g (en base seca)

Tabla 8.9 Valores máximos permisibles para especificaciones microbiológicas

PARÁMETRO	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C
USO RECOMENDADO	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación
HUMEDAD	25-35 % en peso		25 - 45 % en peso
PH	6.7 - 7.5	6.5 - 8	
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	< 4 dS/m	< 8 dS/m	<12 dS/m
MATERIAL ORGÁNICA	> 20 % MS		
CARBONO TOTAL	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
RELACIÓN C/N	< 15	< 20	< 25
MACRO-NUTRIENTES (NPK) EN % MS	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma < o igual de 7%; portara la leyenda "Composta mejorador de suelos". Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% debe portar la leyenda "Composta para nutrición vegetal" y se indicarán las cantidades para cada macro nutriente.		
GRANULOMETRÍA	< o igual 10mm	< o igual 30 mm	
FITOTOXICIDAD	IG > o igual 85 %	IG > o igual 75 %	IG > o igual 60 %
DIFERENCIA DE TEMPERATURA CON EL AMBIENTE MEDIDA A UNA PROFUNDIDAD >O IGUAL 50 CM	< o igual 10 °C		< o igual a 15 °C

Tabla 8.10 Características generales que deben cumplir los tipos de composta

ANEXO IV

BITÁCORA DE MONITOREO.

BITÁCORA DE ACTIVIDADES			
FECHA	HORA INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN	CÓDIGO (IDENTIFICA LA MUESTRA)
IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO		DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
NOMBRE COMPLETO:			
TIPOLOGÍA:			
OBJETIVO DEL PROCESO:			

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DIARIAS

	ESTADO O ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	REGISTRO	CRITERIOS DE CONTROL	OBSERVACIONES
P	(Ejemplos) Verificar si todos los tanques tienen la misma intensidad de aeración deseada.					
P	Verificar cantidad de lodos en tanques de aeración (prueba de 30 minutos).					
H	Purgar lodos de acuerdo a necesidades, cuando sea querido conforme a la actividad anterior.					
A	Verificar si el equipo de aeración no manifiesta anomalías.					
P	Verificar operación de sistema de desnatado.					
V	Verificar equipos de bombeo en cárcamos.					
V	Verificar sistema de recirculación de lodos.					
	Reposición de pastillas de hipoclorito de calcio.					

P PLANEAR
 H HACER
 V VERIFICAR
 A ACTUAR

Tabla 8.11 Cronograma para el control y monitoreo de los procesos de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

