



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

PROPUESTA DE MANUAL DE OPERACIÓN
PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN PLANTAS INDUSTRIALES

TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE
EDUCACIÓN CONTINUA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

CLAUDIA GUERRERO ORTEGA





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: MARÍA RAFAELA GUTÍERREZ LARA

VOCAL: MARCOS ENRÍQUEZ RODRÍGUEZ

SECRETARIO: JOSÉ AGUSTIN GARCÍA REYNOSO

1ER. SUPLENTE: MARGARITA ROSA GARFÍAS VÁZQUEZ

2DO. SUPLENTE: JORGE RAFAEL MARTÍNEZ PENICHE

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

ASESOR DEL TEMA: MARCOS ENRÍQUEZ RODRÍGUEZ _____

SUSTENTANTE: CLAUDIA GUERRERO ORTEGA _____



ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	7
1.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN MÉXICO.....	7
1.2. ZONAS INDUSTRIALES EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	8
1.3. NORMATIVIDAD APLICABLE A LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN LOS DRENAJES MUNICIPALES.....	9
CAPÍTULO 2. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.....	16
2.1. PRETRATAMIENTO.....	17
2.2. TRATAMIENTO PRIMARIO.....	18
2.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	19
2.4. TRATAMIENTO Terciario.....	25
2.5. DESINFECCIÓN.....	25
2.6. TRATAMIENTO DE LODOS.....	29
CAPÍTULO 3. MEDICIÓN, CONTROL Y REGISTRO.....	32
3.1. PROPUESTA DE MANUAL PARA LA ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE LA INFORMACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	32
SECCIÓN I. DATOS TÉCNICOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN.....	32
SECCIÓN II. PLANEACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA Y MATRIZ DE CORRESPONSABILIDADES.....	33
SECCIÓN III. REGISTROS.....	34
SECCIÓN IV. MÉTODOS DE PRUEBA PARA EL CONTROL Y ANÁLISIS.....	35
CAPÍTULO 4. FORMATOS PARA EL REGISTRO Y CONTROL.....	41
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	41
4.2. EJEMPLO DE DIAGRAMA DE FLUJO, PARA SU INCLUSIÓN EN EL MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	42
4.3. HOJA DE REGISTRO Y CONTROL DE EQUIPO E INSTRUMENTOS.....	43
4.4. HOJA DE REGISTRO Y CONTROL DE LA DOCUMENTACIÓN SOPORTE DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	44
4.5. PLAN GENERAL DE LA PLANTA Y MATRIZ DE CORRESPONSABILIDADES.....	44
4.6. PLAN DE PERSONAL Y DESCRIPCIÓN DE PUESTOS.....	45
4.7. PLAN DE TOMA DE MUESTRAS.....	45

4.8.	PLAN DE CONSUMO DE QUÍMICOS.....	46
4.9.	PROGRAMA ANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y REGISTROS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO.....	46
4.10.	REGISTRO DE LOS RESULTADOS Y CÁLCULO DE PARÁMETROS PARA EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN	47
4.11.	REPORTES INTERNOS DE OPERACIÓN.....	47
4.12.	GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO CON LA NORMATIVIDAD EN MATERIA DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES. ...	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		49
REFERENCIAS.....		50
PÁGINAS DE INTERNET		52

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1.	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES BÁSICOS	15
TABLA 2.	OTROS PARÁMETROS INDICADOS EN LAS NOM'S.	15
TABLA 3.	CONTAMINANTES Y SUS MÉTODOS DE REMOCIÓN.	16
TABLA 4.	TRATAMIENTOS APLICABLES AL AGUA RESIDUAL PÁGINA.	17
TABLA 5.	RESUMEN DE MÉTODOS DE PRUEBA PARA OTROS CONTAMINANTES Y PARÁMETROS.	38

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1.	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN INDUSTRIAL POR NIVEL DE TRATAMIENTO, 2012.	8
FIGURA 2.	DIAGRAMA DE UN PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	21
FIGURA 3.	RESUMEN DE TIPOS DE BACTERIAS INVOLUCRADAS EN LOS PROCESOS BIOLÓGICOS ANAEROBIOS	24
FIGURA 4.	DIAGRAMA DE FLUJO Y PUNTOS DE MUESTREO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.	41

APÉNDICES.

PRIMERO.	MÉTODOS DE MUESTREO.....	53
SEGUNDO.	MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES BÁSICOS...	56
TERCERO.	REFERENCIAS PARA LA DETERMINACIÓN DE OTROS CONTAMINANTES Y PARÁMETROS	72

INTRODUCCIÓN.

El tratamiento del agua residual industrial es tema muy importante en el ámbito ambiental, por el impacto que este produce en el medio, pues de 66,900 millones de m³ que constituye la oferta anual de agua, el 9 % es para uso industrial y de esto, el 23 % llega a los cuerpos receptores. (CONAGUA, 2014). Por ello es de suma importancia que se tome conciencia de esta situación pues todos los seres humanos somos usuarios de agua potable y productores de agua residual.

Con base en los últimos datos publicados por la CONAGUA, durante el año 2012 la colecta de aguas residuales, ascendió a 210 m³/s, de los cuales solo recibieron tratamiento 99 m³/s, (el 47.47%); cuando la capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales municipales es de 140.1 m³/s, situación que no ha cambiado demasiado a la fecha. De ahí se observa que solo es posible usar el 71.6 %, de esta capacidad instalada, la cual además es insuficiente para reducir el impacto ambiental de las mismas. Aunado a ello la industria mexicana está compuesta en un gran porcentaje de micro, pequeñas y medianas empresas que en muchas ocasiones no tienen los recursos o la visión para poder discernir como hacerse cargo de sus descargas de agua residual.

Es por ello que se ha decidido elaborar el presente trabajo, como propuesta de manual de operación para plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, con la finalidad apoyar a las MIPYME's como una guía de los diferentes aspectos a considerar en el tratamiento de las aguas residuales que descarguen a los diversos cuerpos receptores, pues muchas veces los operarios de plantas de tratamiento, no cuentan con mucha información disponible o tienen que invertir mucho tiempo en encontrarla, por lo cual el presente trabajo aspira a apoyar a estas personas, en el entendimiento de lo que es el tratamiento de aguas residuales industriales, porque es necesario, cuales son los parámetros más importantes que ayudan a controlar y operar las plantas de tratamiento más comunes, y brindar formatos de registro de parámetros para el control y seguimiento de la operación.

El trabajo está organizado en 4 capítulos, el primero de ellos se enfoca en brindar un panorama de la situación actual del tratamiento del agua residual industrial en nuestro país y se hace un análisis de la normatividad que existe al respecto dentro del marco jurídico mexicano. En el segundo capítulo se hace una revisión de los tipos de tratamiento de aguas residuales más comunes, en que consiste cada uno de ellos y los parámetros más importantes a controlar durante la operación de dichos sistemas. En el tercer capítulo se plantea un sistema documental para el control de una instalación de tratamiento de aguas residuales, señalando el tipo de información con la que debe contar, describiendo en cada sección lo que cada formato pretende controlar y registrar, pues para poder operar cualquier proceso se debe medir, y estudiar, porque de lo contrario no se puede controlar. Así mismo al final de este capítulo se anexa una tabla que resume de las normas mexicanas disponibles para el análisis de los contaminantes considerados como básicos en las aguas residuales y vínculos a los sitios de internet donde están disponibles dichas normas y como complemento a este apartado se anexan en los Apéndices resúmenes las normas que se utilizan para el análisis de los contaminantes considerados como básicos. Se concluye en el capítulo 4 con ejemplos de los formatos, referidos en el capítulo 3.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.

1.1. Situación actual del tratamiento de las aguas residuales industriales en México.

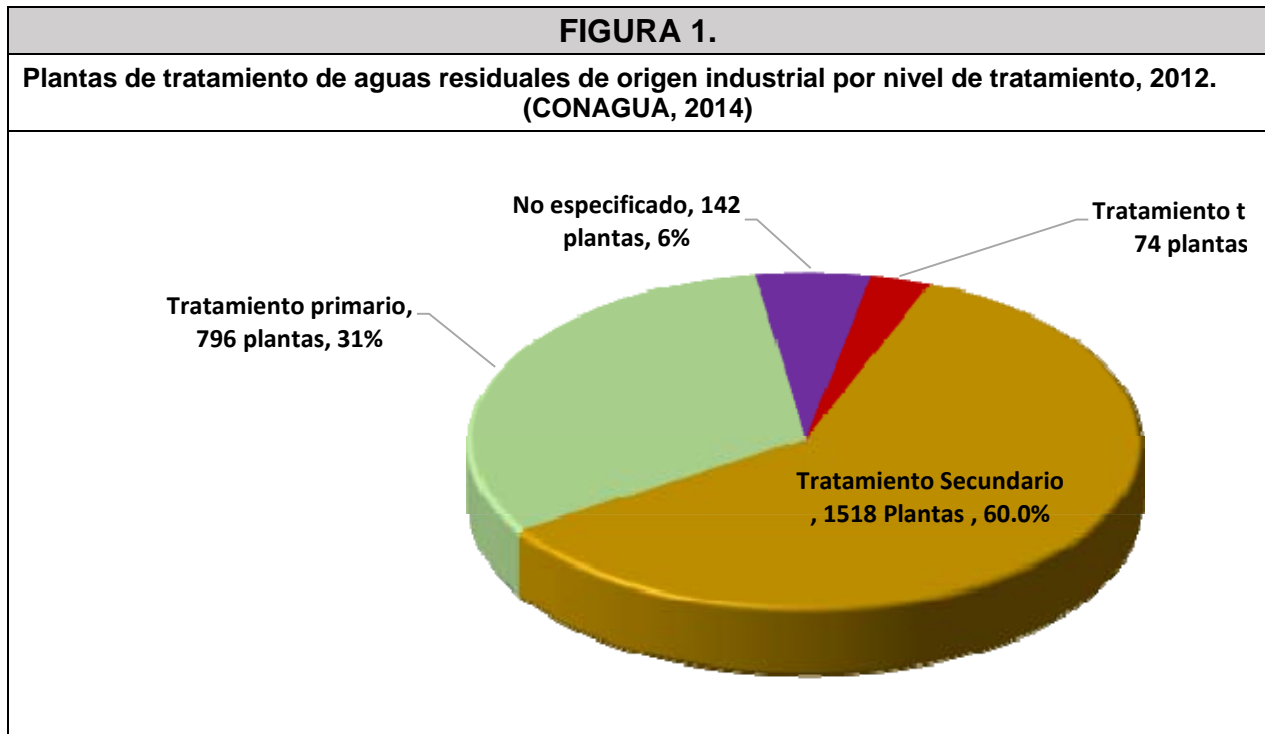
El agua es un recurso renovable, que es importante cuidar y tomar en consideración por el impacto ambiental que ello conlleva. Todos participamos del ciclo del agua de alguna forma, por ellos es importante tomar conciencia que cada vez que se hace una descarga de agua residual sin tratamiento, se traslada el problema otra parte que puede ser severamente afectada de acuerdo al nivel de contaminación con el cual se vierte.

Si bien, el uso de agua para aplicaciones industriales en porcentaje, (diversas fuentes señalan 9% del agua que se extrae anualmente), pareciera pequeño, al momento de traducirlo a un caudal descargado, medido por ejemplo m^3/s , es cuando el volumen cobra relevancia. Es por ello que cuidar las descargas de agua residual industrial se vuelve prioritario.

En base a datos del Plan Nacional de Desarrollo vigente, relativo al Plan Nacional Hídrico, se menciona que el sector industrial generó en el 2012 un caudal medio de $210 \text{ m}^3/\text{s}$, y aun cuando existen en México un total de 2,569 plantas para tratamiento de aguas residuales industriales, con una capacidad instalada de $89 \text{ m}^3/\text{s}$, solo se tratan $60.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de efluentes industriales que representa solo el 28.8% del caudal generado. (Gobierno de la República, 2014).

La Comisión Nacional del Agua menciona en su último reporte sobre la situación del sector, “El crecimiento de la actividad industrial, así como la elevada demanda de agua por parte de la población, ha generado serias alteraciones ecológicas ya que la descarga de aguas residuales de diferentes orígenes a los cuerpos de aguas naturales durante muchos años se llevó a cabo sin ningún tipo de tratamiento, lo cual trajo como consecuencia la contaminación del recurso. Esta situación la han experimentado todos los países en sus diferentes etapas de desarrollo industrial y, aun cuando la tecnología ha logrado reducir de alguna forma el volumen y tipo de contaminantes vertidos a los cauces naturales de agua, ello no ha ocurrido ni en la forma ni en la cantidad necesarias para que el problema de contaminación de las aguas esté resuelto. A consecuencia, en parte, de la contaminación de un mayor número de cuerpos naturales receptores de agua, como ríos, lagos, etc., la disponibilidad del agua en nuestro país es cada vez más escasa y el problema es ya un asunto grave”. (CONAGUA, 2014).

“Existen tres tipos de tratamiento para las aguas residuales industriales: tratamiento primario, secundario y terciario. El tratamiento más utilizado es el secundario, en nuestro país, se trata un caudal de $34.7 \text{ m}^3/\text{s}$. con este tipo de operación”. (CONAGUA, 2014).



Siguiendo con el análisis del sector se conoce que de las 2,569 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales disponibles en México, 1518 plantas (60%) utilizan un tratamiento secundario para las aguas residuales. (Ver figura 1.).

Es por ello que la mayor parte de esta propuesta de manual se centrará en este tipo de plantas de tratamiento de agua residual industrial.

1.2. Zonas industriales en México y su importancia en el tratamiento de las aguas residuales industriales.

En México la industria ha ido asentándose de acuerdo a los requerimientos de mano de obra, materias primas e infraestructura requeridas para su operación. En la medida de que se han generado zonas industriales, a su vez se han creado asentamientos urbanos que han traído consigo el desarrollo de infraestructura de saneamiento.

Desde los 70's el Gobierno ha impulsado programas para la promoción de conjuntos industriales, considerándolos un medio para estimular la productividad con economías de aglomeración y ambientes adecuados para el trabajo. (www.bancomext.gob.mx, consultado 21/ago./14), sin embargo lo que se pensaba era la panacea para la solución de problemas de tipo económico, ambiental, demográfico, urbano, etc.; no ha resultado del todo 100% viable, por todos los intereses que se tienen que coordinar para que esto funcione.

Sin embargo, el hecho de que el sector industrial se organice en parques con lleva el beneficio de la posibilidad de una reducción en los costos del manejo de descargas y temas relacionados, si estos conjuntos se organizan para el tratamiento y manejo de sus efluentes. Pues el manejo de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales puede llegar a no ser económicamente viable para las micro, pequeñas y medianas empresas si estas tuvieran que hacerlo de manera aislada.

El sector industrial en nuestro país, referido a las unidades económicas que llevan a cabo actividades secundarias correspondientes a la transformación de bienes, (De acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte - SCIAN) y que son las mayores consumidoras de agua para este uso, está compuesto por 461,034 unidades económicas, de las cuales el 94% son el sector manufacturero, el 4% el sector de la construcción y 2 % corresponde en conjunto al sector de minería, eléctrico y al de suministro de agua y gas por ductos. (INEGI, 2008)

Refiriéndonos ahora al sector manufacturero, este está compuesto en un 97.9% por micro y pequeñas empresas, las cuales aportan el 23.3% de la producción bruta, y junto con las medianas empresas aportan un total de 51.5% de la producción total, mientras que las grandes empresas, que representan el 0.43% del total de empresas aportan el 48.6% de la producción". (www.cefp.gob.mx, consultado el 21/Ago/14). Esto nos da una idea de la importancia de la participación de las MIPYME'S en el tratamiento de las aguas residuales.

Ahora entrando en materia, se analizará a continuación el marco normativo del cual parte el tratamiento de las aguas residuales en nuestro país.

1.3. Normatividad aplicable a la descarga de aguas residuales industriales en los drenajes municipales.

La descarga de aguas residuales está regulada por la Secretaria del Medio Ambiente a través de la Comisión Nacional del Agua, esta última es el órgano más importante para el manejo y administración del agua en nuestro país.

El fundamento legal más importante a este respecto está plasmado en el Artículo 27 Constitucional y de este se deriva la Ley de Aguas Nacionales. (LAN) y su reglamento.

También como parte de la legislación a considerar, esta la Ley Federal de Derechos LFD, en la cual se establecen las tarifas que se deben pagar por los servicios de abastecimiento de Agua y las obligaciones que hay que cumplir al respecto de las descargas de agua residual industrial.

En el ámbito de Normas Oficiales Mexicanas, actualmente la SEMARNAT tiene vigentes 3 Normas Oficiales Mexicanas que hay que atender en materia de descargas de aguas residuales.

1. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
2. La Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
3. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Y un tema que no se puede dejar de lado, por ser un subproducto de los procesos de tratamiento de aguas residuales, es el del manejo de los lodos, que deben ser tratados para su correcta

disposición en rellenos sanitarios o para su aprovechamiento, o bien, si el lodo producido tiene alguna característica de Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad o es Vector de Infecciones, debe disponerse en un área para el manejo de residuos peligrosos. Este punto esta normado mediante la NOM-004-SEMARNAT-2002.

En la Ley de Aguas Nacionales en los artículos 88 al 91 BIS, se establece que las personas físicas o morales que descarguen aguas residuales a las redes de drenaje o alcantarillado, deberán cumplir con la Normas Oficiales Mexicanas y/o las condiciones de descarga que emita el Estado o Municipio. Y ahí mismo se define a quien corresponde el tratamiento de las aguas residuales.

En el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales en el Art. 134, se establece quien use el agua está obligado a tomar las medidas necesarias para prevenir su contaminación, y en el Art. 135 se establecen las obligaciones de las personas físicas o morales que efectúen descargas a los cuerpos receptores a que se refiere la "LAN", entre las importantes se cuentan:

1. Contar con un permiso de descarga de aguas residuales o presentar un aviso. Este se tramita ante la Comisión Nacional del Agua.
2. Tratar las aguas residuales previas a su vertido.
3. Pagar los derechos por el uso de los cuerpos receptores de agua residuales.
4. Instalar y mantener dispositivos de aforo y accesos para muestreo para verificación de volúmenes de descarga y parámetros.
5. Operar y mantener por sí o por terceros las obras e instalaciones necesarias para el manejo y en su caso tratamiento de las aguas residuales.
6. Llevar un monitoreo de la calidad de las aguas residuales descargadas y mantener los registros al menos tres años.

La Ley Federal de Derechos en el artículo 192, establece las tarifas que hay que pagar para la obtención de un permiso de descarga, en el 192-B las que corresponden a la expedición de certificados de calidad del agua. Así mismo en los artículos 222 al 224 se establecen lineamientos para el pago de los derechos del uso del agua y sus exenciones. En el caso de las empresas que obtengan Certificados de la Calidad del Agua que se les exente de pago de los derechos de sus descargas están obligados a presentar trimestralmente ante la Comisión Nacional del Agua un reporte de la calidad del agua sobre una muestra simple, tomada en día normal de operación, representativa del proceso que genera la descarga de aguas residuales. El reporte deberá entregarse en un máximo de veinte días hábiles posteriores al trimestre que se informa. (ART. 224 LFD). Así mismo en el Artículo 278 B también establece que trimestralmente se deberán realizar las mediciones de DQO y SST.

