



**Universidad Nacional Autónoma de
México**

**Facultad de Estudios Superiores
Zaragoza**



Ingeniería Química

Título de tesis

**Importancia del saneamiento de las aguas residuales en la
cuenca del Lerma en el Estado de México**

Autor:

Lima Torres Karen Montserrat

Director de tesis:

I.Q. José Antonio Zamora Plata

CDMX, 2019



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.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre (mom), nunca encontrare las palabras justas o suficientes, para la persona que ha sacrificado su vida por darnos una vida digna a mi hermano y a mí, ella sembró una semilla que le dio día a día amor, cariño y sueños, uno de esos sueños que también se volvió mío es; “llegar a ser una profesional”. Sin más palabras solo diré,-lo estamos logrando querida.

A mi abuelita, desayunos, comidas, cenas y abrigos son tus preocupaciones diarias, con los años encima y me sigues cuidándome, apoyándome y dándome un consejo a tiempo o tardío, pero cada una de tus palabras están en mi corazón.

A mi hermano, te tocó cuidar de mí y guiarme por ser el hermano mayor, sin embargo jamás te enojaste por esa tarea y ahora que ambos somos adultos sigues siendo el mismo que de pequeños me regalo un pescadito dorado, un pollito y una tortuga, cada vez que nos alejábamos unos días.

A mis amigos: Lily, Rubí, Sandí, Mony, Pau, Fanny, Dora, Ara, Ivonne, Clarck, Mario, Neto, Issac, Will, Valentín, Fer y sé que me faltan muchos más por mencionar, saben que están en mi pensamiento así como sus risas e historias juntos, son parte de este logro.

A mi amigo y profesor Vic, acompañarme a comprar una guía de estudios, asesorarme para el ingreso a la universidad y por siempre estar ahí cuando te necesito.

A mi asesor de tesis (Profe Platita) y a mi madrina Alejandra Valentan, por su apoyo, enseñanza y su amistad en cada momento de la carrera ha sido fundamental para lograr mis metas.

A mis maestros que forman parte del jurado y a los que fueron parte de mi formación académica, por sus recomendaciones, observaciones y consejos.

A los ingenieros Roberto Pérez y Luis Gamiño por su apoyo que me brindaron con el aporte de información.

A Dios y a mis santos.

CONTENIDO

| | | |
|-------|--|-----|
| I. | Resumen | 4 |
| II. | Introducción | 5 |
| III. | Planteamiento del problema..... | 8 |
| IV. | Objetivos de la tesis | 8 |
| V. | CAPITULO 1. GENERALIDADES | 9 |
| VI. | CAPITULO 2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, PTAR | 18 |
| VII. | CAPITULO 3. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS..... | 51 |
| VIII. | CAPITULO 4. PROPUESTA DE MEJORA..... | 67 |
| IX. | Conclusiones..... | 75 |
| X. | Referencias Bibliográficas | 80 |
| XI. | Anexo..... | 82 |
| XII. | Glosario..... | 115 |

RESUMEN

En esta tesis se aborda el tema del saneamiento del agua de río contaminado en la cuenca del Lerma, es el resultado de la experiencia laboral adquirida como jefe de turno de la planta de tratamiento de agua Lerma por el encargo de la empresa Ecosistemas.

Durante el año de servicios que laboré en la planta (2018) se dio seguimiento varios parámetros biocinéticos para verificar el cumplimiento de las normas de calidad del agua tratada. Los parámetros que se analizaron son DQO, DBO (ver glosario), sólidos totales, grasas y aceites, coliformes totales y fósforo. El influente a la planta proviene del canal Totoltepec y el efluente se incorpora al Río Lerma.

El objetivo de este trabajo es proponer una mejora al proceso para hacer más eficiente el sistema de tratamiento de agua en planta con el debido cumplimiento de límites señalados por la normatividad. Las evaluaciones efectuadas durante el seguimiento permiten establecer la instalación de un tanque de estabilización a fin de mejorar los parámetros de control mediante un sistema de recirculación.