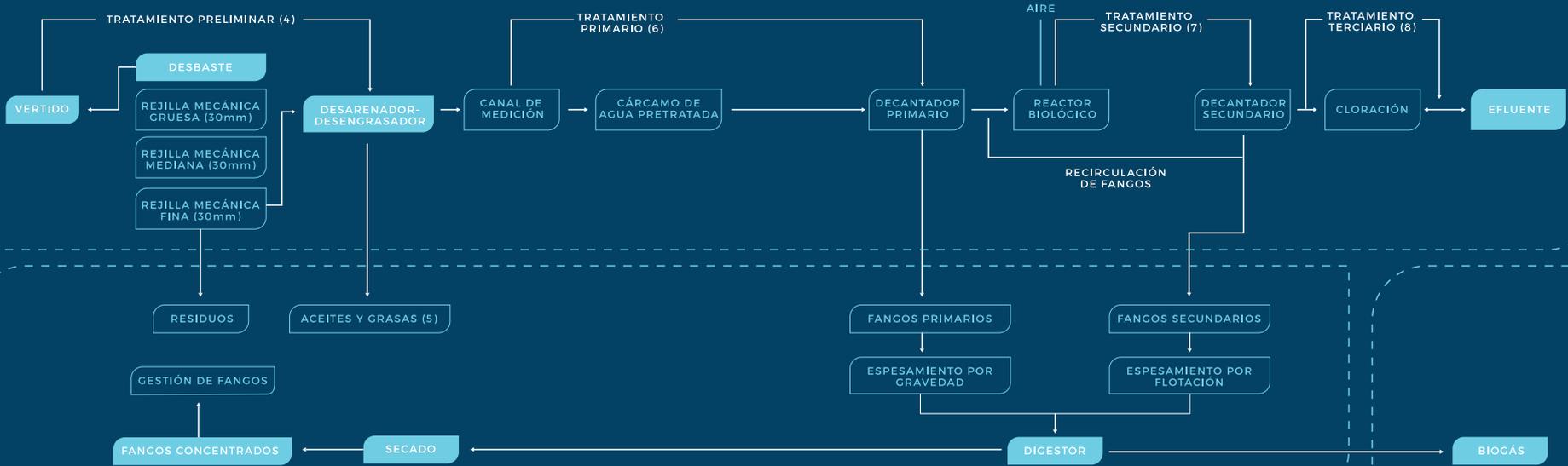
ANEXO VI

DIAGRAMA DE OPERACIÓN.

LÍNEA DE USUARIO



LÍNEA DE AGUAS



LÍNEA DE FANGOS

REFERENCIAS "OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS. MANUAL DEL USUARIO".2021.

(1) Capítulo 6 "Seguridad e higiene" Pág. 133

(2) NOM-026-STPS-2018
NOM-018-STPS-2015

(3) ANEXO IV y V
Capítulo 1 "Principios del tratamiento por lodos activados" Pág. 18
Glosario de términos. Pág. 198

LÍNEA DE AGUAS

(3) ANEXO IV y VII.
Capítulo 2 "Monitoreo del proceso" Pág. 55.

(5)(6) Capítulo 3 "Control del proceso" Pág. 85.

(7)(8) Capítulo 7 "Ejercicios y prácticas" Pág. 139 a 173.
Anexos I y III Pág. 177.

LÍNEA DE FANGOS Y GAS

(9) Capítulo 4 "Tratamiento y disposición de lodos" Pág. 109.
Capítulo 5 "Resolución de fallas comunes" Pág. 125.

Figura 8.1 Diagrama basado en líneas de acción para la operatividad de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activados.

ANEXO VII

TREN DE TRATAMIENTO.

ÁREA	PROCEDIMIENTO	FLUJO DEL CAUDAL (l/s)			TIPO DE DESCARGA	
		15	50	500	C.a	R
PRETRATAMIENTO	El agua residual es cribada por medio de dos canales de pretratamiento, cada uno con dos rejillas manuales de 30 y 10 mm ubicadas en serie. Los sólidos son recogidos manualmente y se depositan en un contenedor para su disposición. Posteriormente el agua pasa por dos desarenadores en canal, en el cual se deposita la arena en el fondo; uno trabaja mientras que el otro está de relevo con el fin de alternarlos para dar limpieza periódica a cada uno de ellos. La velocidad del agua en los canales de pretratamiento es controlada por medio de un vertedor proporcional de tipo Sutro, el cual al mismo tiempo permite conocer el flujo de entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).	X	i		xiu	xi
	El agua residual se criba a través de dos canales de pretratamiento, cada uno con tres rejillas mecánicas de 30, 10 y 3 mm ubicados en serie. Los canales de pretratamiento mecánicos tienen un canal de bypass o demasías con rejillas manuales. Los sólidos recogidos se depositan en un contenedor para su disposición. Posteriormente, el agua pasa por dos canales donde unos desarenadores de tornillo recogen las arenas sedimentadas y las depositan en un contenedor. Al final, el flujo de agua influente a la PTAR se mide en un canal de medición Parshall, el cual, al mismo tiempo, sirve para controlar la velocidad del agua en los canales de pretratamiento.		i		i	i
	El agua es bombeada al proceso biológico desde un cárcamo, que recibe los drenados generados en la PTAR. Por seguridad, en el cárcamo hay una tubería de bypass general o demasías.	X	i	u	xiu	xiu