Dentro de la Ley Federal de Derechos, dentro del título segundo se encuentra el capítulo XIV, que contiene en los artículos 276 al 286 "A" lo referente al pago de derechos por Uso o Aprovechamiento de Bienes del Dominio Público de la Nación como Cuerpos Receptores de las Descargas de Aguas Residuales.

Para el manejo del presente manual se tomarán como base, las definiciones que se establecen en el Artículo 3 de la citada LAN, el Art. 3. de la Ley General del Equilibrio Ecológico, y la protección al Ambiente (LGEEPA), así como las que mencionan las tres normas oficiales en materia de descargas de aguas residuales anteriormente citadas. Se transcriben a continuación para referencia rápida las más importantes utilizadas en el manejo de aguas residuales:

Definiciones más importantes incluidas en la legislación vigente:

“Aguas crudas”: Son las aguas residuales sin tratamiento. (NOM-003-SEMARNAT-1996).

"Aguas Residuales": Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. (LAN).

“Aguas residuales de proceso”: Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable. (NOM-002-SEMARNAT-1996).

"Aprovechamiento": Aplicación del agua en actividades que no impliquen consumo de la misma. (LAN).

“Biosólidos”: Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Concesión": Título que otorga el Ejecutivo Federal, a través de "la Comisión" o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, y de sus bienes públicos inherentes, a las personas físicas o morales de carácter público y privado, excepto los títulos de asignación. (LAN).

"Condiciones Particulares de Descarga": El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por "la Comisión" o por el Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para cada usuario, para un determinado uso o grupo de usuarios de un cuerpo receptor específico con el fin de conservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la presente Ley y los reglamentos derivados de ella. (LAN).

“Condiciones particulares para descargas al alcantarillado urbano o municipal”: El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas. (NOM-002-SEMARNAT-1996).

“Contaminantes”: Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales. (NOM-002-SEMARNAT-1996).

“Contaminantes básicos”: Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno 5 y sólidos suspendidos totales. (NOM-003-SEMARNAT-1996).

“Contaminantes patógenos y parasitarios”: Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 mL (número más probable o

Unidades Formadoras de Colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/L (huevos por litro). (NOM-003-SEMARNAT-1996).

"Cuerpo receptor": La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos. (LAN).

"Carga de Contaminante": La cantidad de un contaminante, expresada en unidades de masa sobre unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales. (Ley Federal de Derechos).

"Descarga": La acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor. (LAN).

"DBO₅": Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. (NMX-AA-028-SCFI-2001).

"Demanda Química de Oxígeno (DQO)": La medida del oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica e inorgánica en una prueba específica. (Ley Federal de Derechos).

"Digestión Anaerobia": Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Digestión Aerobia": Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Estabilización": Son los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final para evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Estabilización alcalina": Es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (Óxido de Calcio CaO) o cal hidratada (Hidróxido de calcio Ca(OH)₂) o equivalentes, a la masa de lodos o biosólidos para elevar el pH. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Explotación": Aplicación del agua en actividades encaminadas a extraer elementos químicos u orgánicos disueltos en la misma, después de las cuales es retornada a su fuente original sin consumo significativo. (LAN).

"Instantáneo": Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar en la descarga. (NOM-002-SEMARNAT-1996).

"Límite Máximo Permisible": Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales. (LAN).

"Lixiviado": Líquido proveniente de lodos y biosólidos, el cual se forma por la reacción o percolación y que contiene contaminantes disueltos o en suspensión. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

“Lodos”: Son sólidos con un contenidos variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de la plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales que no han sido sometidos a procesos de estabilización. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

“Muestra compuesta”: La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la especificación 4.10 de esta Norma Oficial Mexicana. (NOM-002-SEMARNAT-1996)

“Muestra simple”: La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los 7 procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en él. (NOM-002-SEMARNAT-1996)

“Permisos”: Para los fines de la LAN, existen dos acepciones de permisos. (LAN)

“Permisos”: Son los que otorga el Ejecutivo Federal a través de “la Comisión” o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para la construcción de obras hidráulicas y otros de índole diversa relacionadas con el agua y los bienes nacionales a los que se refiere el Artículo 113 de la LAN. (LAN)

“Permisos de Descarga”: Título que otorga el Ejecutivo Federal a través de “la Comisión” o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores de propiedad nacional, a las personas físicas o morales de carácter público y privado. (LAN)

“Promedio diario (P.D)”: Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga. (NOM-002-SEMARNAT-1996).

“Promedio mensual (P.M.)”: Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis de laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes. (NOM-002-SEMARNAT-1996).

“Punto de descarga”: Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga. (NOM-002-SEMARNAT-1996).

“Registro Público de Derechos de Agua”: (REPD) Registro que proporciona información y seguridad jurídica a los usuarios de aguas nacionales y bienes inherentes a través de la inscripción de los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga, así como las modificaciones que se efectúen en las características de los mismos. (LAN).

“Reúso”: La explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales con o sin tratamiento previo. (LAN).

“Residuo”: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó. (LGEEPA).

“Residuos peligrosos”: Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos que le

confieran peligrosidad (CRETIB), así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio y por tanto, representan un peligro al equilibrio ecológico o el ambiente. (LGEEPA).

"Río": Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar. (LAN).

"Uso": Aplicación del agua a una actividad que implique el consumo, parcial o total de ese recurso. (LAN).

"Sólidos Suspendidos Totales: La concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante de microfibra de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros o su equivalente. (Ley Federal de Derechos).

"Sólidos Totales (ST)" Son los materiales residuales que permanecen en los lodos y biosólidos que han sido deshidratados entre 103°C y 105 °C, hasta alcanzar un peso constante y son equivalentes en base a peso seco. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Sólidos Volátiles": Son sólidos orgánicos totales presentes en los lodos y biosólidos que se volatilizan cuando estos se queman a 550°C en presencia de aire por un tiempo determinado. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO)" Es la masa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa en peso seco de los lodos y biosólidos. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

"Tratamiento convencional": Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales. (NOM-001-SEMARNAT-1996).

"Uso industrial": La aplicación de aguas nacionales en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como el agua que se utiliza en parques industriales, calderas, dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aun en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación. (LAN).

"Uso Público Urbano": La aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos, a través de la red municipal. (LAN).

Como referencia rápida, y por el enfoque que tiene el presente trabajo, se transcribe a continuación la tabla 1 de la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarilla urbana municipal, complementándola con parámetros que aun cuando no forman parte de la tabla, se enuncian en los distintos puntos de dicha norma, así como en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

TABLA 1. Límites máximos permisibles de contaminantes básicos.

Parámetros (Miligramos por litro excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico Total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro Total	1	0.5	2
Cobre Total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio Total	0.01	0.015	0.02
Níquel Total	4	6	8
Plomo Total	1	1.5	2
Zinc Total	6	9	12

**TABLA 2. OTROS PARÁMETROS INDICADOS EN LAS NOM'S
(SE REPORTA LA CONDICIÓN MENOS ESTRICTA)**

	P.M	P.D.	Observaciones
DBO. (miligramos por litro)	30	60	Ríos Protección de Vida Acuática
Sólidos Suspendidos Totales (miligramos por litro)	150	200	Ríos uso en Riego Agrícola
Temperatura		40° C	
Nitrógeno total mg/L	40	60	
Fósforo total mg/L	20	30	
pH (potencial hidrógeno)	5.5	10	Min/Max
Coliformes fecales NMP/100 mL	1000	2000	Min/Max.
Huevos de helminto (totales) U/L	1	5	Min/Max.
Materiales o residuos considerados peligrosos			No se deben descargar.
Materia Flotante			Ausente
(NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-001-ECOL-1996).			

CAPÍTULO 2. Tratamiento del agua residual Industrial.

En la industria, dependiendo del tipo de proceso se pueden instalar diferentes procesos de tratamiento, los cuales tienen una secuencia de acuerdo a las características del agua residual que se pretende tratar, en este capítulo se describirán los diferentes procesos de tratamiento y su secuencia, como una referencia para que quienes hagan uso de este manual puedan identificar los procesos que aplican para su caso, y así asociarlos a los formatos que se presentan en este manual para el seguimiento y control.

A continuación se presentan los diferentes tipos de contaminantes del agua, y como referencia, los métodos más utilizados para su remoción:

TABLA 3. CONTAMINANTES Y SUS MÉTODOS DE REMOCION	
CONTAMINANTE	MÉTODO DE REMOCIÓN
CONTAMINANTES BÁSICOS	
a. Grasas y Aceites	Flotación
b. Materia Flotante	Cribado
c. Demanda bioquímica de oxígeno	Tanques de Oxidación o por medio de procesos anaerobios
d. Sólidos Suspendidos Totales.	Floculación, Sedimentación y Filtración
OTROS CONTAMINANTES	
a. Arsénico Total	Coagulación - Floculación – Sedimentación - Filtración.
b. Cadmio total	
c. Cobre Total	
d. Cromo Hexavalente	
e. Mercurio Total	
f. Níquel Total	
g. Plomo Total	
h. Zinc Total	
i. Cianuro Total	
j. Nitrógeno total de Kjeldhal mg/L	Oxidación o por medio de Reactores Anaerobios
k. Fósforo total mg/L	Precipitación química
l. Sulfuros mg/L	
m. Coliformes fecales	Pueden ser tratados con cloro, compuestos de cloro, yodo ¹ , ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; o filtración en múltiples etapas.
n. Huevos de helminto (totales) U/L	
o. pH (potencial hidrógeno)	Neutralización
p. Temperatura	Por medio de torres de enfriamiento, chillers, u otros métodos de intercambio de calor.

El tratamiento de aguas residuales puede llevarse a cabo por medio de procesos Físicos, Químicos o Biológicos, o bien una combinación de ellos que permita una adecuada eliminación de los contaminantes particulares de las aguas residuales que se pretende tratar.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales más comunes se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4. TRATAMIENTOS APLICABLES AL AGUA RESIDUAL.	
<p>2. 1. Pretratamiento Cribado o Desmenuzado. Desarenadores</p> <p>2. 2. Tratamiento Primario Aireación Sedimentación Primaria Filtración</p> <p>2. 3. Tratamiento Secundario Métodos físico-químicos Precipitación química Coagulación Floculación Métodos Biológicos Aerobios Anaerobios</p>	<p>2. 4. Tratamiento Terciario Remoción de nitrógeno Métodos físico-químicos Métodos biológicos Remoción de otros compuestos Métodos físico-químicos Métodos biológicos</p> <p>2. 5. Desinfección. Cloración Radiación ultravioleta Ozonación</p> <p>2. 6. Tratamiento de Lodos</p>
(www.eei.upc.edu, Consultado el 8.08-2014)	

2.1. Pretratamiento.

a) Cribado o Desmenuzado.

Este proceso se lleva a cabo haciendo pasar el agua residual a través de rejillas igualmente espaciadas las cuales permiten retener sólidos gruesos que flotan o se encuentran suspendidos en el agua. Tiene como objetivo prevenir daño a los equipos utilizados en procesos posteriores.

Parámetros de control:

- Volumen de sólidos de retenidos.
- Frecuencia de remoción de desechos retenidos.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Limpieza de las rejillas.
- Envío de desechos a relleno sanitario o tiradero autorizado por la autoridad en la materia.

b) Desarenado.

Este proceso permite la retención en canales de baja profundidad, de los sólidos sedimentables que no fueron retenidos en el proceso de cribado. Estos canales suelen tener declives a través de los que se hace fluir el agua residual para que en el fondo queden depositadas las arenas. Esta es una operación física que aprovecha la fuerza de gravedad que hace que las partículas que son más densas que el agua por medio de una trayectoria descendente se depositen en el fondo. Este proceso también es conocido como decantación.

Parámetros de control:

- Profundidad del lecho de lodos.
- Frecuencia de dragado de lodos.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Limpieza y dragado de los canales desarenadores.
- Mantenimiento de piezas mecánicas
- Envío de los lodos producto del dragado a tratamiento, rellenos sanitarios o tiraderos autorizados.

2.2. Tratamiento Primario.

a) Tanques de aireación.

Estos equipos permiten la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual a través de la inserción de aire por diversos mecanismos en el lecho, lo cual permite que el oxígeno se disuelva en el seno de las aguas residuales. Así mismo, el aire incorporado en estos tanques ayuda a que se lleve a cabo el proceso de flotación de materiales densidad menor a la de agua, formando una nata en la parte superior del tanque, que generalmente es removida por medios mecánicos.

Parámetros de control:

- Sólidos totales a la entrada vs salida.
- DQO a la entrada entrada vs salida.
- Concentración de oxígeno.
- Tiempo de retención.
- Concentración de bacterias. (UFC/L)

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Revisión y mantenimiento periódico de los equipos mecánicos.
- Drenado periódico de los lodos sedimentados para envío a tratamiento y disposición final.

b) Tanques de sedimentación primaria o estabilización.

Estos tanques se utilizan para permitir que la materia en suspensión se sedimente aprovechando la fuerza de gravedad que hace que las partículas más densas que el agua se sedimenten en el fondo del equipo. Este tipo de partículas se tienen en pocas ocasiones en aguas residuales industriales, es por ello que en el ámbito del tratamiento industrial esta etapa se lleva a cabo después de una coagulación – floculación, para hacer más eficiente el proceso, debido a que este depende del tamaño de las partículas a sedimentar, por lo que la velocidad de sedimentación es una de los parámetros de diseño más importantes para estos equipos.

Parámetros de control:

- Sólidos totales a la entrada vs salida.
- DQO a la entrada vs salida.
- Análisis de contaminantes particulares de la instalación sujetos a control, mencionados en el permiso de descarga.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Revisión y mantenimiento periódico de los equipos mecánicos.
- Drenado periódico de los lodos sedimentados para envío a tratamiento y disposición final.

c) Filtración.

En este proceso el agua residual se hace pasar por medio de una capa de espesor variable de algún medio poroso, que retienen las partículas cuando se hace pasar a través de este el agua residual, dependiendo del tipo de contaminantes este proceso de filtración puede llevarse a cabo en filtros de arena o bien de carbón activado. Puede llevarse a cabo a presión atmosférica por gravedad o bien añadiendo presión al sistema, dependiendo de la velocidad de filtración que se requiera en el proceso. En aguas industriales es más común llevar a cabo un proceso de filtración por presión.

Parámetros de control:

- Sólidos suspendidos totales a la entrada vs salida.
- Nivel de saturación del medio filtrante.
- Análisis de contaminantes particulares de la instalación sujetos a control, mencionados en el permiso de descarga.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Revisión de la saturación de los medios filtrantes.
- Realización de retro lavados para mantenimiento de las capas filtrantes.

2.3. Tratamiento Secundario.

a) Métodos físico-químicos.

Estos métodos como bien lo dice su nombre, utilizan la adición de un compuesto que permite una precipitación más efectiva de los contaminantes y va seguida de una segunda etapa de sedimentación y separación de lodos. A continuación se mencionan los más comunes.

i. Precipitación química.

Este proceso está enfocado a separar contaminantes disueltos en el agua, mediante la adición de un compuesto que forma una sal insoluble con los compuestos que se pretende remover. Uno de los principales reactivos utilizados para esta operación son las soluciones o compuestos que contienen Ca^{+2} dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, una aplicación muy común es la eliminación de fosfatos. Adicionalmente estos reactivos que contienen Ca^{+2} tienen cierta capacidad coagulante.

ii. Coagulación – Floculación.

Este proceso está enfocado al tratamiento de aguas residuales que tienen materia en suspensión que por su tamaño extremadamente pequeño, generalmente del orden de micrómetros o nanómetros, ha formado suspensiones coloidales muy estables por la interacción eléctrica que existe entre estas partículas, lo que provoca que la velocidad de sedimentación sea muy lenta o bien no pueda llevarse a cabo la remoción de estas partículas por medio de un procedimiento físico como la sedimentación. Esta operación busca en una primera etapa llamada coagulación, desestabilizar la suspensión coloidal y en una segunda, favorecer la formación de conglomerados de las partículas coloidales para formar flóculos de mayor tamaño que permitan una sedimentación más rápida de estos contaminantes.

Parámetros de control:

- Sólidos suspendidos a la entrada vs salida.
- Concentración de coagulante, floculante o químico para precipitación.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Revisión de la dosificación de químicos para floculación y/o sedimentación.
- Control de las velocidades de agitación en el tanque de coagulación – floculación.

b) Métodos Biológicos.

Estos procesos tienen como principio la utilización de microorganismos, generalmente bacterias, para llevar a cabo la degradación y eliminación de los contaminantes del agua residual, aprovechando la actividad metabólica de estos. La aplicación más habitual es en la eliminación de materia orgánica biodegradable tanto soluble como coloidal, así como de nutrientes. (Nitrógeno y Fósforo).

i. Aerobios.

Son técnicas que basan su funcionamiento en el uso de bacterias que cuya función biológica se lleva a cabo en presencia de oxígeno y las reacciones metabólicas de estos microorganismos generan como subproductos entre otros, bióxido de carbono, agua y un biosólido.

Técnicas.

De cultivo en suspensión

- Lagunas de estabilización aireadas.
- Lodos activados.
- Canales de oxidación.

De cultivo fijo

- Filtros percoladores.
- Sistemas biológicos rotativos.

En este punto profundizaremos un poco en lo que se refiere a la operación de tratamiento por medio de Lodos Activados por ser una de las técnicas más ampliamente utilizada en la industria.

El proceso de Lodos Activados consiste en poner en contacto en un medio que contenga oxígeno, normalmente en un contenedor aireado, el agua residual con flóculos previamente formados, en los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación y para separar los flóculos del agua se ha de llevar a cabo una sedimentación donde se efectúa una recirculación de lodos para mantener la concentración de microorganismos en el interior del reactor.

En la degradación de la materia orgánica se llevan a cabo diversos procesos que van rompiendo las moléculas orgánicas cada vez en moléculas más pequeñas.

Una función importante de los procesos biológicos es que permiten la desestabilización de la materia coloidal, que se adsorbe a los flóculos permitiendo una mayor sedimentación de contaminantes suspendidos y disueltos en las aguas residuales, a medida que se lleva a cabo el proceso de digestión de la materia orgánica.

Un diagrama de flujo de un proceso típico de lodos activados se presenta en la Figura 2.