Se concluye que además de la modificación al proceso con la incursión del sistema de recirculación es necesario la participación de operadores, encargados y funcionarios para un mejor funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (en adelante PTAR, ver anexo A). Las variables climatológicas son consideradas como no controlables, sin embargo su impacto en el proceso es grave debido a la sobrecarga de flujo en épocas de lluvias, lo cual repercute en la solicitud de una ampliación de la planta o en la instalación de otra nueva debido a que la actual ya se encuentra rebasada en su capacidad de diseño. La falta de atención a fallas del equipo o una mala operación afectarán de manera negativa al proceso.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico del Valle de México ha permitido a sus pobladores disfrutar de una vida más cómoda, motivo por el cual la zona tiende a sobrepoblarse, haciendo necesario proveer de servicios a toda esa comunidad. Los habitantes requieren de agua, electricidad, habitaciones, trabajo, hospitales, etc. Así mismo, generan una enorme cantidad de desperdicios urbanos e industriales. El agua de los ríos, lagos y corrientes subterráneas se ha contaminado continuamente. Por ejemplo, el río Lerma es uno de los más perjudicados en México, a lo largo de 750 Km recibe descargas de residuos tóxicos, industriales y domésticos. El río nace en el Estado de México, (ver figura 1). En Almoloya del Río, atraviesa los poblados de Atizapan, San Mateo Atenco y San Pedro Tultepec para luego encaminarse a Metepec y Toluca. Luego se incorpora a la Presa Antonio Alzate para continuar en los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y desembocar al lago de Chapala en Jalisco. En el Estado de México cubre parte de tres regiones hidrológicas: RH-12 Lerma-Santiago, RH-18 Balsas y RH-26 Pánuco. [2].

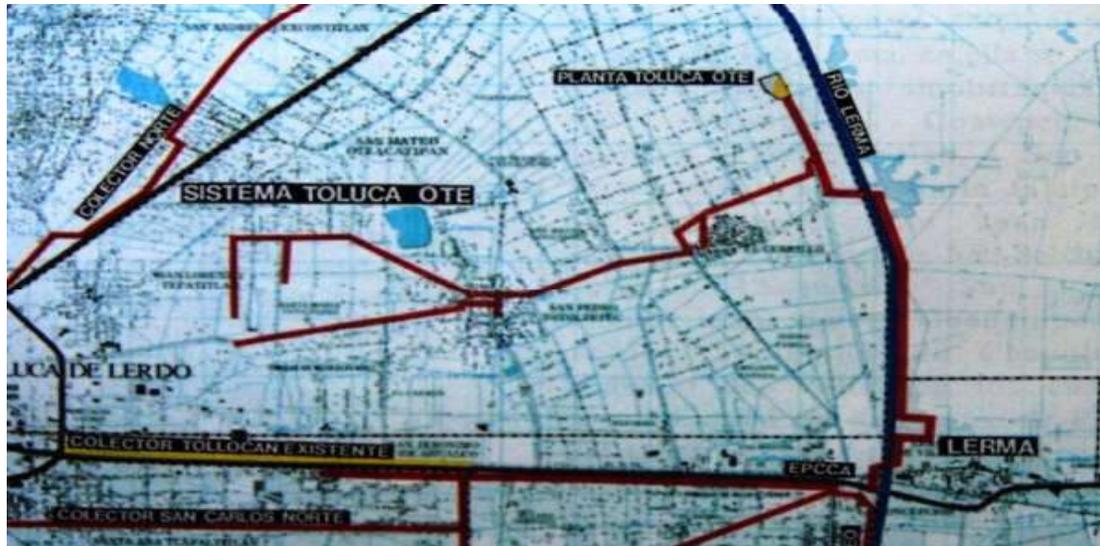


Figura 1. Sistema colector Toluca del Río Lerma

Fuente: Atlas ecológico de CONAGUA 2015

Esta situación de contaminación pone en riesgo la salud de la población que vive en áreas cercanas al río. Los lugareños han visto como el río ha cambiado a través de los años, en él río se lanza basura, residuos sólidos, llantas, animales muertos y costales de cascajo. Figura 2.



Figura 2. Contaminación de los ríos en México

Fuente: <https://www.milenio.com/estados/rio-lerma-es-una-cloaca-esta-biologicamente-muerto>

El cauce del río recibe descargas de aguas negras que al pasar por zonas de producción industrial se contaminan con desechos químicos, ya que cerca de ocho mil empresas del sector manufacturero arrojan sus desechos al río. Varios reportajes llevados a cabo por periódicos y televisoras dan constancias de ello [3, 4], los agricultores han dejado de cosechar espinaca y lechuga debido a que ya no tienen agua para regar la cosecha.