ÁREA	PROCEDIMIENTO	FLUJO DEL CAUDAL (l/s)			TIPO DE DESCARGA	
		15	50	500	C.a	R
PRETRATAMIENTO	El agua residual es recibida en una obra de toma en la cual, los sólidos gruesos se retienen y son extraídos periódicamente por una cuchara bivalva. A la salida, el agua se criba a través de dos canales de pretratamiento, cada uno con dos rejillas mecánicas de 10 y 3 mm ubicados en serie. Los canales de pretratamiento mecánicos tienen un canal de bypass o demasías con rejillas manuales. Los sólidos recogidos se depositan en contenedores para su disposición. A continuación el agua pasa por dos puentes desarenadores - desengrasadores longitudinales. Las grasas removidas son concentradas y las arenas son lavadas y desaguadas para su posterior disposición. Finalmente, el flujo de agua influente a la PTAR se calcula en un canal de medición Parshall, que también controla la velocidad del agua en los canales de pretratamiento.			u	u	u
TRATAMIENTO PRIMARIO	El agua pretratada ingresa a un clarificador primario con el fin de remover materia orgánica particulada y reducir el espacio requerido en el tratamiento secundario.			u	u	u
TRATAMIENTO SECUNDARIO	El reactor aerobio de lodos activados requiere un soplador para suministro de aire, un sistema de difusores en el fondo y un clarificador con recirculación de lodos. El régimen en que trabaja el reactor es de aireación extendida con el fin de estabilizar los lodos.	X	i	u	xiu	xiu
	El régimen en que trabaja el reactor es completamente mezclado con el fin de que el reactor ocupe menos espacio, sin embargo los lodos requerirán un proceso de digestión posterior.			u	u	u

Tipo de descarga:
C.a = Cuerpos de agua
R = Reúso

Flujo del caudal:
x= 15 lps
i= 50 lps
u= 500 lps

ÁREA	PROCEDIMIENTO	FLUJO DEL CAUDAL (l/s)			TIPO DE DESCARGA	
		15	50	500	C.a	R
TRATAMIENTO TERCIARIO	El efluente del proceso biológico pasa por gravedad a unos filtros de grava y arena para retener los sólidos en suspensión. Eventualmente, los filtros son retrolavados con agua clorada para desinfectarlos y evitar taponamientos.	X	i	u		x i u
	El efluente del proceso biológico requiere estar en contacto con cloro durante cierto tiempo para eliminar coliformes, por lo cual se dosifica un agente desinfectante que en este caso es hipoclorito de sodio. El tanque de contacto con cloro está dividido en dos laberintos independientes que trabajan de forma paralela, aunque es posible aislar cualquiera de los dos laberintos y enviar momentáneamente todo el flujo al otro existente con fines de mantenimiento. A la salida se tiene un canal de medición Parshall para conocer el flujo de agua tratada en la PTAR.	X	i	u	x i u	x i u
TRATAMIENTO DE LODO	Los lodos aerobios son purgados directamente a los lechos de secado.		i	u	i u	i u
	El régimen en que trabaja el reactor es completamente mezclado con el fin de que éste ocupe menos espacio; sin embargo, los lodos requerirán un proceso de digestión posterior.			u	u	u
	Los lechos de secado son superficies bordeadas sobre firmes de concreto o asfalto, equipadas con un sistema de drenaje. El secado ocurre gracias al drenado de los lodos en una cama de arena/grava y a la evaporación de la humedad. Una vez seco, el lodo se retira y evacua para su disposición. Los lechos de secado requieren escaso mantenimiento y tienen un bajo costo de operación.	X	i	u	x i u	x i u