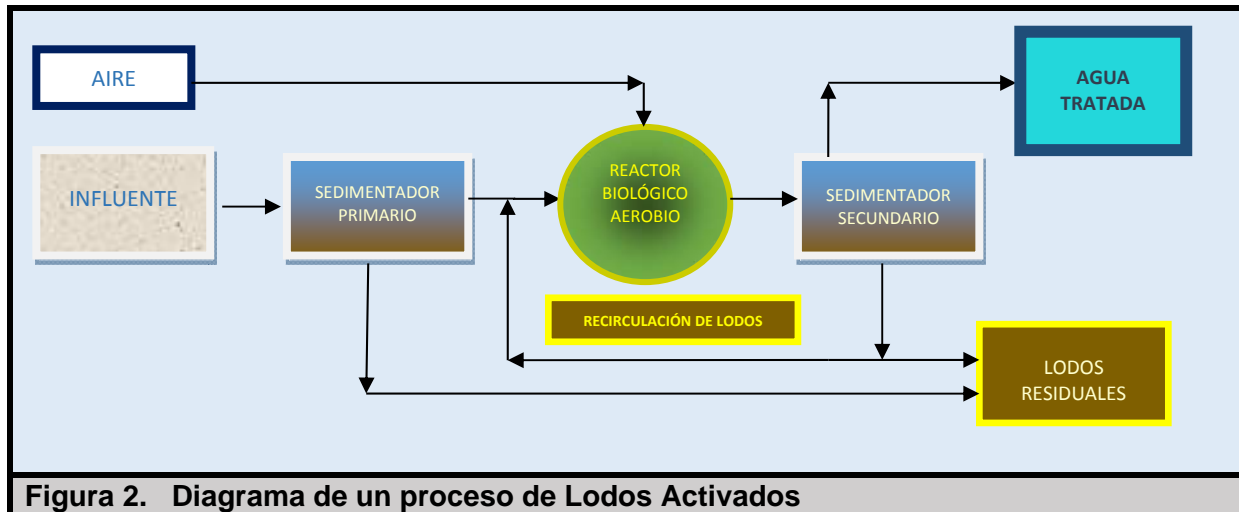


Figura 2. Diagrama de un proceso de Lodos Activados

Un esquema de reacción en estos sistemas se muestra a continuación:



Una desventaja importante de este tipo de sistemas es el alto consumo de energía que se requiere para su operación.

Parámetros de control:

- Aireación. (Concentración de oxígeno disuelto mg/L).
- Relación A/M (Es la relación entre la carga orgánica alimentada al reactor y la cantidad de microorganismos disponibles en el sistema).
- Edad celular. (Tiempo medio que permanecen los lodos - flóculos y microorganismos - en el sistema, generalmente es entre 5 y 8 días en condiciones convencionales de operación).
- pH.
- Eficiencia de remoción de DBO %.

-
- Concentración de biomasa / unidad de volumen del digestor.
 - Relación de recirculación de lodos.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Muestreo para determinación de variables de proceso a la entrada y salida del tren de proceso biológico.
- Registro y análisis de los datos de proceso colectados.
- Desechado de lodos y envío a disposición final.
- Mantenimiento periódico de equipos y piezas mecánicas.

ii. Anaerobios.

Son técnicas que basan su funcionamiento en el uso de bacterias que cuya función biológica se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y sus reacciones metabólicas generan como subproductos principalmente metano, el cual es utilizado como una fuente alterna de producción de energía en las instalaciones de tratamiento, tanto para producción de energía térmica como eléctrica.

Técnicas.

De cultivos en suspensión.

- Digestión anaerobia.
- Reactores anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

De cultivo Fijo.

- Filtro anaerobio.
- Contactores biológicos rotatorios.

Para ejemplificar este método se presenta a continuación una descriptiva del funcionamiento de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) por ser uno de los sistemas de más amplio uso en México para tratamientos de agua residual industrial.

El proceso del tratamiento de agua residual en este tipo de reactores inicia con la etapa de arranque, en esta etapa se debe poner en contacto con el agua residual una cantidad de lodos provenientes de fangos de río, estiércol de vaca, lodos domésticos digeridos o lodo granular que tengan una actividad metanogénica, que permita una concentración de 10 g SSV/L, para iniciar el proceso de inoculación. La literatura recomienda un volumen de inóculo de entre el 15 – 30% en volumen de la capacidad del reactor. Una vez realizada la carga del reactor se debe aislar el sistema de la atmosfera por medio de un gas inerte.

Se debe controlar la velocidad de alimentación del agua residual, y la velocidad ascensional para evitar el arrastre de las bacterias durante la primera fase del arranque del reactor y así evitar sacarlas fuera del sistema. Se debe medir la actividad metanogénica durante esta etapa para monitorear la eficiencia de operación del reactor. Esta es la etapa en la cual la población de las bacterias crece, pues su concentración en el inóculo generalmente es baja. Después de esta etapa viene una etapa de espera, en la cual se monitorea la velocidad de producción de biogás hasta llegar a producción cercana a la que se requiere durante la operación normal del reactor y una vez que se logra esto, se empieza a aumentar la carga hasta llegar a los límites establecidos para la operación normal.

Durante esta etapa es importante monitorear la carga orgánica, el pH, la Temperatura, la producción y composición del Biogás.

Sin duda alguna el producto más importante en el proceso anaerobio, por su valor energético y por qué es el indicador de que la degradación de la materia orgánica ha llegado a hasta el límite, es la producción de biogás. Cuando ocurre un desbalance en el proceso la primera señal es la reducción en la cantidad de gases producidos, lo que ocurre antes del aumento de la concentración de Ácidos Grasos Volátiles (AGV). Esto es debido a que los problemas de procesos se reflejan con mayor intensidad en las bacterias metanogénicas, ocurriendo por tanto reducciones bruscas en la producción de gas, lo que provoca que los ácidos volátiles se acumulen pues continúan siendo formados sin ser consumidos.

La degradación anaerobia de la materia orgánica requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaeróbicas estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo. La digestión anaerobia de la materia orgánica involucra tres grandes grupos de bacterias y cuatro pasos de transformación.

1. Hidrólisis.
Grupo I Bacterias Hidrolíticas.
2. Acidogénesis.
Grupo I Bacterias Fermentativas.
3. Acetogénesis.
Grupo II Bacterias acetogénicas.
4. Metanogénesis.
Grupo III Bacterias Metanogénicas.

Las bacterias del grupo I se encargan de la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares lo que produce moléculas de bajo peso molecular tales como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes que son transportados a través de la membrana celular. Estos productos se consumen por las bacterias fermentativas que convierten los compuestos producidos por las bacterias hidrolíticas, en ácidos grasos con bajo número de carbonos, tales como el ácido acético, fórmico, prociónico o butírico, así como compuestos reducidos del etanol además de H_2 y CO_2 .

Las bacterias del grupo II también llevan a cabo procesos de fermentación pero sobre las moléculas producidas en el paso anterior, produciendo en esta etapa acetato, hidrógeno y CO_2 .

Finalmente las bacterias del grupo III convierten el acetato a metano y CO_2 y/o reducen el CO_2 a metano. Estas bacterias pueden ser de dos tipos acetotróficas o hidrogenotróficas. El metanol, las metilaminas y el ácido fórmico también pueden servir de sustratos para algunas bacterias del grupo metanogénico.

Un resumen de las bacterias y los procesos anaerobios que realiza cada una de ellas se muestra en la figura 3.

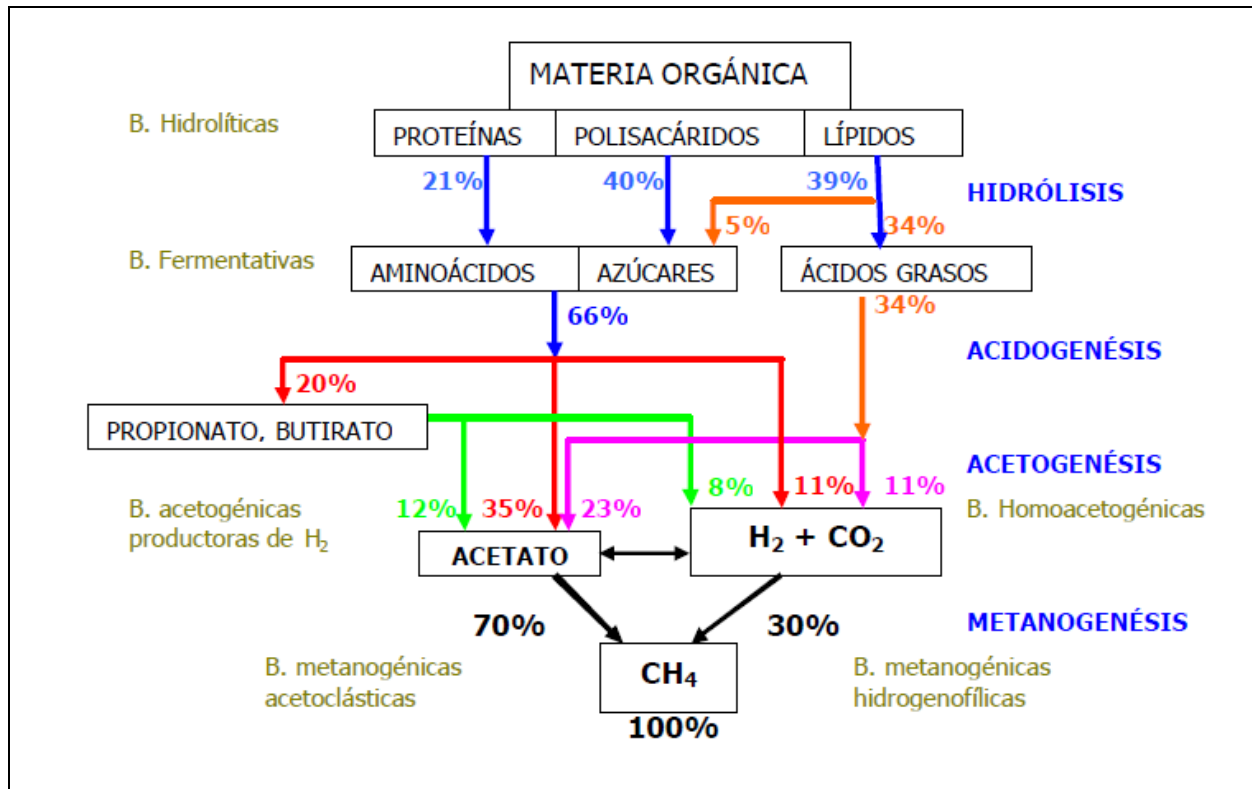


Figura 3. Resumen de tipos de bacterias involucradas en los procesos biológicos anaerobios. (www.ingenieroambiental.com, consultado 28/agosto/2014)

Parámetros de control:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno en el afluente y el efluente.
- Los niveles de sólidos totales y volátiles de entrada y salida.
- Niveles de ácidos grasos volátiles y sulfatos.
- Acumulación de sólidos biológicos.
- Niveles de coliformes fecales y parásitos.
- Carga orgánica del proceso.
- La eficiencia de remoción de materia orgánica y de bacterias.
- Actividad metanogénica, estabilidad y sedimentabilidad.
- Producción de sólidos biológicos del proceso.
- Producción de gas metano.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Muestreo del efluente e influente.
- Verificación de asentamientos.
- Revisión y mantenimiento de partes mecánicas.
- Drenado y control del nivel de lodos.

2.4. Tratamiento Terciario.

a) Remoción de nutrientes. (Nitrógeno y Fósforo)

(www.alojamientos.us.es, consultado 19/ago./2014)

En el vertido de las aguas residuales tratadas, el nitrógeno y el fósforo reviste una gran importancia por el impacto que estos nutrientes tienen en la eutrofización de lagos y embalses, pues estimulan el crecimiento de algas y plantas acuáticas en cursos de aguas poco profundos, por lo cual se debe limitar la concentración de estos nutrientes. Los procesos más empleados son la nitrificación biológica y la desnitrificación con la adición de metanol para la eliminación de fósforo.

El nitrógeno en el agua residual cruda/tratada suele estar presente en forma de amoníaco o de nitrógeno orgánico (urea, aminoácidos), siendo ambas formas solubles. Sin embargo suele presentar bajas concentraciones o nulas de nitrito o nitrato.

En la decantación primaria se elimina una fracción de partículas de materia orgánica, y es en el tratamiento biológico cuando la mayor parte del nitrógeno orgánico se transforma en amonio y otras formas inorgánicas. Parte del amonio se asimila como parte de la materia celular de la biomasa y otra está presente en los efluentes de los decantadores secundarios.

Con los sistemas de tratamiento convencionales se elimina menos del 30% del nitrógeno total. Los dos mecanismos principales que intervienen en este proceso son la asimilación y la nitrificación-desnitrificación.

Los microorganismos presentes en el agua residual tienden a asimilar el nitrógeno amoniacal y a incorporarlo a su masa celular. Con la muerte de las células una parte de este nitrógeno amoniacal retornará al agua residual. En el proceso de nitrificación-desnitrificación, la eliminación de nitrógeno se consigue en dos etapas de conversión. En la primera; la nitrificación, se reduce la demanda de oxígeno del amoníaco mediante su conversión a nitrato. No obstante, en este paso, el nitrógeno apenas ha cambiado de forma y no se ha eliminado. En el segundo paso; la desnitrificación, el nitrato se convierte en un producto gaseoso eliminado.

Los microorganismos consumen fósforo en reactores dispuestos en etapas en serie. Mediante un adecuado control de las condiciones ambientales es posible conseguir que este consumo sea por encima de sus necesidades normales. El fósforo se elimina del sistema por medio de la purga o arrastre de los microorganismos.

2.5. Desinfección.

La desinfección consiste en la destrucción e inactivación de microorganismos patógenos presentes en el agua residual, posterior a un tratamiento biológico. Sobre todo si se pretende reutilizar el agua tratada. Para llevar a cabo este proceso se pueden utilizar método físico como puede ser la radiación o el calor o bien utilizando métodos químicos añadiendo un agente oxidante. A continuación se describen los métodos más comunes.

a) Cloración.

(water.epa.gov, consultada 28-ago-14)

El cloro es agente oxidante más utilizado en los procesos de desinfección, y su utilización depende de la concentración de organismos a destruir y el tiempo de contacto requerido para ello. Cabe señalar que la presencia de sustancias orgánicas disminuye la eficiencia de desinfección; así como la presencia de amonio, hierro y manganeso hacen que la demanda de cloro sea mayor, pues estos lo utilizan en la formación de compuestos clorados.

Se puede utilizar en forma de gas Cl_2 o bien con soluciones de hipoclorito de sodio o dióxido de cloro ClO_2 ambos formados a partir de cloro gas, o suministrados en diluciones acuosas.

El cloro molecular se disocia en el agua formando ácido hipocloroso (HClO) y/o anión hipoclorito (ClO^-), también conocidos como cloro libre disponible, los cuales oxidan el material celular. Al seleccionar el sistema de cloración más adecuado se debe tomar en cuenta la capacidad de penetrar y destruir los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación, la facilidad y seguridad en el almacenamiento y transporte, y los costos de inversión, operación y mantenimiento de los sistemas de desinfección seleccionados.

Para su desempeño óptimo, un sistema de desinfección con cloro debe operar con flujo en pistón y ser muy turbulento para lograr una mezcla inicial en menos de un segundo. El objetivo de un mezclado apropiado es el fomentar la desinfección al iniciar una reacción entre el cloro libre en la corriente de solución de cloro con el nitrógeno amoniacal. Esto previene que concentraciones elevadas de cloro persistan y formen otros compuestos clorinados. El grado de desinfección requerido de cualquier sistema de desinfección por cloración puede ser obtenido mediante la variación de la dosis y el tiempo de contacto. La dosis de cloro varía con base en la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente. La dosis generalmente tiene un rango de 5 a 20 miligramos por litro (mg/L).

Entre las principales ventajas del uso de esta técnica de desinfección, esta su eficiencia de costo respecto a otros métodos como es la radiación UV. O la ozonización. Y la presencia de cloro residual en el efluente puede prolongar el efecto de desinfección después del tratamiento inicial. Sin embargo a pesar de sus bondades las desventajas que presenta aún son importantes, sobre todo por porque es tóxico para algunos organismos acuáticos y dependiendo de los niveles de regulación aplicables, se debe utilizar un método posterior de descloración que incrementa los costos del proceso.

Al usar este método en aguas residuales tratadas es muy importante verificar el nivel de DBO_5 , debido a que el cloro residual puede formar compuestos como los metanos trihalogenados, que son peligrosos.

Parámetros de control:

- Determinación de cloro residual.
- Determinación de coliformes fecales.
- Determinación de huevos de helminto.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Desensamble y limpieza de los diversos componentes del sistema, tales como los metros y flotas una vez cada seis meses.
- Remoción de depósitos de hierro y manganeso usando, por ejemplo, ácido muriático.
- Mantenimiento de las bombas de rebombeo.
- Inspección y limpieza anual de las válvulas y resortes.
- Cumplimiento con las recomendaciones de operación y mantenimiento (O/M) de los fabricantes.
- Evaluación y calibrado de equipos tal como lo recomienda el fabricante de los equipos.
- Desarrollo de un plan de respuesta a emergencias para el almacenaje del gas de cloro.

b) Radiación ultravioleta.

(water.epa.gov, consultada 28-ago-14)

A diferencia de la desinfección con cloro, la desinfección con luz ultravioleta permite la desactivación de los microorganismos patógenos por medio de la transferencia de energía electromagnética. Cuando la radiación UV penetra las paredes celulares de un organismo, esta destruye la habilidad de reproducción de la célula. Una ventaja importante de este método es que no se requiere agregar ningún compuesto adicional al agua para llevar a cabo la desinfección, por lo que podemos decir que este es un método más limpio y seguro.

La producción de la luz UV se lleva a cabo por medio de lámparas de vapor de mercurio que por medio de una descarga eléctrica generan este tipo de radiación. Los principales componentes del sistema son las lámparas de vapor de mercurio, el reactor y los balastos. La fuente de luz UV son las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión, bien sea de intensidad baja o alta. La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara se disipa a medida que la distancia de la lámpara aumenta. Las lámparas de baja presión emiten básicamente luz monocromática a una longitud de onda de 253.7 nm. Las longitudes estándar de las lámparas de baja presión son de 0.75 m y 1.5 metros, y sus diámetros van de 1.5 a 2.0 cm. La temperatura ideal de la pared de la lámpara se encuentra entre 35°C y 50°C.

El agua residual puede fluir en forma perpendicular o paralela a las lámparas. Esto está determinado por la configuración de la cámara de reacción. Hay reactores de contacto y sin contacto, en el caso de los reactores de contacto, las lámparas están recubiertas por una manga de cuarzo. En ambos tipos de reactores el balastro proporciona el voltaje de inicio para las lámparas y mantiene una corriente continua.