Se estima un total de 400,000 descargas de tipo domiciliario, cuyas deficiencias se presentan en zonas ocupadas por asentamientos humanos dispersos y sin un ordenamiento, principalmente por la irregularidad del terreno que no permite la incorporación del servicio de drenaje, lo cual equivaldría a encauzar las aguas negras a los principales cauces existentes en la cuenca del Lerma. La cobertura del servicio de drenaje de la cuenca del Lerma es muy deficiente, ya que sólo el 54% de viviendas cuentan con el servicio, por lo que existe un total de 121,730 viviendas que no disponen de este servicio. Asimismo, existe un total de 23,247 viviendas cuyo desagüe se encuentra conectado a un río o lago, o bien a una grieta o barranca. Por otro lado, una gran concentración de

vivienda en zonas urbanas impide la recarga del acuífero, fundamentalmente por los materiales empleados y por los coeficientes de ocupación del suelo.

Algunos municipios que tienen zonas industriales cuentan con plantas de tratamiento, las cuales dan un saneamiento previo a el agua ya utilizada en su operaciones, para posteriormente ser vertidas al colector general. Dentro de éstas plantas de tratamiento destaca la planta Reciclagua, que opera desde finales de los años 70 y trata las aguas residuales de 140 industrias del corredor industrial Toluca-Lerma, con una capacidad promedio de 400 L/s. La Tabla 1 muestra los municipios con plantas tratadoras de agua.

Tabla 1. Los municipios con plantas tratadoras y sus volúmenes

| Municipios | Volumen tratado m ³ /d |
|---------------------|-----------------------------------|
| Toluca | 14,079.40 |
| Lerma | 6,224.30 |
| Almoloya de Juárez | 2,594.83 |
| Ocoyoacac | 504.60 |
| Atlacomulco | 490.00 |
| Tianguistenco | 418.34 |
| San Bartolo Morelos | 194.00 |
| Capulhuac | 40.70 |
| Metepec | 20.00 |
| Jocotitlán | 5.00 |
| Ixtlahuaca | 3.40 |
| Zinacantepec | 0.60 |
| Total | 24,575.17 |

Fuente: CONAGUA. Publicaciones /ATLAS2015.pdf

De la industria asentada en estos municipios sólo 110 empresas cuentan con plantas, en las cuales el tipo de tratamiento es primario, secundario y terciario. De los 32 municipios que se encuentran en los alrededores del Río Lerma, se tienen en operación y mantenimiento 21 plantas de tratamiento para aguas residuales municipales, en las que se incluyen dos macro-plantas. El caudal de aguas residuales municipales, generado en la Cuenca, es de 5,418 L/s y se tiene una capacidad de tratamiento de 2,870 L/s equivalente a una cobertura de 52% en este intento por sanear los recursos de esta.

En base al crecimiento anual del parque industrial Toluca 2000, cabe considerar el 52% de los recursos actuales para el tratamiento de las aguas residuales que desembocan en el Lerma ya que

no están siendo suficientes actualmente y a mediano plazo pueden verse superadas por los contaminantes de las empresas sitiadas en las cercanías.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación de la cuenca del Lerma y la sobreexplotación de la misma ha provocado un deterioro y desequilibrio ecológico tanto subterráneo como superficial. Para recuperarla es necesario tratar las aguas residuales del río, no obstante, las plantas instaladas son insuficientes. El agua del río necesita ser saneada para eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos. El enfoque que se da a este trabajo permite que el egresado de la FES Zaragoza pueda sugerir mejoras al proceso de una planta en operación, debido al crecimiento poblacional en la Ciudad de Toluca ha dado lugar al incremento en la carga orgánica depositada en el Lerma que es parte de la corriente del Lerma.

OBJETIVOS DE LA TESIS

Objetivo General

- ✓ Realizar una propuesta de mejora al proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta Lerma.

Objetivos Específicos

- Evaluar el proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta Lerma a partir de parámetros biocinéticos.
- Analizar parámetros biocinéticos en el influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales para verificar el cumplimiento de la norma.

CAPITULO 1. GENERALIDADES

En este capítulo se describen los aportes y avances de manera cronológica del tratamiento de aguas residuales a nivel mundial y nacional. También se aporta información sobre sus caudales en toda la República Mexicana. Señalando finalmente la localización del caso de estudio de esta Tesis.