Tipo de descarga:
C.a = Cuerpos de agua
R = Reúso

Flujo del caudal:
x= 15 lps
i= 50 lps
u= 500 lps

ÁREA	PROCEDIMIENTO	FLUJO DEL CAUDAL (l/s)			TIPO DE DESCARGA	
		15	50	500	C.a	R
TRATAMIENTO DE LODO	Los lodos primarios y secundarios son bombeados a un espesador a gravedad para concentrarlos antes de ser estabilizados en un digestor aerobio, el cual requiere un soplador para suministrar aire y un sistema de difusores en el fondo.			u	u	u
	Los lodos estabilizados son acondicionados con polímero y desaguados en cuatro filtros banda. Los lodos deshidratados son conducidos mediante un transportador horizontal y uno vertical a un vehículo u otro sitio para su disposición fuera de la PTAR.			u	u	u
SERVICIOS AUXILIARES	Parte del agua tratada se filtra y se bombea a las zonas de la PTAR donde se requiere agua de servicios, por ejemplo para la limpieza de equipos.	X	i	u	x i u	x
	Dado que el efluente tratado ya cumple con la norma de uso, una bomba succiona parte del agua tratada del final del tanque de contacto con cloro y lo envía directamente a las áreas de la PTAR donde se requiere, como para la limpieza de equipos.	X	i	u	x i	x i u
CONTROL DE OLORES	Las atmósferas extraídas del pretratamiento son succionadas por un extractor y conducidas a un biofiltro de composta con el fin de tratar y eliminar los malos olores. El principal componente de los biofiltros es el medio biológico filtrante donde los compuestos indeseables en el aire son absorbidos para poder ser degradados posteriormente por microorganismos. El medio posee la superficie y los nutrientes necesarios para que en ella se desarrolle una biopelícula de microorganismos que serán los responsables de la degradación de los compuestos indeseables en el gas y así disponerlo a la atmósfera una vez libre de malos olores.			u	u	u

Referencia: Rubio L & Morgan J. (2010). "Water and sanitation: LAC cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources". Ed. A. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de <http://proyectos2.ingen.unam.mx>.

ANEXOS QR



Si deseas descargar los anexos, los puedes obtener a través de este código QR.

**EL INADECUADO
TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES Y
EL DETERIORO
AMBIENTAL EN
GENERAL EMPEORAN LA
SALUD DE LOS
CORALES
CONSTRUCTORES
ARRECIFALES...**

*...causando enfermedades
como el «síndrome blanco»,
que en 4 meses puede
provocar la muerte de una
colonia de coral que requirió
más de 50 años para formarse.*

GLOSARIO DE TERMINOS

MÉTODO ALTERNATIVO:

Grupo de bacterias que crecen como filamentos y presentan ramificaciones, parecidas a las de los hongos, en una etapa de su ciclo de crecimiento. Crecen más lentamente que otros géneros de bacterias y se encuentran normalmente en pequeñas cantidades en los procesos de tratamiento de aguas.

AFLUENTE:

Es el agua residual u otro líquido que ingrese a un cuerpo de agua receptor, reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

AGLOMERACIÓN.

Es el crecimiento o acercamiento de pequeñas partículas en grandes flóculos o partículas que sedimentan rápidamente.

ALGA.

Organismo eucarionte fotosintético. A diferencia de los hongos y los protozoarios, las algas son fotoautótrofos, es decir que captan la luz como fuente de energía y CO₂ como principal fuente de carbono. El CO₂ posteriormente es transformado en compuestos orgánicos y oxígeno gaseoso durante la fotosíntesis.

ANAEROBIO.

Microorganismo que puede vivir sin oxígeno.

ANÓXICO:

Pobre en oxígeno libre; sin oxígeno libre.

AZOLVE:

Lodo o basura que obstruye un cuerpo de agua.

BACTERIAS ANAEROBIAS ERICTAS.

Son aquellas bacterias que se desarrollan en ambientes donde no hay oxígeno. El oxígeno es tóxico para ellas.

BACTERIAS FILAMENTOSAS.

Organismos que crecen en forma de hebras o filamentos. Son la causa más común del esponjamiento de los lodos en el proceso por lodos activados.

BIODEGRADABLE.

Compuesto que tiene la capacidad de ser mineralizado (oxidado hasta CO₂ y H₂O), por medio de microorganismos.

BIODEGRADACIÓN.

Eliminación de un compuesto orgánico del agua o de un ecosistema por la actividad de los microorganismos.

BULKING.

Ver esponjamiento.

COAGULANTES.

Reactivos químicos que se agregan al agua para eliminar materia en suspensión.

DESINFECCIÓN.

Eliminación o reducción de bacterias fecales, bacterias patógenas y virus en los abastecimientos de agua potable efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales con un desinfectante.

EFLUENTE.

Líquido que sale de un proceso o planta de tratamiento de aguas residuales.

ESPEADOR.

Equipo para la concentración de lodos mediante la eliminación del agua.

ESPONJAMIENTO.