Entre las principales ventajas se encuentra su alta efectividad para la desactivación de la mayoría de virus, esporas y quistes; elimina la necesidad de generar, manejar y transportar o almacenar productos químicos que pueden ser tóxicos, peligrosos o corrosivos; no existen efectos residuales que puedan afectar a los seres humanos, y su operación es fácil para el personal. Sin embargo existen algunas desventajas que deben tomarse en consideración cuando se evalúa su aplicación, a continuación se mencionan algunas de ellas: se requiere un buen programa de

mantenimiento preventivo, pues la acumulación de sólidos en la parte exterior de las lámparas disminuye considerablemente su efectividad, esto también sucede con la turbidez y los sólidos suspendidos en el agua residual, pues ello interfiere en la interacción de la radiación con los microorganismos.; otro aspecto que representa una desventaja es que este métodos no es tan económico como la cloración, sin embargo estos pueden llegar a ser competitivos cuando se requiere llevar a cabo descloración por así requerirlo la normatividad.

Parámetros de control:

- Determinación de coliformes fecales. (influyente y efluente).
- Determinación de huevos de helminto.
- Nivel de deposición de sólidos en las lámparas.
- Nivel de intensidad de la radiación.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Desensamble y limpieza de las lámparas.
- Control de tiempo de vida de las lámparas, para determinar su remplazo. (vida útil promedio: entre 8,760 a 14,000 horas).
- Revisión periódica de la intensidad de la las lámparas a fin de determinar si los balastos tienen alguna deficiencia.

c) Ozonación.

El ozono es una molécula de gas inestable que se forma cuando se disocia la molécula de oxígeno O_2 por medio de una corriente eléctrica y estas moléculas disociadas chocan con otra molécula de oxígeno formando O_3 . Este gas tiene propiedades desinfectantes por su alto poder oxidante, que lo hacen muy eficaz para la eliminación de virus y bacterias.

El ozono destruye la pared celular, y daña los componentes de los ácidos nucleicos provocando la despolimerización de los mismos.

Cuando el ozono se descompone en agua, forma radical libre de peróxido de hidrógeno (HO_2^{\cdot}) e hidroxilo (OH^{\cdot}), los cuales tienen gran capacidad de oxidación desempeñando un papel clave en el proceso de desinfección. La desinfección por este método depende del tiempo de contacto y de la concentración del ozono.

Un sistema de desinfección por ozono incluye un generador de ozono que utiliza aire seco que se expone a una descarga controlada que genera el ozono y esta corriente de gas es alimentada a una cámara de contacto que contiene el agua residual a ser desinfectada. Esta cámara esta generalmente agitada para mejorar el contacto durante el tiempo de residencia del influente.

Las ventajas que presenta la desinfección por este sistema es que es más eficaz que el cloro, no existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso de ozonización, el ozono es generado dentro de la planta y su utilización eleva la concentración de oxígeno disuelto en el efluente, lo que puede disminuir la necesidad de reaeración incrementando el nivel de oxígeno disuelto en el cuerpo receptor. Sin embargo también tiene desventajas que deben evaluarse al momento de decidir el proceso a utilizar, entre ellas está el que es una tecnología compleja que requiere equipos complicados y sistemas de contacto eficientes, pues la baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus esporas o bacterias; así mismo el

ozono es muy reactivo y corrosivo, lo que implica utilizar materiales resistentes a la corrosión en los equipos involucrados en el proceso que tengan contacto con el ozono. Debido que el ozono es extremadamente irritante se debe cuidar el manejo de los gases de salida de la cámara de ozonización a fin de prevenir riesgos para los trabajadores que puedan estar en contacto con ello, aunado a esto se incluyen los altos costos de energía eléctrica asociados con el proceso de generación de ozono.

Parámetros de control:

- Determinación de coliformes fecales. (influyente y efluente).
- Determinación de huevos de helminto
- Concentración de ozono en la cámara de contacto.

Actividades en la operación y mantenimiento:

- Revisión periódica de los sistemas para detectar fugas de ozono que alteren la concentración de este en el ambiente.
- Revisar y dar mantenimiento a los sopladores y compresores poniendo atención a los sistemas de lubricación.
- Examinar y limpiar regularmente el ozonizador, el suministro de aire y los ensamblajes dieléctricos, y monitorear regularmente la temperatura del generador de ozono.

2.6. Tratamiento de lodos.

En una planta de tratamiento de aguas residuales no se puede dejar de lado el manejo de los lodos, pues este subproducto del proceso de tratamiento puede representar un volumen importante, que si no se tiene visualizado un buen proceso de manejo y disposición, puede convertirse en un problema en la operación de la planta. Es por ello que una cuantificación y caracterización de los mismos es clave de la programación de la periodicidad de su manejo, almacenamiento y disposición final.

Una vez realizado el desazolve de los sistemas de tratamiento, si no se disponen correctamente pueden ser una fuente de contaminación de los suelos y de atracción de vectores de agentes infecciosos como lo son roedores, moscas o mosquitos.

Los lodos pueden ser tratados de diferentes maneras dependiendo de su caracterización, se les llama de esta manera cuando aún no han sido sometidos a un proceso de estabilización que disminuye su impacto contaminante en el medio; posterior al tratamiento de estabilización, estos se denominan biosólidos cuando su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas posteriormente a su estabilización, los hacen susceptibles de ser aprovechados como agentes mejoradores de suelo, o en otros procesos que produzcan un beneficio.

En los procesos de tratamiento de aguas residuales se producen tres tipos de lodos.

- a) **Lodos primarios:** Es el que proviene de la sedimentación primaria y están constituidos principalmente por los sólidos sedimentables que contiene el agua residual que se está tratando. Este constituye en peso seco, alrededor del 50 % del total de los sólidos generados. Es el más fácil de desaguar, por medio de sedimentación. Este tipo de lodos tienen más de 100 especies de bacterias anaerobias y facultativas, bacterias reductoras de sulfatos, huevos de gusano, moscas, microorganismos patógenos típicos.

-
- b) **Lodos biológicos:** Son los producidos en un proceso de tratamiento tal como los lodos activados, filtros percoladores o biodiscos, y sus características varían con las tasas metabólicas y de crecimiento de los diferentes tipos de microorganismos presentes en el lodo.
- c) **Lodos químicos.** Son los lodos producidos en los procesos de Coagulación, Floculación o estabilización donde es requerida la adición de un compuesto químico para lograr la precipitación o inactivación de los lodos. Estos se mezclan comúnmente con los sólidos del lodo primario y el lodo biológico. La utilización de químicos puede incrementar de manera considerable la producción de lodos.

Adicionalmente se debe considerar el manejo de las arenas finas, arenas gruesas, y basura retenidas en los procesos de cribado y desarenado, pues por sus características deben tener un manejo diferente a los tres tipos de lodos señalados anteriormente, pues pueden ocupar volúmenes importantes en los espesadores de lodos y digestores, así como crear problemas en la operación.

Los principales procesos a los que pueden ser sometidos los lodos para transformarlos en biosólidos se mencionan a continuación:

a. Digestión anaeróbica.

Este proceso consiste primordialmente en que los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario de las aguas residuales, se alimentan en un reactor que a una temperatura de entre 37 °C y 40 °C y aprovechando la actividad de los microorganismos presentes en los lodos, se sigue un proceso similar al que se lleva a cabo para el tratamiento biológico anaerobio de las aguas residuales, lo que permite una reducción de la masa de lodos. “La digestión anaerobia es el proceso con mayores ventajas, sin embargo, su costo de construcción es más elevado, los digestores requieren una gran cantidad de equipos periféricos, requiere que los lodos sean calentados, el agua en el lodo contiene una elevada concentración de amoníaco y se desestabiliza si no se lleva un buen control de la operación”. (Limón, 2013).

Cabe mencionar que este proceso, solo es parte del tren de tratamiento que se requiere, para el manejo de lodos pues para que sea económicamente viable, debe estar vinculado con el manejo de los subproductos que se generan, como es el biogás, que a través de un sistema de cogeneración permite su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica y/o su autoconsumo para calentamiento de la corriente de lodos que se alimentan al reactor. Así también debe considerarse el manejo del agua producto del proceso de tratamiento de los lodos.

b. Digestión aeróbica.

Este tipo de estabilización, aunque tiene un menor costo de construcción que la digestión anaerobia, presenta la desventaja de que el costo de operación es más elevado, ya que requiere suministro de aire para estabilizar los lodos”. Este proceso no produce biogás, y es más viable para plantas que producen volúmenes pequeños de lodos. (Limón, 2013).

c. Composteo.

El composteo se usa generalmente en los lodos que serán utilizados como mejoradores o acondicionadores de suelos. Este proceso requiere de mano de obra intensiva y puede generar

lores. Además, puede incrementar la masa de biosólidos a disponer y transmitir los patógenos por medio del polvo que genera.

d. Adición de materia alcalina.

“La estabilización alcalina con adición de cal presenta la ventaja de una inversión menos costosa y es más fácil de operar que los otros procesos. Sin embargo, este proceso tiene la gran desventaja de que los biosólidos producidos pueden regresar a su estado inestable si el pH cae después del tratamiento, lo que ocasiona el crecimiento de nuevos microorganismos. Otros problemas son los olores y el costo de la cal o material alcalino, que además incrementa la masa de los biosólidos a disponer.” (Limón, 2013)

e. Reducción de la humedad.

“El proceso de desaguado consiste en remover agua de los lodos para tener un material que pueda ser utilizado o dispuesto en algún sitio. En este proceso se tienen dos productos: una torta con características similares a un material sólido, y un sobrenadante con concentraciones elevadas de contaminantes.”

“Este proceso tiene grandes costos de inversión y de operación y mantenimiento ya que generalmente es necesario añadir polímero o algún material coagulante para lograr mejor aglutinación de las partículas y con ello incrementar la eficiencia del proceso.

Dependiendo de las características del lodo producido en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, será el diseño del tren de tratamiento y manejo de lodos que deberá considerarse. Mayores detalles se pueden consultar en la “Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales en plantas”. (CONAGUA, 2013)

CAPÍTULO 3. MEDICIÓN, CONTROL Y REGISTRO.

El manejo administrativo y operacional de una planta de tratamiento de agua residual Industrial, requiere llevar a cabo una serie actividades para funcionar de manera eficiente, iniciando por la gestión de personal que lleve a cabo la operación, suministro de productos químicos para el tratamiento, logística para el manejo de los lodos y productos de desecho, mantenimiento, así como los muestreos, mediciones, análisis de resultados y registros que permitan el control adecuado de la instalación.

En esta sección se hará una propuesta de un sistema para el control administrativo y técnico que permita el buen manejo de la instalación, permitiendo al personal de la planta contar con una guía para la generación del manual de operación, y mantenimiento particular, así como de las secciones de registro que deben acompañar dicho manual; de forma que en un solo lugar se pueda contar con la información necesaria para dar respuesta a una contingencia, o requerimiento de la autoridad en materia de agua; así como permitir a una entidad de supervisión interna o externa entender de manera clara el manejo, operación y estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales para la correcta toma de decisiones.

A continuación se hará una propuesta de las secciones y contenido que se deberán incorporar para controlar la información, y así contar con un centro de información para la planta.

3.1. PROPUESTA DE MANUAL PARA LA ADMINISTRACION Y CONTROL DE LA INFORMACIÓN EN LA OPERACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

Sección I. Datos técnicos generales de la instalación.

I.1. Descripción del proceso bajo la cual opera la planta.

En esta sección del Manual debe describirse de manera clara la forma en que opera la planta y la forma en la cual sus procesos están interrelacionados, a fin de que la persona que consulte esta información pueda tener una referencia clara del funcionamiento de la planta. Cada planta de tratamiento de agua residual industrial es diferente, por ello no es posible generalizar este punto mediante un formato específico, sin embargo en el Capítulo 4 punto 4.1 del presente trabajo se muestra una descripción de proceso para un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, para ejemplificar como se puede hacer el llenado de esta sección.

I.2. Diagrama de flujo de proceso (DFP) de la instalación.

En esta sección se recomienda poner al inicio un DFP, que permita ubicar de manera rápida, los principales equipos que conforman la planta y los sistemas y puntos de control requeridos, dependiendo de la cantidad de información a plasmar en él, puede ser uno indicando equipos y otro indicando puntos de muestreo.

(Ver Capítulo 4, Formato 4.2).

I.3. Listado de equipos e instrumentos.

A la par de los diagramas de flujo, debe colocarse un listado de los equipos e instrumentos involucrados en el proceso, con las capacidades de los equipos y los rangos de operación de los instrumentos para referencia rápida. Este listado de equipos e instrumentos puede organizarse por áreas, y es deseable que incluya la marca y el modelo. **(Ver Capítulo 4, Formato 4.3).**

I.4. Listado de información de ingeniería disponible sobre el diseño de la planta.

Cuando se cuenta en la planta con la información de la ingeniería desarrollada para el diseño de la planta debe incluirse un listado de la misma, indicando el nombre del documento, fecha de emisión y la revisión a la que corresponde el documento mencionado.

En este mismo formato se puede utilizar para registrar los manuales de instalación, operación y mantenimiento de los fabricantes de equipos e instrumentos con los que cuenta la instalación, ya que es de alta importancia que se tengan a la mano para la consulta del personal de operativo y de mantenimiento, en sus labores cotidianas. Hoy en día muchos fabricantes ponen a disposición de sus clientes estos manuales en internet y/o los proporcionan indicándoles el modelo del equipo con el que se cuenta. La mayoría de los equipos mecánicos e instrumentos, incluyen una placa donde se encuentran los principales datos de diseño del dispositivo, en la que se puede ver esta información si no se cuenta con información documental al respecto. **(Ver Capítulo 4, Formato 4.4).**

Sección II. Planeación de las actividades de operación de la planta y matriz de corresponsabilidades.

II.1 Plan general de la planta y matriz de corresponsabilidades.

El plan general de la planta y la matriz de corresponsabilidades da una idea clara de las actividades que se requieren para la operación de la misma, así como asigna a los corresponsables de llevar a cabo la actividad y darle el debido seguimiento.

En el Capítulo 4, sección 4.5 se muestra un formato guía para la elaboración de dicho documento.

II.2 Plan de personal y descripción de puestos.

El plan de personal debe incluir un organigrama del personal involucrado en la operación de la planta, y la descripción de los roles que cada miembro del equipo debe desempeñar a fin de prevenir problemas en la operación y/o mantenimiento porque no se asigne personal para llevar a cabo las actividades de plan general de la planta. Esta sección será dinámica, en función del personal de que se disponga y deberá actualizarse cuando haya algún cambio en la organización del personal para el buen funcionamiento de la planta. **(Ver Capítulo 4, Formato 4.6).**

II.3 Plan de toma de muestras.

En este plan se enumeran los puntos de muestreo y se indica el tipo de muestreo que ha de realizarse, la periodicidad con que se deberá llevar a cabo y las determinaciones que deberán realizarse, con dichas muestras. Si el análisis se hará con el personal de planta o bien se enviarán las muestras a algún laboratorio certificado para su análisis o bien el fin que se persigue con el análisis de dichas muestras (Control del proceso, reporte a la autoridad, determinación de parámetros para dosificación de algún producto químico, etc.) . El plan de toma de muestras permite visualizar el número de muestras que deberán analizarse y los requerimientos para el análisis de las mismas. **(Ver Capítulo 4, Formato 4.7).**

II.4 Plan de consumo de reactivos.

A fin de conocer en cualquier momento los reactivos que se utilizan en la operación de la planta de tratamiento, se recomienda incluir en la planeación un listado de reactivos, y registro de consumos para hacer la programación de la compra de los mismos para que no falten durante la operación. **(Ver Capítulo 4, Formato 4.8).**

II.5 Programa anual de mantenimiento preventivo y registros de mantenimiento correctivo y preventivo.

Todas las instalaciones deben contar con un programa de mantenimiento preventivo a fin de resguardar los equipos en las mejores condiciones operativas posibles. Así mismo cuando haya alguna falla en el sistema deberá hacerse un reporte de mantenimiento correctivo indicando la actividad de mantenimiento realizada así como el análisis de las causas de la misma. **(Ver Capítulo 4, Formato 4.9).**

II.6 Plan de manejo de lodos.

En todas las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, se producen en mayor o menor medida lodos y/o biosólidos a los que se debe designar un manejo para su disposición final de acuerdo a las características del residuo y/o requerimiento normativos. Por lo que en esta sección se deberá realizar una descriptiva de la forma en como deberá hacerse este manejo y la periodicidad que se requiere en función de la carga de sólidos removida durante el tratamiento y la capacidad que se tiene en la planta para su almacenamiento y/o disposición final. **(No se incluye formato).**

Sección III. Registros.

Esta sección del manual debe estar destinada para archivar los registros asociados con el funcionamiento de la planta, este archivo puede organizarse por secciones, archivando los documentos de forma cronológica.

Una sugerencia de las secciones que puede contener se presenta a continuación:

III.1 Resultado de análisis realizados en cada punto de muestreo. (Reportes de laboratorios certificados).

III.2 Registro de los resultados y cálculo de parámetros para evaluación de la operación. (Ver Capítulo 4, Formato 4.10).

III.3 Reportes internos de operación. (Ver Capítulo 4, Formato 4.11).

III.4 Reportes trimestrales a CONAGUA.

III.5 Evaluación del cumplimiento con la normatividad. (Ver Capítulo 4, Formato 4.12).

Sección IV. Métodos de prueba para el control y análisis.

Los manuales en la planta deben incluir una sección con los Métodos de Prueba utilizados para el control y análisis de las muestras tomadas. Algunos parámetros, dependiendo de su complejidad o los requerimientos de laboratorio pueden llegar a ser muy costosos si decide llevarlos a cabo en sitio. Por lo que dependiendo del volumen de muestras a analizar y capacidad de la compañía para mantener personal especializado para la realización de las determinaciones, se recomienda sean enviados a un laboratorio especializado.

A continuación se presentan los métodos de prueba más utilizados para la determinación de contaminantes básicos y se hace la referencia de los métodos disponibles en las Normatividad Mexicana para la determinación de otros contaminantes.

IV.1 Métodos de muestreo.

Las normas mexicanas señalan dos tipos de muestreo, el simple y el compuesto. El muestreo simple nos sirve para determinar las características de instantáneas de efluente en un momento determinado de la operación, a diferencia del muestreo compuesto que nos permite analizar una muestra formada por una serie de muestras simples integradas de manera proporcional al flujo instantáneo medido en el momento de la toma de la muestra.

En el siguiente link se puede consultar la Norma Mexicana vigente para el muestreo, se anexa un resumen de dicha norma en los Apéndices.

NMX-AA-003-1980 Aguas residuales – Muestreo

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-003-1980.pdf>

Un formato para el registro de muestras se presenta en el capítulo 4, sección 4.10.

IV.2 Métodos para la determinación de contaminantes básicos.

IV.2.1 Grasas y aceites.

NMX-AA-005-SCFI-2013: Análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.

Esta norma presenta un método gravimétrico, para medir un grupo de sustancias denominadas como “Grasas y Aceites” con las mismas características fisicoquímicas (en este caso su solubilidad en hexano), que incluyen ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier sustancia susceptible de ser extraída con hexano. Se extraen los puntos más importantes para referencia.

En el siguiente link se puede consultar la Norma Mexicana vigente y se anexa un resumen de dicha norma en los Apéndices.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/nmx-aa-005-scfi-2013.pdf>

IV.2.2 Materia flotante.

NMX-AA-006-SCFI-2010: Análisis de agua - Determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Esta norma presenta un método de prueba cualitativo, para la determinación de materia flotante en muestras de agua residuales en el sitio de muestreo, se transcribe en el presente trabajo parte de dicha norma como referencia.

En el siguiente link se puede consultar la Norma Mexicana vigente y se anexa un resumen de dicha norma en los Apéndices.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-006-SCFI-2010.pdf>

IV.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno

NMX-AA-028-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO₅) y Residuales Tratadas - Método de Prueba

El método de prueba que esta norma nos presenta, establece la metodología para determinar la cantidad de oxígeno que requiere un sistema bacteriano para oxidar la materia orgánica un lapso de 5 días, a una temperatura de 20° C (DBO₅). Haciendo mediciones del oxígeno disuelto al inicio y al final, usando la metodología que establece la NMX-AA-012 SCFI-2001. “Análisis de Agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba”.

En el siguiente link se puede consultar la Norma Mexicana vigente y se anexa un resumen de dicha norma en los Apéndices.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-028-SCFI-2001.pdf>

IV.2.4 Sólidos suspendidos totales.

La determinación de los sólidos suspendidos totales, se puede llevar a cabo con la metodología establecida en la norma “NMX-AA-034-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de Sólidos y Sales Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba”

En el siguiente link se puede consultar la Norma Mexicana vigente y se anexa un resumen de dicha norma en los Apéndices.

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa034-01.pdf>

Otras normas relacionadas con la determinación de sólidos suspendidos se encuentran en:

- NMX-AA-004-SCFI-2013: Análisis de agua - determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-004-SCFI-2013.pdf>
- PROY-NMX-AA-172-SCFI-2013: Análisis de agua - medición del contenido de sólidos en sedimentos por ignición, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas– Método de prueba.
<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/proy-nmx-aa-172-scfi-2013-1310.pdf>

IV. 3 METÓDOS DE PRUEBA PARA OTROS CONTAMINANTES Y PARÁMETROS.

TABLA 5. METÓDOS DE PRUEBA PARA OTROS CONTAMINANTES Y PARÁMETROS			
CONTAMINANTE	UNIDADES	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	NMX DE REFERENCIA
Grasas y aceites	mg/L	Método gravimétrico / Extracción con hexano.	NMX-AA-005-SCFI-2013
Materia flotante	Presente/ Ausente	Cualitativo/ Retención en malla 3 mm de abertura.	NMX-AA-006-SCFI-2010
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L de DBO ₅	Método combinado, para determinación de OD inicial vs. OD final (Método yodométrico /Electrométrico), en una muestra incubada 5 días a 20°C.	NMX-AA-028-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales	mg/L	Evaporación -Calcinación (ST; SVT; SST; SDT).	NMX-AA-034-SCFI-2001
	mL/L	Cono Imhoff . (Sólidos Sedimentables).	NMX-AA-004-SCFI-2013
	g/g de masa seca. g/g de masa húmeda	Sólidos en sedimentos. (Sólidos Volátiles Totales).	PROY-NMX-AA-172-SCFI-2013
Metales	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica.	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cromo hexavalente	mg/L	Reacción de óxido reducción / 1,5-difenilcarbazida en medio ácido.	NMX-AA-044-SCFI-2001.
Cianuro total.	mg/L	Método espectrofotométrico / Método potenciométrico	NMX-AA-058-SCFI-2001
Nitrógeno.	mg/L	Nitritos. (NO ₂) /Diazotización en condiciones ácidas en combinación con espectrofotometría.	NMX-AA-154-SCFI-2011
		N. Total Método Kjeldahl.	NMX-AA-026-SCFI-2010.
		Nitratos. (NO ₃) Reducción con cadmio cuperizado. / Método de sulfato de brucina.	NMX-AA-079-SCFI-2001
Fósforo total	mg/L	Método cloruro estanoso / Método ácido vanadomolibdofosfórico	NMX-AA-029-SCFI-2001
Sulfuros	mg/L	Método del azul de metileno / Método iodométrico / Método potenciométrico	PROY-NMX-AA-084-SCFI-2008

TABLA 5. METÓDOS DE PRUEBA PARA OTROS CONTAMINANTES Y PARÁMETROS

CONTAMINANTE	UNIDADES	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	NMX DE REFERENCIA
Coliformes fecales	Número más Probable (NMP)/100 mL	Inoculación de alicuotas de la muestra con lactosa.	NMX-AA-042-1987
		Método de filtración en membrana.	NMX-AA-102-2006
Huevos de helminto (totales) y otros contaminantes bacteriológicos	U/L	Observación Microscópica - Diferencia de densidades entre los huevos de helminto y las demás sustancias presentes en las aguas residuales.	NMX-AA-113-SCFI-2012
		Photobacterium phosphoreum. Evolución del efecto que ciertas sustancias, pueden tener sobre la intensidad de la luz emitida por la bacteria.	NMX-AA-112-SCFI-1995
		Artemia franciscana. Método biológico - pruebas de toxicidad aguda.	NMX-AA-110-SCFI-1995
pH (potencial hidrógeno)	Escala pH	Método electrométrico.	NMX-AA-008-SCFI-2011
		Medición de la acidez o alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante un álcali o un ácido.	NMX-AA-036-SCFI-2001
Temperatura.	°C	Termómetro o juego de termómetros de líquido en vidrio/ Termómetro con sensor de termistor/Termopar/ Termómetro con resistencia de Pt.	NMX-AA-007-SCFI-2013
Cloro	mg/L	Cl ⁻ Libre y Cl ⁻ Total. / Reacción instantánea con el N,N-dietil-p-fenilendiamina (DFD) en ausencia de iones yoduro.	NMX-AA-108-SCFI-2001
		Cl ⁻ Total. Valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio.	NMX-AA-073-SCFI-2001
		Método iodométrico.	NMX-AA-100-1987
Turbiedad	UNT, Unidades nefelométricas de turbiedad.	Nefelometría con uno o varios detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90°.	NMX-AA-038-SCFI-2001
Color	Unidades de color Pt-Co	Método comparativo. Determinación de color platino cobalto	NMX-AA-045-SCFI-2001
Olor	Índice de intensidad de olor.	Por dilución.	NMX-AA-083-1982
Conductividad electrolítica	S/cm	Conductimetría.	NMX-AA-093-2000

TABLA 5. METÓDOS DE PRUEBA PARA OTROS CONTAMINANTES Y PARÁMETROS

CONTAMINANTE	UNIDADES	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	NMX DE REFERENCIA
Dureza	mg/L CaCO ₃	Se basa en la formación de complejos por la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético con los iones calcio y magnesio.	NMX-AA-072-SCFI-2001
Sulfatos	mg de SO ₄ ²⁻ /L	Método gravimétrico / Método turbidimétrico.	NMX-AA-074-1981
Tensoactivos	Sustancias Activas al Azul de Metileno, mg/L	Formación de un par iónico extractable en cloroformo de color azul por la reacción del azul de metileno catiónico y un tensoactivo aniónico	NMX-AA-039-SCFI-2001
Plaguicidas Organoclorados.	Plaguicidas organoclorados, en cm g/ dm ³	Extracción por partición con un solo disolvente orgánico/ cromatografía gas - líquido usando un detector de captura de electrones.	NMX-AA-071-1981
Fluoruros	Mg F ⁻ /L	Método espectrofotométrico / Método potenciométrico.	NMX-AA-077-SCFI-2001
Boro	mg B/L	Espectrofotometrias a partir de la formación de un compuesto rojo denominado rosocianina.	NMX-AA-063-SCFI-2001
DQO	mg de DQO/L	Reflujo en presencia de sulfato de mercurio (II) de una porción de prueba con una cantidad conocida de dicromato de potasio y catalizador de plata en ácido sulfúrico concentrado en un período fijo, durante el cual parte del dicromato es reducido por el material oxidable presente. Titulación del remanente del dicromato con sulfato ferroso amoniacal. Cálculo del valor de la DQO a partir de la cantidad de dicromato reducido.	NMX-AA-030/1-SCFI-2012 NMX-AA-030/2-SCFI-2011

CAPÍTULO 4. Formatos para registro y control.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

(EJEMPLO, dado que cada planta es diferente, y se debe adaptar de acuerdo a las características específicas de cada proceso.)

DESCRIPCION DE PROCESO TRATAMIENTO MEDIANTE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.

La planta de tratamiento de agua residuales, que forma parte de las instalaciones auxiliares de la “compañía” está compuesta de un tren de tratamiento convencional compuesto por dos canales desarenadores, de limpieza manual, trampa de grasas, un reactor anaerobio de flujo ascendente, que tiene una capacidad para tratar un flujo en operación normal de XXX m³ /día, con una carga a la entrada de XXXX mg/L de sólidos suspendidos totales (SST) y una DBO₅ de XXXX mg/L, descargando agua residual tratada con una DBO₅ máxima de XXXX mg/L, parámetro que está por debajo de los límites máximos permitidos por la normatividad vigente y que finalmente se pasan a un tanque de contacto de cloro, que descarga finalmente al cuerpo receptor ubicado al norte de la planta.

El pretratamiento consta de rejillas y dos canales desarenadores, uno en operación y el otro en reserva previa limpieza. Tanto las rejillas como los desarenadores serán de limpieza manual, por lo que el operador deberá retirar el material retenido en las rejillas y efectuar la extracción de arenas de acuerdo a la cantidad acumulada en los canales desarenadores. Cada uno de los canales desarenadores cuenta con un vertedor proporcional, mismo que puede ser utilizado para determinar el flujo de aguas residuales a la planta de tratamiento, mismo que deberá ser registrado en la bitácora para el control del proceso.

Posteriormente a esto se efectuará un tratamiento del agua, por medio de un reactor anaerobio que también está diseñado para llevar a cabo el proceso de estabilización de lodos. El digester anaerobio se emplea para estabilizar los sólidos biológicos de desecho acumulados, pudiendo procesarlos y proporcionar un lodo desecable estabilizado con alrededor de 3-4% de sólidos con olor aceptable. Los productos finales de degradación anaerobia son gases, principalmente metano, dióxido de carbono CO₂ y pequeñas cantidades de Sulfuro de Hidrógeno, mercaptano R-SH e hidrógeno H₂. El proceso comprende dos etapas: Fermentación ácida y fermentación metánica. El tiempo requerido varía de 2 a 20 días. El nivel óptimo de pH va de 6.8 a 7.4.

El reactor arriba mencionado es un reactor anaerobio de flujo ascendente (R.A.F.A.), donde el agua residual entra en la parte inferior del reactor y el efluente tratado sale por la parte superior. No se tiene internamente ningún relleno para soportar el crecimiento biológico. En este se suman las siguiente ventajas; impide el arrastre de sólidos en el efluente; menor tiempo de retención; costo bajo de construcción y operación, mínimo grado de operación y mantenimiento; menor disponibilidad de terreno.

Como estructura complementaria de tratamiento se cuenta con un tanque de contacto de cloro, con el cual tiene como objetivo la reducción de la carga bacteriana, mediante la desinfección con hipoclorito de sodio.

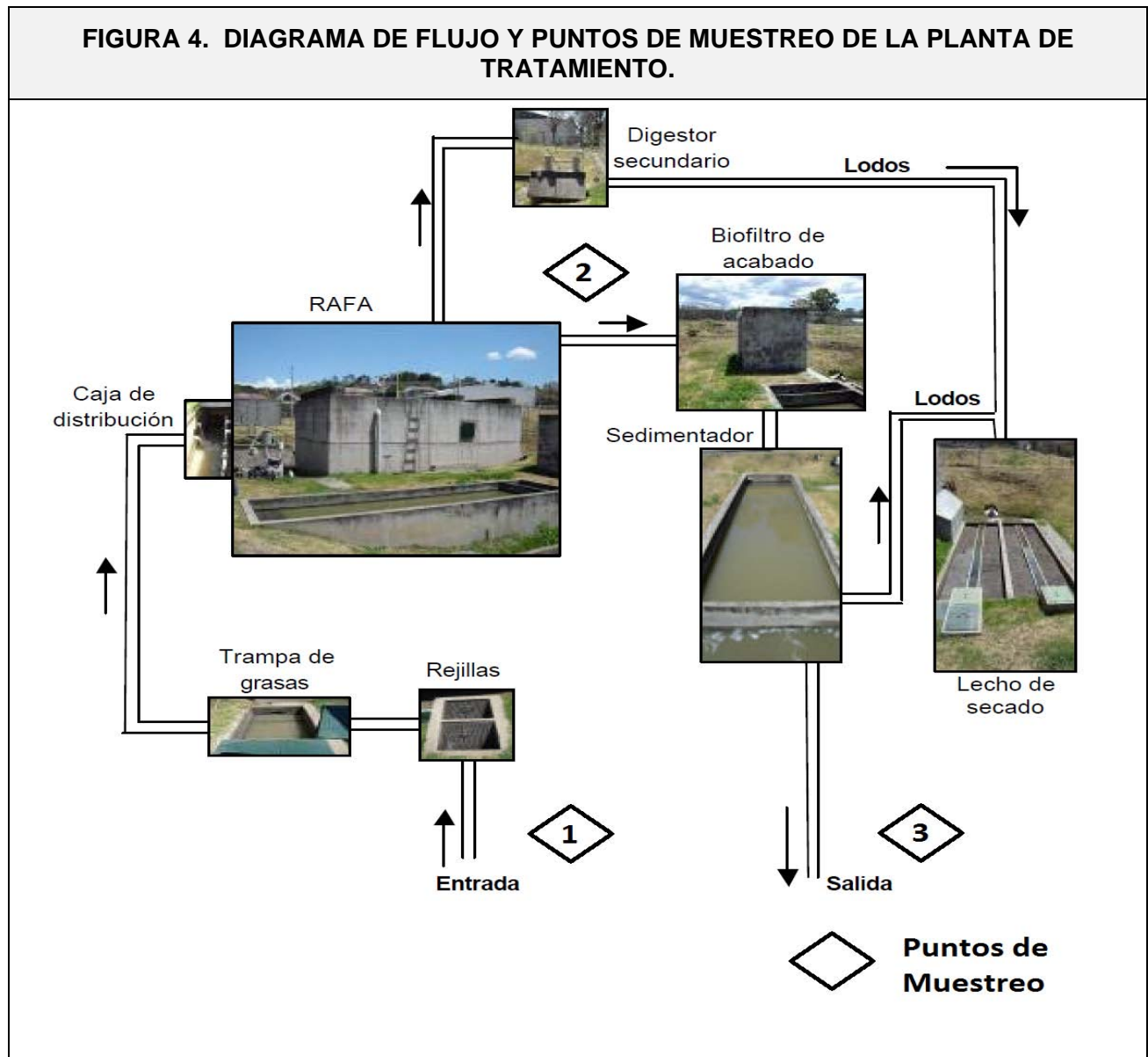
El gas producido en el reactor, es utilizado como combustible de los calentadores de agua para su uso en los vestidores y baños para los empleados, así como en los calentadores del influente al R.A.F.A.

En el diagrama siguiente se muestra un Diagrama de Flujo de Proceso donde se representan los principales equipos y puntos de muestreo requeridos durante el proceso.

(Nota: Para completar el ejemplo aquí presentado se muestra en la sección 4.2 el DFP de este sistema)

4.2. EJEMPLO DE DIAGRAMA DE FLUJO, PARA INCLUSION EN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

FIGURA 4. DIAGRAMA DE FLUJO Y PUNTOS DE MUESTREO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.



4.3. HOJA DE REGISTRO Y CONTROL DE EQUIPO E INSTRUMENTOS.

HOJA DE REGISTRO Y CONTROL DE EQUIPO E INSTRUMENTOS.						
Empresa		Fábrica de productos alimenticios ROSTIMER, S.A. de C.V.				
Planta de tratamiento		Planta para el Manejo de las Aguas Residuales				
Fecha de Actualización		25-enero-1950				
Responsable de la Actualización		Pancracio Schivaliz M.				
Rev. No.		5				
No.	Nombre /Marca/Modelo	Capacidad / Unidades	Fecha del último mantenimiento	Tipo		
				prev	correc	
Equipo Estático y Mecánico Principal						
1	Tanque de Sedimentador Primario (TQ-1234) / SETARMITA / 3I24STSM	20	m ³	10-dic-2011	x	
2	Equipo de aireación para (TQ-1234) / ARIPLUS/ 56PTL	0.8	m ³ STD de aire/hr.	2-jul-2007		x
3	Bomba de lodos P-1231 / PUMPAMAX / 3942RC	3.5	hp	23-abr-2013	x	
Instrumentos en Línea de Proceso						
No.	Nombre /Marca/Modelo	Rango de Medición		Fecha Última calibración		
		Min. / Máx				
1	Termómetro (TI-256A) / TERMIFLEX / pt32ql23	10 °C	65°C	16-jun-2013		
2	Medidor de Flujo salida TQ-1234 / CORIOLITAS / 12st13245	0.3 m ³ /s	2.5 m ³ /s	16-jun-2013		
Instrumentos y Equipo de Laboratorio						
No.	Nombre /Marca/Modelo	Rango de medición		Fecha Última calibración		
		Min. / Máx				
1	Balanza Analítica / Perfectum / 3452	0.001 g	500 g	16-jun-2013		
2	Electródo de pH / Polatima/ 23567GH	2.5	8.5	7-ago-2013		
Formato No. MXTARI - 1				Página 1 de 1		

4.4. Hoja de Registro y Control de la documentación soporte de la operación de la planta de tratamiento.

HOJA DE REGISTRO Y CONTROL DE LA DOCUMENTACIÓN SOPORTE PARA LA OPERACIÓN		
Empresa		
Planta de tratamiento		
No. de Documento.	Nombre del Documento.	Fecha de emisión.
	Permiso de descarga	30-sep-2007
EJEMPLOS DE DOCUMENTOS A REGISTRAR	Reportes de Análisis de las descargas por LABORATORIOS CERTIFICADOS	
	Informes trimestrales de descargas a CONAGUA	
	Notificaciones de la Empresa a CONAGUA	
	Actas de las visitas de Inspección que realice la CONAGUA, PROFEPA o cualquier instancia gubernamental	
	Oficios entre la empresa y las Dependencias (CONAGUA, SEMARNAT, organismos de cuenca, etc.)	
	Copia de los pagos de derechos de agua	
	Certificados	
	Planos y Documentos de Ingeniería asociada a las instalaciones de la planta de Tratamiento.	
	Manuales de instalación, Operación y Mantenimiento de los Equipos que conforman la planta.	