También conocido por su nombre en inglés como BULKING. Nubes de lodo hinchado que aparecen en el sedimentador secundario y en los espesadores de lodo cuando el lodo no sedimenta adecuadamente. En el proceso por lodos activados es causado generalmente por bacterias filamentosas.

ESTABILIZAR.

Convertir a una forma que resiste el cambio. La materia orgánica es estabilizada por las bacterias convirtiéndola a gaseosa y otras sustancias relativamente inertes. La estabilización de la materia orgánica no produce malos olores.

FACULTATIVAS.

Las bacterias facultativas pueden usar tanto el oxígeno molecular disuelto como el oxígeno obtenido de los nutrientes como los iones sulfato o nitratos. En otras palabras, las bacterias facultativas pueden vivir en condiciones aerobias o anaerobias.

FLÓCULOS.

Grupos de bacterias y partículas o coagulantes e impurezas que se han acercado para formar un racimo. Se encuentran en los tanques de aeración, los clarificadores secundarios y en los procesos de precipitación química.

HONGO.

Organismo eucarionte que tiene paredes celulares rígidas y carecen de clorofila, es decir son incoloros. Pueden ser unicelulares o multicelulares y microscópicos o macroscópicos. Al carecer de clorofila, deben nutrirse de materia orgánica.

ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL).

Es un cálculo que indica la tendencia de los sólidos de los lodos activados a espesarse o concentrarse durante el proceso de sedimentación o espesamiento. El IVL se calcula de la siguiente manera:

- 1) Se deja sedimentar una muestra de lodos activados del tanque de aeración por 30 minutos en una probeta de vidrio de 1 litro.
- 2) Se determina la concentración de los sólidos suspendidos de la muestra.
- 3) Se calcula el IVL dividiendo el volumen sedimentado de lodos en la probeta de un litro (ml/l) entre la concentración de los sólidos suspendidos en el licor mezclado, determinada previamente.

LICOR MEZCLADO.

En un sistema de lodos activados es la mezcla de dichos lodos activados y el agua residual que se encuentra en el tanque de aeración.

NEMÁTODO.

Gusano cilíndrico no segmentado, de vida libre o parásitos, ampliamente distribuidos.

NITRIFICACIÓN.

Proceso por medio del cual el nitrógeno en forma de amonio (NH_3^+) se oxida hasta nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-).

OXIDACIÓN.

La oxidación es la adición de oxígeno, remoción de hidrógeno o remoción de electrones de un elemento o compuesto. En el tratamiento de aguas la materia orgánica se oxida a sustancias más estables. El opuesto de la oxidación es la reducción.

PARÁSITO.

Organismo que vive sobre o dentro de otro y le produce daño a este último, que recibe el nombre de huésped. La relación huésped parásito depende de la patogenicidad del parásito, es decir de su capacidad para producir un daño.

PATÓGENO.

Organismo que causa daño a un huésped y lo infecta.

POTENCIAL REDOX.

Es una medida indirecta que muestra hacia donde se desplaza el equilibrio en las reacciones de óxido-reducción suceden en los reactores de las plantas de tratamiento de aguas residuales. El resultado es un valor positivo o negativo dado en milivolts o mV.

PROTOZOARIOS.

Grupo de microorganismos unicelulares que algunas veces se agrupan en colonias y consumen bacterias como fuente de energía. Su presencia o ausencia indica el estado de los lodos activados.

REACTOR BATCH.

Reactor que funciona por lotes.

ROTÍFEROS.

Microorganismos segmentados muy deformables. El aparato bucal en forma de ruedas es visible y característico. Muy frecuente en los lodos activados. Son significativos cuando el TRC es muy elevado (15 días mínimo) y el funcionamiento de la planta es estable.

SBR.

Reactor que funciona por lotes. Consta de un solo tanque completamente mezclado en el cual ocurren todas las etapas de un proceso por lodos activados.

TASA DE CRECIMIENTO.

Es la velocidad a la cual crecen los microorganismos.