4.5. Plan general de la planta y matriz de corresponsabilidades

PLAN GENERAL DE LA PLANTA Y MATRIZ DE CORRESPONSABILIDADES				
Empresa				
Planta de tratamiento				
Área	Actividad	Frecuencia	Responsable de la ejecución y emisión de reporte	Responsable de verificación y seguimiento.
Desarenado	Revisión de las Rejillas	QUINCENAL	JCG	PSM.
Desarenado	Monitoreo de la profundidad de Lodos	MENSUAL	RFO	PSM.
Desarenado	Drenado de Lodos			
Desarenado	Muestreo del Influyente			
Desarenado	Muestreo de Efluente			
RAFA	Muestreo del Influyente	SEMANAL	TFY	PSM.
RAFA	Muestreo del Efluente			
RAFA	Monitoreo de la producción de gas			
RAFA	Medición de PH			
RAFA	Medición de Temperatura			
RAFA	Purga de Lodos			

4.6. Plan de Personal y Descripción de Puestos

PLAN DE PERSONAL Y DESCRIPCIÓN DE PUESTOS		
Empresa:		
Planta de tratamiento:		
Turnos en los que opera la planta:		
Área	Puesto de trabajo	Actividades a ejecutar.
Operación General		
	Responsable de la operación de la instalación.	
	Responsable de seguimiento y control de la planta	
	Personal de apoyo	
Laboratorio		
	Técnico	
	Ayudante	
Mantenimiento		
	Mecánico	
	Ayudante	

4.7. Plan de toma de muestras

Etapa del proceso	Punto de muestreo	Tipo de prueba	Tipo de muestra	Frecuencia de muestreo	Responsable de la toma de la muestra	Responsable del análisis de resultados y seguimiento.
Reactor	2	DBO ₅	Compuesta	Semanal	JCC	PSM
Reactor	2	pH	Simple	Diario	PPC	PSM
Influyente	1	Q	Compuesta	Lunes	HPL	PSM

4.8. Plan de consumo de químicos.

ETAPA DEL PROCESO / REACTIVO UTILIZADO.	DOSIFICACIÓN - CONCENTRACIÓN	PRESENTACIÓN COMERCIAL	CONSUMO MENSUAL.
Floculación			
Cloruro Férrico	0.7 L/día - Solución 0.5 N	Sacos de 50 Kg.	20 kg.
Polímero.	5 L/día - (Dilución 1:2 en volumen en relación a la presentación comercial)	Tambor de 200 L.	2 Tambores
Reactor Biológico			
Hidróxido de Calcio.			
Material de Inoculación.			
Desinfección.			
Hipoclorito de sodio			
Cloro Gas.			

4.9. Programa anual de mantenimiento preventivo y registros de mantenimiento correctivo y preventivo.

PROGRAMA ANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO																									
PROGRAMACIÓN / VERIFICACIÓN EQUIPO	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic.		
	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	Día	✓	
Tanque de Sedimentador Primario TQ-1234	3						10						6						6						
Equipo de aireación para TQ-1226			3				4				23				15				12					10	
Bomba de Lodos P-1231	12								15								23								
Filtro TQ-1212	9		12		10		9		14		13		10		12		9		7		11		8		

4.10. Registro de los resultados y cálculo de parámetros para evaluación de la operación

HOJA DE REGISTRO Y CONTROL DE PUNTOS DE MUESTREO															
Empresa															
Planta de tratamiento															
Punto de muestreo															
Responsable del Muestreo															
Tipo de muestreo						simple _____					compuesto _____				
FECHA /HORA	Gasto Q (L/s)	T °C	pH	DBO mg/L	DQO mg/L	ST mg/L	SST mg/L	SVT mg/L	N Total mg/L	NH ₃ mg/L	P mg/L	AGV meq/L	Grasas y Aceites mg/L	Coliformes Fecales NMP/100 mL	

4.11. Reportes Internos de Operación

REPORTE DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.	
PERIODO DE OPERACION	10 AL 30 DE MAYO DE 2014
RESPONSABLE:	
PERSONAL INVOLUCRADO EN LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DURANTE EL PERIODO:	
GRÁFICA DE COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS DE LA OPERACIÓN vs INDICADORES DE EFICIENCIA.	RESUMEN INFORMATIVO.
Volumen de Agua residual tratada en el periodo: _____ m ³ . Agua tratada reutilizada en el periodo. _____ m ³ . Residuos sólidos (Lodos y Biosolidos) enviados a disposición Final. _____ Ton.	
<p style="font-size: small;">(..... SST, — DBO, --- Grasas, — — T, — pH, Q, etc.)</p>	En esta sección hacer un reporte del comportamiento de la planta indicando los principales problemas presentados durante el periodo considerado, las actividades más importantes realizadas, las acciones tomadas para atender los requerimientos de la operación.
REPORTE DEL MANTENIMIENTO REALIZADO.	
REPORTE FOTOGRÁFICO.	
LISTADO DE ANEXOS. (Reportes de Laboratorios, Registro de mediciones de parámetros de Operación, Reportes de Mantenimiento de Equipos, Etc.)	
INFORME DE CONSUMO DE REACTIVOS.	

4.12. Guía para la Evaluación del Cumplimiento con la normatividad en materia de descargas de aguas residuales.

Solo aplicable para unidades económicas como las descritas en la sección 1.2 que utilicen agua para uso industrial. (LAN Art. 2, Fracción 58)

1. ¿Cuentas con permiso de descarga de aguas residuales? _____
2. ¿Cuál es tu consumo anual de agua? _____
3. ¿Llevas un registro trimestral del análisis de tus descargas? _____
4. ¿Cuál es tu volumen de descarga trimestral de agua residual? _____
5. ¿Cuentas con algún dispositivo de medición de las descargas de aguas residuales?
6. ¿Tienes habilitado algún punto de muestreo representativo de las descargas de tu proceso productivo?
7. ¿De los siguientes contaminantes cuales son los que están declarados en tu permiso de descarga?:

Básicos

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| a. Grasas y Aceites | f. Mercurio Total |
| b. Materia Flotante | g. Níquel Total |
| c. Demanda Bioquímica de oxígeno | h. Plomo Total |
| d. Sólidos Suspendidos totales. | i. Zinc Total |
| | j. Nitrógeno total de Kjeldhal mg/L |
| | k. Fósforo total mg/L |
| | l. Sulfuros mg/L |
| | m. Coliformes fecales |
| | n. Huevos de helminto (totales) U/L |
| | o. pH (potencial hidrógeno) |
| | p. Temperatura |

Otros

- a. Arsénico Total
- b. Cadmio total
- c. Cianuro Total
- d. Cobre Total
- e. Cromo hexavalente

8. ¿Cuentas con planta de tratamiento de aguas residuales?
9. ¿Estás en un parque industrial que cuente con servicio de tratamiento de aguas residuales?
10. Tus drenajes de agua residual se descargan hacia:
 - El drenaje Municipal. _____
 - A un cuerpo de agua. _____
 - A un drenaje privado dentro de un conjunto industrial. _____
 - Otro _____

11. ¿Cuentas con análisis de la caracterización de tus aguas residuales, expedidos por un Laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación, en materia de aguas residuales?.

12. ¿Se tiene instalado algún sistema de medición de descargas en la instalación?.

13. En caso de contar con una planta de tratamiento de aguas residuales. (Responder: Si / No / No sé)
 - a. ¿Se tienen identificados los puntos de control de su instalación? _____
 - b. Los subproductos del tratamiento de sus aguas residuales :
 - i. Se envían a algún relleno sanitario. _____
 - ii. Se reutilizan como abono para jardines y áreas verdes. _____
 - iii. Están caracterizados como productos peligrosos. _____
 - iv. En caso de que la pregunta anterior sea afirmativa ¿Se cuenta con servicios de recolección y confinamiento de materiales peligrosos. _____

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Hoy en día los medios de información electrónica vía internet, nos permiten tener acceso a una gran cantidad de información para resolver temas de interés, sin embargo, en el ámbito del tratamiento de aguas residuales aún hoy en día, encontrar la información disponible requiere conocer el tema por lo menos de manera general para poder llegar a conocerlo a profundidad y así descartar información que no es confiable.

Es importante difundir el conocimiento del lenguaje que se maneja en el tratamiento de aguas residuales, para poder entender los requerimientos de la ley a este respecto, y así poder comprender el impacto que tiene el no tomar acción en relación al uso y manejo que llevamos a cabo diariamente del agua, y así, antes de llevar a cabo alguna tarea que involucre el uso y aprovechamiento de esta, decidir la forma más conveniente de realizarla con el menor impacto al ambiente.

Hacer conciencia de que no solo el ser humano requiere hacer uso del agua, sino también la flora y la fauna que nos circunda, y que el impacto que tiene la contaminación del agua es general para todos los seres que constituimos el medio ambiente, debería ser un vector que motivara que las empresas MIPYMES se organicen en sus sistemas de producción, para lograr acuerdos en el desarrollo de infraestructura que sirva para minimizar el impacto sumado de sus actividades industriales y comerciales en relación con la contaminación del agua, pues todos contribuimos a esta contaminación; y como se mencionó en el capítulo de antecedentes, aun cuando se cuenta con infraestructura de tratamiento, esta aún no es suficiente para cubrir las necesidades actuales, ni mucho menos para revertir el impacto de años y años de contaminación.

Actualmente existe mucha información sobre tecnologías de tratamiento disponibles, por lo que es importante fomentar el interés de la población a este respecto, pues un grupo de MIPYMES bien informada, organizada e interesada será capaz de contribuir a incrementar el desarrollo de infraestructura para el tratamiento del agua residual industrial.

Considero que en este trabajo se intentó condensar mucha de esta información que se encuentra dispersa en la red, enfocándola a entender lo que se requiere para llevar a cabo el tratamiento del agua residual, y cuáles son los puntos a considerar para poder operar una instalación de tratamiento, por lo que se recomienda su uso para evaluar la situación en el cual se encuentra una MYPIME en su involucramiento en el manejo de sus aguas residuales y considero que la guía incluida en el punto 4.13, puede resultar de gran ayuda en el inicio de la búsqueda de soluciones en este tema.

Así mismo pienso esta guía puede servir de apoyo a operarios de plantas de tratamiento que no conocen a profundidad el tema, y los formatos que aquí se incluyen pueden ayudar a mejorar los existentes en instalaciones que ya están operando, o que no cuentan con un buen control de la información que manejan.

Se considera que este trabajo puede servir de base para futuros desarrollos para manuales de plantas de tratamiento de aguas residuales específicas o para fundamentar y documentar trabajos de investigación en el área de tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS.

1. Comisión Nacional del Agua, Compendio Estadístico de Administración del Agua (CEAA) México, Edición 2013.
2. CONAGUA, Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón, México, 2013.
3. CONAGUA, Términos de referencia para actualizar y complementar los estudios de los principales acuíferos en la cuenca del Valle de México, México, enero 2010.
4. CONAGUA, Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento edición 2013 , México, 2013.
5. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, México, DOF 07-07-2014.
6. De la Peña, M.E.; Ducci, Jorge y Zamora V.; NOTA TÉCNICA # IDB-TN-521, Tratamiento de aguas residuales en México, Banco Interamericano de Desarrollo, México, 2013.
7. Diaz, C.; Esteller. M.V.; López-Vera, F.; "Recursos Hídricos - Conceptos Básicos y estudios de caso en Iberoamérica", Centro Interamericano de Recursos del Agua (UAEM), Piriguazú Ediciones, México, 2005.
8. Gobierno de la Republica, Plan Nacional de Desarrollo. Programa Nacional Hídrico 2012 - 2018. México, 2014.
9. Gobierno del Distrito Federal, Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 Años, México, Octubre 2012.
10. INEGI, Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010. SEDESOL, SEGOB, CONAPO, INEGI. MÉXICO, 2010.
11. Ley de Aguas Nacionales. DOF 07-jun-2013.
12. Ley Federal de Derechos. DOF 30-dic-2014.
13. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. DOF 09-01-2015.
14. Limón Macias, Juan Gualberto; "Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o recurso?", Guadalajara, México, 2013.
15. McGiveney , W.T. ; Kawamura, S. , "Cost estimating manual for water treatment facilities", John Wiley & Sons, Inc, 2008, ISBN 978-0-471-72997-6.
16. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. DOF 06-ene-1997.
17. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. DOF 03-Jun-1998.

-
18. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. DOF 21-sep-1998.
 19. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental - Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. DOF 15-ago-2003.
 20. Oficina Comercial de Pro Chile en México, Estudio de Mercado de Servicios Integrados de Ingeniería en México, México, Noviembre 2011.
 21. Saavedra Shimidzu, J.C., El tratamiento y el Reúso del Agua en el Valle de México, CONAGUA, 2013.

PÁGINAS DE INTERNET

1. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>
2. Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte SCIAN.
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/SCIAN/presentacion.aspx>
3. http://es.wikipedia.org/wiki/Manejo_de_recursos_h%C3%ADricos_en_la_Ciudad_de_M%C3%A9xico
4. <http://www.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/ARCHIVOS/BALANCE.htm>
5. <http://www.acatlan.unam.mx/repositorio/general/Temarios/Licenciatura/Ingenieria-Civil/1157/08-tratamiento-de-las-aguas-residuales.pdf>
6. http://virtual.cocef.org/Documentos_digitalizados/No_identificado_No_Proyecto/Sonora/Sonoyta/Plan_Maestro_Sonoyta/Informe_Final/Capitulo10.pdf
7. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/capitulo2.pdf
8. <http://www.imiq.org/wp-content/uploads/2012/02/18106.pdf>
9. http://virtual.cocef.org/Documentos_digitalizados/No_identificado_No_Proyecto/Sonora/Sonoyta/Plan_Maestro_Sonoyta/Informe_Final/Capitulo10.pdf
10. <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/libro2-hidrologia/HU1-2-03.pdf>
11. <http://sistemamid.com/preview.php?a=3330>
12. <http://www.cmic.org/mnsectores/agua/ptar/CMIC%20mayo%2008.pdf>
13. <http://www.sacmex.df.gob.mx/sacmex/index.php/acerca-de/grandes-obras.html>
14. <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/rep066/vallemez.html>
15. http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Proceso_de_tratamientos_de_aguas_industriales
16. http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos/TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DOMESTICAS%20E%20INDUSTRIALES.pdf
17. http://www.consolider-tragua.com/documentos/tecnologias_tratamiento_agua.pdf
18. <http://www.filtrosyequipos.com/GUEST/residuales/lodosactivados5.pdf>, consultada 10-sep-2014.
19. cidta.usal.es/cursos/ETAP/módulos/libros/TRATAMIENTO.pdf, consultada 10-sep-2014.
20. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>, consultada 20-ago-2014.
27. http://www.ceajalisco.gob.mx/publicaciones/pdf/plantas_tratam_tomo1.pdf, consultada 15-oct-2014
28. http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/30/b_Escobedo_et al.pdf, consultada 15-oct-2014
29. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/017535/017535.pdf>
30. <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/75/3/RCE.pdf>, consultado 21/ago/14
31. <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0022005.pdf>, Consultado el 21/Ago/14.
32. http://www.eei.upc.edu/continguts/APUNTS/MASTER/Aguas_20residuales/5_M_C3_89TODOS_DE_TRATAMIENTO_DE_LAS_AGUAS_RESIDUALES.pdf, Consultado el 8-ago-2014.
33. <http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar/temario/tratam3/nutrientes/nutrientes.htm>, Consultado el 19-ago-2014.
34. http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf, Consultada 28-ago-14
35. http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-064.pdf, Consultada 28-ago-14

APÉNDICES.

RESUMEN DE LAS NORMAS MEXICANAS PARA EL ANÁLISIS DE CONTAMINANTES BÁSICOS.

PRIMERO. Métodos de muestreo.

Las normas mexicanas señalan dos tipos de muestreo, el simple y el compuesto.

El muestreo simple nos sirve para determinar las características de instantáneas de efluente en un momento determinado de la operación, a diferencia del muestreo compuesto que nos permite analizar una muestra formada por una serie de muestras simples integradas de manera proporcional al flujo instantáneo medido en el momento de la toma de la muestra.

En el Siguiete link se puede consultar la Norma Mexicana Vigente para el Muestreo.

- NMX-AA-003-1980 Aguas residuales – Muestreo

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-003-1980.pdf>

Materiales:

1. Recipiente de vidrio o polietileno de 2 litros de capacidad como mínimo. Con tapa Hermética y opaco para evitar la incidencia de la luz.
2. Hielera
3. Flexómetro.
4. Termómetro
5. Etiquetas para la identificación de las muestras, que tengan espacio para anotar los siguientes datos: Identificación de la descarga (Punto de muestreo), Número de muestra, Fecha y hora del muestreo, temperatura de la muestra. Descripción del punto de muestreo, Descripción cualitativa del olor y color de las aguas residuales muestreadas. Nombre de quien tomo la muestra.
6. Cronómetro.

Procedimiento:

Obtención de muestras simples.

- Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.
- Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.
- Cuando el muestreo se hace en una toma:
 - a. Se recomienda, se instalen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales
 - b. Las tomas deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener, deben ser de la menor

-
-
- longitud posible, y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga.
- c. Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.
- Cuando el muestreo se hace en descargas libres (Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro) debe emplearse el siguiente procedimiento:
 - a. El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces antes de efectuar muestreo.
 - b. Se introduce el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en su recipiente.
 - c. La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que ésta siga siendo representativa.
 - Muestreo en canales y colectores :
 - a. Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.
 - b. Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.
 - c. El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.
 - d. El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra.
 - e. Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa.

Obtención de muestras compuestas.

Se recomienda que las muestras sean compuestas (ver inciso 2.6), para que representen el promedio de las variaciones de los contaminantes.

- Las muestras compuestas se obtienen mezclando muestras simples en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y momento del muestreo.

(En la NOM-002-SEMARNAT-1996, se encuentra el procedimiento para la determinación de muestras compuestas, a continuación se transcribe:

“Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times \frac{Qi}{Qt}$$

Donde:

VMS_i = volumen de cada una de las muestras simples “i”, litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Q_i = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Q_t = \sum Q_i hasta Q_n, litros por segundo

En el caso de que en el período de operación del proceso o realización de la actividad generadora de la descarga, ésta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los contaminantes.”)

El intervalo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes del agua residual.

Las muestras compuestas se deben tomar de tal manera que cubran las variaciones de las descargas durante 24 horas como mínimo.

Tanto para las muestras simples como compuestas, los recipientes de preservación de las muestras deben cerrar de forma hermética para evitar que se derramen, y deben conservarse en una hielera o refrigerarse a 4°C hasta el momento en que se realicen los análisis correspondientes. El tiempo entre la toma de muestras y realización de los análisis, se recomienda que no exceda 3 días.

SEGUNDO. Métodos para la determinación de contaminantes básicos.

SEGUNDO A. Grasas y aceites.