ABREVIATURAS

cm: Centímetros

DBO⁵: Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día

DQO: Demanda química de oxígeno

F/M: Relación Alimento / microorganismos

IVL: Índice volumétrico de lodos

Kg/d: Kilogramo por día

LAR: Tasa de recirculación de lodos

l/s: Litros por segundo

mg/l: Miligramos por litro

mV: Milivolts

m²: Metros cuadrados

m³: Metros cúbicos

m³/min: Metros cúbicos por minuto

NH³: Nitrógeno en forma de amoniaco

NTK: Nitrógeno Total Kjeldahl

OD: Oxígeno Disuelto

PL: Purga de lodos

PM7: Promedio móvil a 7 días

PM28: Promedio móvil a 28 días

Q: Flujo en m³/min

R: Recirculación como porcentaje del flujo

SAAM: Sustancias activas al azul de metileno

SBR: Reactor discontinuo secuencial

SS: Sólidos suspendidos

SSLM: Sólidos suspendidos de licor mezclado

SST: Sólidos suspendidos totales

SSV: Sólidos suspendidos volátiles

SSF: Sólidos suspendidos fijos

SDT: Sólidos disueltos totales

TCO: Tasa de consumo de oxígeno

TER: Tasa específica de respiración

TMRC: Tiempo medio de retención



RB

REFERENCIAS

PTAR

BIBLIOGRÁFICAS

Bertola, C. (febrero 2007) (a) Crecimiento microbiano para diferentes concentraciones iniciales de sustrato (S). (b) Biomasa formada (Xf-Xo) en función de la concentración inicial de sustrato (So). Grafica. Recuperado de www.researchgate.net

Carón, L. (15 julio 2012) Dinámica Relaciones entre el ciclo del nitrógeno y los compartimientos orgánicos y minerales. Bdigital. Ilustración. Recuperada de <https://revistas.unal.edu.co>

Comisión Nacional del Agua. (s.f). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana. Unidad de Agua Potable y Saneamiento. Gerencia de Potabilización y Tratamiento.

Agregar la siguiente bibliografía:

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. ed.2019. Pág 119, 72. Recuperado de www.gob.mx

Groundwater Management (GW-MATE). 2006. Estrategias para la Gestión de Aguas Subterráneas. Recuperado de:http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/46021221210186362590/GWM_Briefing_3_sp.pdf

Gómez, C; Urcela, R, y Miguel, M. (Ed.1). (1998). Tratamiento del agua por procesos de membrana. Editorial Mc. Graw Hill.

Hardenbergh, W. A y Rodie, E. (Ed. 8). (1984). Ingeniería Sanitaria. Editorial C. E. C. S. A.

Herman E; Hilleboe, M.D. (1983). Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Departamento de sanidad de Nueva York. Comisionado Albany NY E.U.A. Dirección de Saneamiento del Medio Ambiente y Oficina de Entrenamiento Profesional. Editorial Limusa.

Institute Texas Engineering Extension Service. (1995). Operation of Activated Sludge Plants. Water & Wastewater Training Program Engineering, Utilities and Public Works Training. The Texas A&M University System.

Metcalf&Eddy. (1991). Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Inc. Técnicas Básicas de Ingeniería. Editorial Labor.

Metcalf & Eddy. (1996).Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tomo II. México. Mc. Graw Hill.

Metcalf & Eddy. (Ed. 5). (2013). Wasterwater Engineering: Treatment and Reuse. Editorial Mc. Graw Hill Edducation.

Moeller G. & Tomasini O. (s.f.) Microbiología de lodos activados. Capítulo VI. Fotografía. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co>.

Mulder M. 1991. Basic principles of membrane technology. Kluwer Academic Publishers-

Oropeza G, N. (2006). Lodos Residuales: Estabilización y Manejo. Revista: Caos Conciencia (Vol.1), 51-58.

Ramalho, R. (1977). Tratamiento de Aguas Residuales. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Naval Universidad de Québec, Canadá. Editorial Reverté.

Romero, J. A. (s.f). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño. Escuela Nacional de Ingeniería de Colombia.

Román, P. (2013) Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje. FAO. Ilustración. Recuperado de www.fao.org.

Rubio L & Morgan J. (2010). "Water and sanitation: LAC cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources". Ed. A. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de <http://proyectos2.iingen.unam.mx>.

Sette, R. (Ed 1.). (1990). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté.