NMX-AA-005-SCFI-2013: Análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/nmx-aa-005-scfi-2013.pdf>

Esta norma presenta un método de gravimétrico, para medir un grupo de sustancias denominadas como “Grasas y Aceites” con las mismas características fisicoquímicas (en este caso su solubilidad en hexano), que incluyen ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier sustancia susceptible de ser extraída con hexano. Se extraen los puntos más importantes para referencia.

Reactivos y patrones:

Notas:

1. Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.
2. Cuando se indique agua debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características: a) Conductividad: 5,0 S/cm máx a 25 °C; b) pH: 5,0 a 8,0.
 - a. Ácido clorhídrico concentrado (HCl);
 - b. hexano (C₆H₁₄);
 - c. ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄);
 - d. suspensión de tierra de diatomeas-sílice: de aproximadamente 10 g/L de agua;
 - e. ácido clorhídrico (1:1): mezclar volúmenes iguales de ácido Clorhídrico concentrado y agua;
 - f. ácido sulfúrico (1:1): mezclar volúmenes iguales de ácido sulfúrico concentrado y agua;
 - g. aceite de referencia: preparar una mezcla de grasas y aceites pesando cantidades aproximadamente iguales de aceite mineral y vegetal mixto comercialmente disponibles, acorde a la concentración requerida de grasas y aceites, y agregar la mezcla pesada a 1 L de agua, preservar de acuerdo a 8.3, y
 - h. Sílica gel o agente desecante con indicador colorido de humedad

Materiales.

- i. Cartuchos de extracción de celulosa;
- j. Papel filtro con tamaño de poro medio;
- k. Trozos de papel filtro o algodón;
- l. Embudo Büchner y matraz kitazato;
- m. Probeta graduada de 1 L con divisiones de al menos 10 mL;
- n. Pinzas, y
- o. Desecador.

Equipo

- p. Equipo de extracción por recirculación del solvente;
- q. Bomba de vacío u otra fuente de vacío;
- r. Horno de secado capaz de mantener $103\text{ }^{\circ}\text{C} + 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; u otro dispositivo;
- s. Balanza analítica calibrada, con una resolución de 0,1 mg;
- t. Parrilla o manta de calentamiento, y
- u. Se permite el uso de equipos comerciales automatizados para la extracción.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

- 1) De la superficie del cuerpo de agua coleccionar un volumen de aproximadamente 1 L de muestra en un frasco de vidrio de boca ancha y tapa con contratapa de plástico o metálica. No se permite la colecta de una muestra compuesta. Dado que la muestra entera se ocupa en esta prueba, no se pueden tomar alícuotas de la muestra para realizar otro tipo de análisis.
- 2) En caso de existir la presencia de aceites emulsionados en el agua a muestrear, la muestra se toma de 20 cm a 30 cm de profundidad, en el sitio con menor turbulencia para asegurar una mayor representatividad.
- 3) La muestra debe preservarse por acidificación con ácido clorhídrico 1:1 ó ácido sulfúrico 1:1 a un valor de pH de dos o menor y refrigerarla de $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para muestras con un pH menor de 8, generalmente es suficiente con adicionar 5 mL. Para aquellas muestras con pH superior a 8 agregar ácido concentrado para evitar la dilución de la muestra.
- 4) Evitar llenar el frasco completamente para evitar pérdida de grasas y aceites.
- 5) El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 30 días.

Procedimiento:

- 1) Medir el pH de las muestras el cual debe ser de dos o menor, si no tiene este valor acidifique con ácido clorhídrico 1:1 o ácido sulfúrico 1:1.
- 2) Para muestras con un pH menor de 8, generalmente es suficiente con adicionar 5 mL de ácido clorhídrico 1:1 ó 2 mL de ácido sulfúrico 1:1; para aquellas muestras con pH superior a 8 agregar ácido concentrado para evitar la dilución de la muestra.
- 3) Preparar los matraces de extracción introduciéndolos al horno a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, enfriar en desecador y pesarlos, repetir el procedimiento hasta obtener una diferencia de $< 0,0005\text{ g}$ en dos ciclos consecutivos; para los cálculos utilizar el último valor de la masa.
- 4) Preparar el material filtrante colocando un papel filtro en el embudo Büchner, colocar el embudo en un matraz Kitazato y agregar 100 mL de la suspensión de tierra de diatomeas-sílice sobre el filtro, aplicar vacío y lavar con al menos 100 mL de agua.
- 5) Transferir el total de la muestra acidificada al embudo Büchner preparado, aplicando vacío hasta que cese el paso de agua. Para determinar el volumen inicial de la muestra vierta el filtrado en una probeta de 1 L.

- 6) Con ayuda de unas pinzas, transferir el material filtrante a un cartucho de extracción. Limpiar las paredes internas del embudo y el frasco contenedor de la muestra, así como la contratapa del frasco con trozos de papel filtro o algodón previamente impregnados de disolvente (hexano), tener cuidado en remover la película de grasa y los sólidos impregnados sobre las paredes; colocar los trozos de papel o algodón en el mismo cartucho.
- 7) Secar el cartucho en el horno a $103\text{ }^{\circ}\text{C} + 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por un período de 30 minutos mínimo; transcurrido este período colocar en el equipo de extracción.
- 8) Adicionar el volumen adecuado de hexano al recipiente de extracción previamente puesto a masa constante y preparar el equipo de extracción. Evitar tocar con las manos el cartucho y el recipiente de extracción, para ello utilizar pinzas o guantes de látex.
- 9) Colocar el equipo de extracción sobre la parrilla de calentamiento, controlar la temperatura del reflujo y extraer a una velocidad de 20 ciclos/hora durante un período de 4 h, el cual se contabiliza a partir del primer reflujo del n-hexano en el equipo de extracción.
- 10) Una vez terminada la extracción recuperar la mayor cantidad del disolvente y evaporar el remanente.
- 11) El recipiente de extracción libre de disolvente se coloca en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente.
- 12) Pesarse el recipiente de extracción y por diferencia de masa medir las grasas y aceites recuperables.
- 13) Analizar una muestra control de calidad (la cual fue preparada como se indica en la sección de reactivos y patrones) y un blanco de reactivo, bajo las mismas condiciones de la muestra.

Cálculos:

- 1) Calcular las grasas y aceites recuperables (GYA) en la muestra usando la siguiente ecuación:

$$GYA = \frac{(m_f - m_i)}{V_m} - \text{Blanco}$$

Donde:

GYA las grasas y aceites recuperables, en mg/L;
 m_f es la masa del recipiente de extracción con el residuo, en mg;
 m_i es el valor de la masa constante del recipiente de extracción vacío, en mg;
 V_m es el volumen de la muestra, en L, y
 Blanco, es el valor del blanco de reactivo, en mg/L.

- 2) Reportar los resultados del análisis, en mg/L

En caso de requerir reportar la media ponderada de grasas y aceites, el laboratorio deberá calcular ésta, en función del caudal de las n muestras simples tomadas.

SEGUNDO B. Materia flotante.

NMX-AA-006-SCFI-2010: Análisis de agua-determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas-método de prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-006-SCFI-2010.pdf>

Esta norma presenta un método de prueba cualitativo, para la determinación de materia flotante en muestras de agua residuales en el sitio de muestreo, se transcribe en el presente trabajo parte de dicha norma como referencia.

Materiales.

- Malla metálica con abertura entre 2.8 mm y 3.3 mm;
- Recipiente de boca ancha con volumen que se encuentre entre 3 y 5 L;
- Agitador de Vidrio con gendarme, y
- Espátula.

Recolección de muestras.

- Debe tomarse un mínimo de 3 L de muestra. La muestra debe ser simple y tomada directamente de la descarga, cuando esto no sea posible utilizar un recipiente de muestreo.
- El análisis debe realizarse en campo;
- No se debe preservar la muestra;
- Tiempo máximo previo al análisis: No aplica.

Procedimiento:

- 1) Verter la muestra a través de la malla, teniendo cuidado de que la materia flotante que sobre nada, quede retenida en dicha malla.
- 2) Arrastrar con agitador de vidrio ó una espátula hacia la malla toda aquella materia flotante que quedara sobre la superficie de la muestra que se está vertiendo o aquella adherida a las paredes del recipiente.
- 3) Interpretación.
 - a. Inmediatamente después de filtrar la muestra se procede al examen de la malla.
 - b. El informe depende de la presencia o ausencia de materia flotante retenida en la malla. Reportar como ausencia de materia flotante, si al examinar la malla no se observa a simple vista ninguna partícula retenida. Reportar como presencia de materia flotante, si al revisar visualmente la malla se encuentran partículas retenidas.

SEGUNDO C. Demanda bioquímica de oxígeno.

NMX-AA-028-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO₅) y Residuales Tratadas - Método de Prueba

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-028-SCFI-2001.pdf>

El método de prueba que esta norma nos presenta, establece la metodología para determinar la cantidad de oxígeno que requiere un sistema bacteriano para oxidar la materia orgánica un lapso de 5 días, a una temperatura de 20° C (DBO₅). Haciendo mediciones del oxígeno disuelto al inicio y al final, usando la metodología que establece la NMX-AA-012 SCFI-2001. “Análisis de Agua - Determinación de Oxígeno Disuelto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.” Se incluye link como referencia.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-012-SCFI-2001.pdf>

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy-nmx-aa-012-1-scfi09.pdf>

Se transcribe los puntos más importantes de la NMX – AA – 028-SCFI-2012. Para referencia rápida.

Reactivos y patrones

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

- a) Resistividad, megohm-cm a 25°C: 0,2 min.;
- b) Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C: 5,0 máx., y
- c) pH: 5,0 a 8,0.

1. Fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄)
2. Fosfato dibásico de potasio (K₂HPO₄)
3. Fosfato dibásico de sodio heptahidratado (Na₂HPO₄•7H₂O)
4. Cloruro de amonio (NH₄Cl)
5. Sulfato de magnesio heptahidratado (MgSO₄•7H₂O)
6. Cloruro de calcio anhidro (CaCl₂)
7. Cloruro férrico hexahidratado (FeCl₃•6H₂O)
8. Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄)
9. Hidróxido de sodio (NaOH)
10. Sulfito de sodio (Na₂SO₃)
11. 2-cloro-6 (triclorometil) piridina
12. Glucosa grado patrón primario (C₆H₁₂O₆)
13. Ácido glutámico grado patrón primario (C₅H₉NO₄)
14. Ácido clorhídrico (HCl)
15. Ácido nítrico (HNO₃)
16. Disolución amortiguadora de fosfato. Pesar aproximadamente 8,5 g de fosfato monobásico de potasio (ver inciso 5.1), 21,75 g de fosfato dibásico de potasio (ver inciso 5.2), 33,4 g de fosfato dibásico de sodio heptahidratado (ver inciso 5.3) y 1,7 g de cloruro de amonio (ver

-
- inciso 4), disolver en 500 mL de agua y aforar a 1 L. El pH de la disolución debe ser de 7,2. Desechar el reactivo (o cualquiera de los siguientes reactivos) si hay algún signo de crecimiento biológico en el frasco de almacenamiento.
17. Disolución de sulfato de magnesio. Pesar aproximadamente 22,5 g de sulfato de magnesio heptahidratado (ver inciso 5.5), disolver en agua y diluir a 1 L.
 18. Disolución de cloruro de calcio. Pesar aproximadamente 27,5 g de cloruro de calcio anhidro (ver inciso 5.6), disolver en agua y diluir a 1 L.
 19. Disolución de cloruro férrico. Pesar aproximadamente 0,25 g de cloruro férrico hexahidratado (ver inciso 7), disolver en agua y diluir a 1 L.
 20. Disolución de ácido sulfúrico (0,1N). Agregar aproximadamente 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 8) a 500 mL de agua, mezclar bien y diluir hasta 1 L.
 21. Disolución de hidróxido de sodio (0,1N). Pesar aproximadamente 4,0 g de hidróxido de sodio (ver inciso 9), disolver en agua y diluir a 1 L.
 22. Disolución de sulfito de sodio. Pesar aproximadamente 1,575 g de sulfito de sodio (ver inciso 10), disolver en agua y diluir a 1 L. Esta disolución no es estable; por lo que debe prepararse diariamente.
 23. Disolución patrón de glucosa-ácido glutámico. Secar glucosa y ácido glutámico a 103°C durante una hora. Pesar aproximadamente y con precisión 150,0 mg de glucosa (ver inciso 12) y 150,0 mg de ácido glutámico (ver inciso 5.13), diluir en agua y aforar a 1 L. Preparar inmediatamente antes de usarla. Esta disolución tiene una DBO5 de 198 mg/L.
 24. Disolución de cloruro de amonio. Pesar aproximadamente 1,15 g de cloruro de amonio (ver inciso 4) y disolver en 500 mL de agua, ajustar el pH a 7,2 con disolución de hidróxido de sodio (ver inciso 21) y aforar a 1 L. La disolución contiene 0,3 mg N/mL.

Equipo

1. Equipo de aireación con difusor
2. Incubador: Controlado por termostato a 20°C ± 1°C. Eliminar toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de oxígeno disuelto.
3. Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
4. Medidor de oxígeno disuelto

Materiales

1. Todo el material usado en la determinación debe ser exclusivo para este procedimiento. Para el lavado del material remojar durante 1 h en una disolución de ácido sulfúrico al 10 % y enjuagar con agua. Los detergentes con base de amoníaco no deben usarse para la limpieza del material.
2. Los contenedores de las muestras deben lavarse con disolución de detergente no iónico, libre de metales, enjuagarse con agua, remojar en ácido toda la noche y volver a enjuagarse con agua libre de metales.
3. Para el material de cuarzo, politetrafluoroetileno o material de vidrio debe dejarse remojando de 12 h a 24 h con HNO₃ (1:1), HCl (1:1) o con agua regia (3 partes de HCl concentrado + 1 parte de HNO₃ concentrado) a 70° C solo en los casos que presente material adherido, después debe ser enjuagado con agua libre de metales.
4. En los casos de que el material presente grasas, enjuagar con acetona y/o hexano.
5. Botellas Winkler de vidrio para incubación con capacidad de 300 mL de aforo total y con boca estrecha, reborde y tapón de vidrio esmerilado, de forma cónica.
6. Contratapa de politetrafluoroetileno u otro material plástico para botella Winkler.
7. Bureta.

Recolección, preservación y almacenamiento de Muestras

1. En el caso de aguas naturales debe tomarse un mínimo de 1 L de muestra en un envase de polietileno o vidrio. En el caso de aguas residuales (DBO5 mayores a 50 mg/L) deben tomarse mínimo 100 mL. Pueden utilizarse muestras simples o compuestas.
2. No se debe agregar ningún preservador a las muestras. Solo deben conservarse a 4°C hasta su análisis.
3. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 h.

Procedimiento

1. Preparación de agua para dilución
 - a) Colocar el volumen requerido de agua en un frasco y añadir por cada litro de agua 1 mL de cada una de las siguientes disoluciones: disolución de sulfato de magnesio, disolución de cloruro de calcio disolución de cloruro férrico (ver inciso 5.19) y disolución amortiguadora de fosfatos Preparar el agua de dilución diariamente. (Ver puntos 16,17 y 18 del punto referente a reactivos)
 - b) Analizar y almacenar el agua de dilución como se describe en los incisos 2 y 3, de tal forma que siempre tenga a mano agua de calidad garantizada. Antes de usar el agua de dilución debe ponerse a una temperatura aproximada de 20°C. Saturar con oxígeno aireando con aire filtrado, libre de materia orgánica durante 1 h por lo menos.
 - c) Si la muestra presenta alto contenido de biocidas como cloro o se sabe de su bajo contenido de materia orgánica, es necesario inocular la muestra. Si se requiere, sembrar el agua de dilución como se indica en el inciso 4.1.
2. Control del agua de dilución.

Utilizar este procedimiento como una comprobación aproximada de la calidad del agua de dilución. Si la disminución de oxígeno disuelto del agua excede de 0,2 mg/L, obtener agua de mejor calidad mejorando la purificación o usar agua de otra fuente. Alternativamente si se requiere inhibir la nitrificación, almacenar el agua de dilución sembrada en una habitación oscura a temperatura ambiente hasta que la captación de oxígeno disuelto se haya reducido lo suficiente para cumplir los criterios de comprobación del agua de dilución. No se recomienda su almacenamiento cuando la DBO5 se va a determinar sin inhibir la nitrificación ya que pueden desarrollarse microorganismos nitrificantes durante ese tiempo. Si el agua de dilución no ha sido almacenada para mejorar su calidad, añadir suficiente inóculo como para un consumo de OD de 0,05 mg/L a 0,1 mg/L en cinco días a 20°C. Al Incubar en un frasco Winkler lleno de agua de dilución durante cinco días a 20°C, el consumo no debe ser mayor a 0,2 mg/L y preferiblemente no menor a 0,1 mg/L.

3. Control de la glucosa-ácido glutámico.

Comprobar en cada lote analítico la calidad del agua de dilución, la efectividad del inóculo y la técnica analítica mediante determinaciones de la DBO5 en muestras estándar de concentración conocida. Utilizar la disolución de glucosa-ácido glutámico (ver inciso 5.23) como disolución madre de control. La glucosa tiene una tasa excepcionalmente alta y variable de oxidación, pero cuando se utiliza con ácido glutámico, dicha tasa se estabiliza y es similar a la obtenida en muchas aguas residuales municipales. Alternativamente, si un agua residual particular contiene un componente

principal identificable que contribuya a la DBO5, utilizar este compuesto en lugar de la glucosa-ácido glutámico. Determinar la DBO5 de una disolución al 2 % de la disolución de control patrón de glucosa-ácido glutámico utilizando las técnicas expuestas en los incisos 4 a 10.

4. Inóculo

4.1. Fuente de la siembra.

4.1.1. Es necesario contar con una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable de la muestra. El agua residual doméstica, los efluentes no clorados o sin desinfección, los efluentes de las plantas de tratamiento de desechos biológicos y las aguas superficiales que reciben las descargas de aguas residuales que contienen poblaciones microbianas satisfactorias. Algunas muestras no contienen una población microbiana suficiente (por ejemplo, algunos residuos industriales no tratados, residuos desinfectados, residuos de alta temperatura o con valores de pH extremos).

Para tales residuos, sembrar el agua de dilución añadiendo una población de microorganismos. La mejor siembra es la que proviene del efluente de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales. Cuando se usa como siembra el efluente de tratamiento biológico de sistema de aguas residuales se recomienda la inhibición de la nitrificación. Cuando no se disponga de ésta, utilizar el sobrenadante del agua residual doméstica después de dejarlo reposar a temperatura ambiente durante al menos 1 h, pero no más de 36 h. Determinar si la población existente es satisfactoria haciendo la prueba de la siembra en una muestra para DBO5. El incremento del valor de la DBO5 indica una siembra exitosa.

4.1.2. Control del inóculo.

Determinar la DBO5 del material de siembra como para cualquier otra muestra. Esto es una siembra control. A partir de este valor y de uno conocido de la dilución del material de siembra (en el agua de dilución) determinar el consumo de OD de la siembra. Lo ideal es hacer disoluciones tales de la siembra que la mayor cantidad de los resultados presenten una disminución de al menos el 50 % del OD. La representación de la disminución del OD (mg/L) con respecto a los mililitros de siembra, tiene que ser una línea recta cuya pendiente corresponde a la disminución de OD por mililitro del inóculo. La intersección del eje de las abscisas (OD) representa el consumo del oxígeno causado por el agua de dilución y debe ser inferior a 0,1 mg/L (ver inciso 8). Para determinar el consumo de OD de una muestra, se resta el consumo de OD de la siembra, del consumo de OD total. La captación de OD total del agua de dilución sembrada debe oscilar entre 0,6 mg/L y 1,0 mg/L.

4.1.3. Pretratamiento de la muestra.

4.1.3.1. Muestras con pH ácido o básico.

Neutralizar las muestras a un pH entre 6,5 y 7,5 con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más del 0,5 %. El pH del agua de dilución sembrada no debe verse afectado por la dilución de la muestra.

4.1.3.2. Muestras que contienen cloro residual

Si es posible, evitar las muestras que contengan cloro residual, tomándolas antes del proceso de cloración. Si la muestra ha sido clorada pero no hay residuo detectable de cloro, sembrar el agua de dilución. Si hay cloro residual, eliminar el cloro de la muestra y sembrar con inóculo (ver inciso 10.4). No se deben analizar las muestras cloradas sin sembrar el agua de dilución. En algunas muestras, el cloro desaparece en el lapso de 1 h a 2 h después de su exposición a la luz. Esto suele ocurrir durante el transporte o la manipulación de la muestra. Para las muestras en las que el residuo de cloro no se disipe en un tiempo razonablemente corto, eliminar el cloro residual añadiendo disolución de sulfito de sodio.

Determinar el volumen requerido de disolución de sulfito de sodio cuantificando el cloro residual total. Añadir a la muestra neutralizada el volumen relativo de la disolución de sulfito de sodio determinada por la prueba anterior, mezclar y después de 10 min a 20 min, comprobar el cloro residual de la muestra.

La determinación de cloro residual se realiza de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-100 (ver Referencias)

4.1.3.3. Muestras sobresaturadas con oxígeno disuelto.

- En aguas frías o en aguas donde se produce la fotosíntesis (aguas de embalses), es posible encontrar muestras que contienen más de 9,0 mg OD/L a 20°C. Para evitar la pérdida de oxígeno durante la incubación de tales muestras, reducir el OD por saturación, calentando la muestra aproximadamente a 20°C en frascos parcialmente llenos mientras se agitan con fuerza o se airean con aire limpio, filtrado y comprimido.
- Ajustar la temperatura de la muestra a 20°C ± 1°C antes de hacer diluciones.

4.1.3.4. Inhibición de la nitrificación

- Si se requiere inhibir la nitrificación adicionar 3,0 mg de 2-cloro-6 (triclorometil) piridina (ver inciso 5.11) a cada uno de los frascos antes de recolectar o bien adicionar la cantidad suficiente de agua para tener una concentración de 10 mg/L aproximadamente.
- Entre las muestras que requieren inhibición de la nitrificación se incluyen, los efluentes tratados biológicamente, las muestras sembradas con efluentes tratados biológicamente y las aguas superficiales entre otras. Debe hacerse la observación del uso de inhibición del nitrógeno cuando se presente el informe de los resultados.

4.1.3.5. Técnica de dilución

- Las diluciones que dan lugar a un OD residual mayor de 1 mg/L y una captación de OD de al menos 2 mg/L después de 5 días de incubación, producen los resultados más confiables. Hacer varias diluciones (al menos 3) por duplicado de la muestra preparada para obtener una captación de OD en dicho intervalo. La experimentación con una muestra concreta permite el uso de un número menor de diluciones. Un análisis más rápido tal como la DQO, presenta una correlación aproximada con la DBO₅ y sirve como una guía para seleccionar las diluciones. En ausencia de datos previos, utilizar las siguientes diluciones: de 0 % a 1 % para los residuos industriales fuertes, de 1 % a 5 % para las aguas residuales sedimentadas y

crudas, del 5 % al 25 % para el efluente tratado biológicamente y del 25 % al 100 % para las aguas superficiales contaminadas.

- Diluciones preparadas directamente en frascos tipo Winkler. Utilizando una pipeta volumétrica, añadir el volumen de muestra deseado a frascos Winkler individuales de 300 mL. Añadir cantidades adecuadas del material de siembra a los frascos tipo Winkler o al agua de dilución. Llenar los frascos con suficiente agua de dilución, sembrada si es necesario, de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas. No realizar diluciones mayores de 1:300 (1 mL de la muestra en un frasco). Determinar el OD inicial en uno de los frascos de cada una de las diferentes diluciones. En los frascos de los duplicados de cada una de las diluciones, Ajustar herméticamente el tapón, poner un sello hidráulico y la contratapa e incubar durante 5 días a 20°C.

4.1.4. Determinación del oxígeno disuelto (OD) inicial.

4.1.4.1. Método yodométrico.

- La determinación del OD inicial se realiza por medio del método yodométrico de azida modificado, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI (ver 2 Referencias).

4.1.4.2. Método electrométrico

- La determinación del OD inicial se realiza por medio del método electrométrico con electrodo de membrana, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMXAA-012-SCFI (ver 2 Referencias). Los aceites, grasas o cualquier sustancia que se adhiera a la membrana puede ser causa de baja respuesta en el electrodo.
- Blanco del agua de dilución. Emplear un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, incubar un frasco de agua de dilución no sembrada. Determinar el OD inicial y final como se especifica en los incisos 10.7 y 10.10. El consumo de OD no debe ser mayor de 0,2 mg/L y preferentemente no menor a 0,1 mg/L.
- Incubación

Incubar a 20°C ± 1°C las botellas de DBO₅ que contengan las muestras con las diluciones deseadas, los controles de siembra, los blancos de agua de dilución y el control de glucosa-ácido glutámico. En caso de no contar con contratapas, diariamente se debe verificar que el sello hidráulico esté intacto en cada botella incubada, agregar agua si es necesario.

4.1.5. Determinación del OD Final.

Después de 5 días de incubación determinar el OD en las diluciones de la muestra, en los controles y en los blancos. La medición del OD debe ser realizada inmediatamente después de destapar la botella de Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

4.1.6. Cálculos DBO₅

Cuando no se utilice inóculo ni diluciones:

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = \text{OD}_i \text{ mg/L} - \text{OD}_5 \text{ mg/L}$$

donde:

OD_i mg/L es el oxígeno disuelto inicial, y
OD₅ mg/L es el oxígeno disuelto al quinto día.

Cuando no se utilice inóculo y se emplea una dilución:

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{OD}_i \text{ mg/L} - \text{OD}_5 \text{ mg/L}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

Cuando se utiliza inóculo sin dilución

$$\text{DBO}_5 \text{ (m/L)} = (\text{OD}_i \text{ mg/L} - \text{OD}_5 \text{ mg/L}) - \frac{C_1(B_1 - B_2)(V_t)}{C_2(V_m)}$$

Cuando se utiliza inóculo con dilución

$$\text{DBO}_5 \text{ (m/L)} = [(\text{OD}_i \text{ mg/L} - \text{OD}_5 \text{ mg/L}) - \frac{C_1(B_1 - B_2)(V_t)}{C_2(V_m)}]$$

donde:

B₁ es el OD del inóculo antes de la incubación, en mg/L;
B₂ es el OD del inóculo después de la incubación, en mg/L;
C₁ es el volumen de inóculo en la muestra;
C₂ es el volumen de inóculo en el inóculo control;
V_t es el volumen total del frasco Winkler, y
V_m es el volumen de muestra sembrada.

Expresar los resultados como CDBO₅ si se inhibe la nitrificación.

Reportar los resultados en mg/L de DBO₅ con dos cifras significativas con la precisión (media, desviación estándar) correspondiente.

Otras referencias:

NMX-AA-030/1-SCFI-2012, Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>

NMX-AA-030/2-SCFI-2011 Análisis de agua - Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba - parte 2 - Determinación del índice de la demanda química de oxígeno – método de tubo sellado a pequeña escala.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-030-2-SCFI-2011.pdf>

SEGUNDO D. Sólidos suspendidos totales.

La determinación de los sólidos suspendidos totales, se puede llevar a cabo con la metodología establecida en la norma “NMX-AA-034-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de Sólidos y Sales Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba”

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa034-01.pdf>

Equipo

1. Bomba de vacío
2. Estufa eléctrica, para operar de 103°C a 105°C
3. Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
4. Mufla eléctrica para operar a 500°C ± 50°C

Materiales

1. Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra
2. Desecador, provisto con un desecante que contenga un indicador colorido de humedad
3. Crisol Gooch de poro fino con adaptador de hule para el equipo de filtración
4. Matraz Kitazato de 1 L a 2 L de capacidad
5. Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al crisol Gooch utilizado con una porosidad de 2 µm o menor
6. Pinzas para crisol
7. Guantes para protección al calor

Reactivos y patrones

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características: a) Resistividad: megohm-cm a 25°C: 0,2 min; b) Conductividad: µS/cm a 25°C: 5,0 Máx.; c) pH: 5,0 a 8,0

1. Cloruro de sodio (NaCl)
2. Carbonato de calcio (CaCO₃)
3. Almidón en polvo
4. Disolución estándar para muestras de control. Agregar la cantidad necesaria de almidón, Cloruro de Sodio (ver inciso 5.1) y Carbonato de Calcio (ver inciso 5.2) de acuerdo con la concentración deseada de sólidos en las muestras de control y diluir a 1 L. Este patrón debe prepararse cada vez que se realice el método.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

1. Deben tomarse un mínimo de 500 mL de muestra en envases de polietileno y taparse inmediatamente después de la colecta. Pueden utilizarse muestras compuestas o simples.
2. No se requiere de ningún tratamiento específico en campo.
3. Debe preservarse la muestra a 4°C hasta su análisis.

-
4. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días. Sin embargo, se recomienda realizar el análisis dentro de las 24 h posteriores a su colecta. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al momento del análisis.

Procedimiento

1. Preparación de cápsulas de porcelana
 - 1.1. Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ aproximadamente 20 min.
 - 1.2. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
 - 1.3. Pesar las cápsulas y registrar los datos.
 - 1.4. Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como peso G.
2. Preparación de crisoles Gooch.
 - 2.1. Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.
 - 2.2. Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ aproximadamente 20 min
 - 2.3. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
 - 2.4. Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como G3.
3. Preparación de la muestra.
 - 3.1. Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.
4. Medición para sólidos totales (ST) y sólidos totales volátiles(SVT)
 - 4.1. Determinación para sólidos totales (ST):
 - 4.1.1. En función de la cantidad de sólidos probables tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado
 - 4.1.2. Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante (ver inciso 9.1.4).

-
- 4.1.3. Llevar a sequedad la muestra en la estufa a 103°C-105°C.
- 4.1.4. Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G1.
- 4.2. Determinación para sólidos totales volátiles (SVT):
- 4.2.1. Introducir la cápsula conteniendo el residuo (ver inciso 4.1.4) a la mufla a 550°C ± 50°C durante 15 min a 20 min, transferir la cápsula a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min, sacar la cápsula, enfriar a Temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G2.
- 4.2.2. Cuando se determinen muestras por duplicado o triplicado, los resultados como máximo pueden tener una variación del 5 por ciento del promedio de los resultados.
- 4.3. Sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV).
- 4.3.1. Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST):
- Medir con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.
 - Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío (ver inciso 9.2), lavar el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.
 - Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 h aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante registrar como peso G4.
- 4.3.2. Determinación de sólidos suspendidos Totales (SST):
- Introducir el crisol que contiene el residuo (ver inciso 9.5.3) y el disco a la mufla, a una temperatura de 550°C± 50°C durante 15 min a 20 min. Sacar el crisol, de la mufla e introducirlo a la estufa a una temperatura de 103°C - 105°C durante 20 min aproximadamente. Sacar y enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G5.
- 4.3.3. Sales disueltas totales (SDT)
- La determinación de las sales disueltas totales es por diferencia entre los sólidos totales menos sólidos suspendidos totales.

Cálculos

1. Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$ST = (G1 - G) * 1\ 000 / V$$

donde:

ST son los sólidos totales, en mg/L;
G1 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en mg;
G es el peso de la cápsula vacía, en mg a peso constante, y
V es el volumen de muestra, en mL.

2. Calcular el contenido de sólidos totales volátiles de las muestras como sigue:

$$SVT = (G1 - G2) * 1\ 000 / V$$

donde:

SVT es la materia orgánica total, en mg/L;
G2 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la calcinación, en mg,
y
V es el volumen de muestra, en mL.

3. Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G3) * 1\ 000 / V$$

donde:

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L;
G3 es el peso del crisol con el disco a peso constante, en mg;
G4 es el peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg, y
V es el volumen de muestra, en mL.

4. Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G5) * 1\ 000 / V$$

donde:

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L;
G5 es el peso del crisol con el residuo, después de la calcinación, en mg;
V es el volumen de muestra, en mL.

5. Calcular el contenido de sales disueltas totales de las muestras como sigue:

$$SDT = ST - SST$$

donde:

SDT son las sales disueltas totales, en mg/L
ST son los sólidos totales, en mg/L
SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L

-
6. Reportar los valores obtenidos de la muestra control junto con los resultados del análisis.
 7. Reportar los resultados, en mg/L.

Otras referencias:

NMX-AA-004-SCFI-2013 : Análisis de agua - determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-004-SCFI-2013.pdf>

PROY-NMX-AA-172-SCFI-2013 Análisis de agua - medición del contenido de Sólidos en sedimentos por ignición, en aguas Naturales, residuales y residuales tratadas– Método de prueba

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/proy-nmx-aa-172-scfi-2013-1310.pdf>

TERCERO. REFERENCIAS PARA LA DETERMINACIÓN DE OTROS CONTAMINANTES Y PARAMETROS.

Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc.

NMX-AA-051-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa051-01.pdf>

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy0909/proy-nmx-aa-051-3-scfi-08.pdf>

Cromo hexavalente

NMX-AA-044-SCFI-2001. Análisis de Aguas - Determinación de Cromo Hexavalente en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-044-SCFI-2001.pdf>

Cianuro total.

NMX-AA-058-SCFI-2001: Análisis de aguas - determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-058-SCFI-2001.pdf>

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/p-nmx-aa-058-scfi-2008.pdf>

Nitrógeno.

NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de agua-medición de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-026-SCFI-2010.pdf>

NMX-AA-154-SCFI-2011. Análisis de agua – Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas– método de prueba.

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/nmx-aa-154-scfi11.pdf>

NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de Aguas - Determinación de Nitratos en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de prueba.

http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/secofi_nmx_aa_079_scfi_2001.pdf

Fósforo total.

NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de Aguas - Determinación de Fósforo Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>

Sulfuros

PROY-NMX-AA-084-SCFI-2008, análisis de agua-determinación de sulfuros en aguas naturales y residuales-método de prueba (cancelará a la NMX-AA-084-1982).

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy0909/proy-nmx-aa-084-scfi08.pdf>

Coliformes fecales.

NMX-AA-042-1987. Calidad del Agua - Determinación del Número más Probable (NMP) de Coliformes totales, Coliformes Fecales (Termo tolerantes) y Escherichia Coli Presuntiva.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-042-1987.pdf>

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/nmx-AA-05/proy-nmx-aa-042-scfi-2005.pdf>

NMX-AA-102-2006 Calidad del agua - Detección y Enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termo tolerantes y escherichia-coli presuntiva - Método de filtración en membrana. (CANCELA A LA NMX-AA-102-1987)

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-102-SCFI-2006.pdf>

Huevos de helminto (totales) y otros contaminantes bacteriológicos.

NMX-AA-113-SCFI-2012. ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DEL NÚMERO DE HUEVOS DE HELMINTO EN AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS POR OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-113-SCFI-2012.pdf>

NMX-AA-112-1995-SCFI, Análisis de agua y sedimentos - Evaluación de toxicidad aguda con photobacterium phosphoreum - Método de prueba.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-112-1995.pdf>

NMX-AA-110-1995-SCFI, Análisis de agua - Evaluación de toxicidad aguda con artemia franciscana Kellogg (Crustácea - Anostraca) - Método de prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-110-SCFI-1995.pdf>

pH (potencial hidrógeno).

NMX-AA-008-SCFI-2011 Análisis de agua - determinación del ph - método de prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-008-SCFI11.pdf>

NMX-AA-036-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de la Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-036-SCFI-2001.pdf>

Temperatura.

NMX-AA-007-SCFI-2013 : Análisis de agua – medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/nmx-aa-007-scfi-2013.pdf>

Cloro.

NMX-AA-108-SCFI-2001 Calidad del agua - Determinación de cloro libre y cloro total - Método de prueba

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-108-SCFI-2001.pdf>

NMX-AA-073-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>

NMX-AA-100-1987, CALIDAD DEL AGUA - DETERMINACIÓN DE CLORO TOTAL – MÉTODO IODOMÉTRICO.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-100-1987.pdf>

Turbiedad – Color – Olor – Conductividad.

NMX-AA-038-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf>

NMX-AA-045-SCFI-2001. Análisis de Agua - Determinación de Color Platino Cobalto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-045-SCFI-2001.pdf>

NMX-AA-017-1980 Aguas. - Determinación de Color.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-017-1980.pdf>

NMX-AA-083-1982 “Análisis de Agua.- Determinación De Olor” Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-083-1982.pdf>

NMX-AA-093-2000, ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA-MÉTODO DE PRUEBA.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-093-SCFI-2000.pdf>

Dureza.

NMX-AA-072-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Dureza Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-072-1981) Secretaría de Economía.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-072-SCFI-2001.pdf>

NMX-AA-074-1981 "análisis de agua - determinación del ion sulfato". Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/secofi_nmx_aa_074_1981.pdf

Tensoactivos.

NMX-AA-039-SCFI-2001 Análisis de Aguas - Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-039-SCFI-2001.pdf>

Plaguicidas.

NMX-AA-071-1981, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANO CLORADOS - MÉTODO DE CROMATOGRAFÍA DE GASES.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-071-1981.pdf>

Fluoruros.

NMX-AA-077-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE FLUORUROS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-077-SCFI-2001.pdf>

Boro.

NMX-AA-063-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE BORO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-063-SCFI-2001.pdf>

Otras Normas de Referencias.

NMX-AA-089/1 -1992 Protección al ambiente-calidad del agua Vocabulario- parte 1 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-089-1-SCFI-2010.pdf>

NMX-AA-089/2-2010 Protección al ambiente-calidad del agua Vocabulario- parte 2 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-089-2-SCFI-2010.pdf>

NMX-AA-115-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUA - CRITERIOS GENERALES PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS.

<https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-115-SCFI-2001.pdf>

NOM-008-SCFI-2002. Sistema General de Unidades de Medida. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de noviembre de 2002.