1.1 Antecedentes históricos en el mundo del proceso de tratamiento de aguas residuales

Se conocen como aguas residuales todos aquellos líquidos que han sido usados por el ser humano en procesos industriales, domésticos, comerciales y de servicios. Comúnmente se habla de aguas negras cuando el agua contiene materia fecal y de aguas grises a las que provienen del uso doméstico. La cantidad del agua contaminada se hace más evidente conforme aumenta el tamaño de los asentamientos humanos, por lo que en las ciudades el tratamiento es un tema prioritario.

El proceso de tratamiento de aguas residuales se inició en Inglaterra en 1882 con los primeros ensayos de aeración de efluentes, sin embargo no alcanzó la mayoría de edad hasta 1914. Aquellos tratamientos servían para controlar los brotes infecciosos en las principales ciudades de ese país [1]. Su objetivo principal es lograr que los efluentes de los procesos domésticos e industriales sean dispuestos sin peligro para la salud humana y sin mayor daño para el ambiente natural [8]. Esto implica la puesta en práctica de principios de ingeniería, química, física y biología, con el fin de remover la mayor cantidad de contaminantes del agua antes de devolverla al medio ambiente [1].

La creación de instalaciones a gran escala de lodos activados se extendería después a Estados Unidos, siendo, a finales de 1930, el proceso predominante en todo el mundo.

En la tabla 2 se muestra la evolución del proceso para tratar el agua cruda a través de los años, como su aportación por país ya que su importancia radica en diseño del proceso que se utiliza actualmente.

Tabla 2. Desarrollo e innovaciones históricas del tratamiento de aguas residuales

| Año | País | Desarrollo |
|------------|-------------|---|
| A.C | Atenas | Irrigación con aguas residuales. |
| 1550 | Alemania | Uso de aguas residuales en agricultura. |
| 1700 | Reino Unido | Uso de aguas residuales en agricultura. |
| 1762 | Reino Unido | Precipitación química de aguas residuales. |
| 1860 | Reino Unido | Tratamiento anaerobio de sólidos de aguas residuales. |
| 1865 | Reino Unido | Experimentos sobre microbiología de digestión de lodos. |
| 1868 | Reino Unido | Investigación sobre filtración intermitente de aguas residuales. |
| 1870 | Reino Unido | Filtración de arena en aguas residuales. |
| 1876 | E.U.A | Primeras fosas sépticas. |
| 1882 | Reino Unido | Experimentos sobre aeración de alcantarillas. |
| 1884 | E.U.A | Introducción de las rejillas de desbaste. |
| 1887 | E.U.A | Estación experimental de Lawrence para el estudio de agua y aguas residuales. |
| 1887 | E.U.A | Primera planta de precipitación química. |
| 1889 | E.U.A | Filtración de lechos de contacto. |
| 1891 | Alemania | Digestión de lodos. |
| 1895 | Reino Unido | Recolección de metano de fosas sépticas y su empleo en alumbrado. |
| 1898 | Reino Unido | Molinete hidráulico para filtros percoladores. |
| 1904 | E.U.A | Empleo de desarenadores. |
| 1904 | Reino Unido | Fosa séptica traves de dos pisos. |
| 1904 | E.U.A | Cloración de aguas residuales. |
| 1906 | E.U.A | Ley de Chink. |
| 1908 | E.U.A | Aplicación de tanques Imhoff. |
| 1911 | E.U.A | Digestión separada de lodos. |
| 1914 | E.U.A | Tratamiento de aguas residuales por lodos activados. |
| 1916 | E.U.A | Primera planta municipal de lodos activados. |
| 1925 | E.U.A | Aeración por contacto. |

Fuente: CEPIS/OMS (2002) [6]

1.2 Antecedentes históricos en México y panorama actual del proceso de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (en adelante PTAR) se empiezan a construir en la Ciudad de México en los años 50's con la construcción de la PTAR Chapultepec (1956), Coyoacán (antes Xochimilco, 1958) y Ciudad Deportiva (1959) con capacidad de diseño de 1190 L/s, siendo su principal objetivo mantener los niveles de los lagos, canales y riego de áreas verdes. Ubicadas en Lomas de Chapultepec en la Ciudad de México, el suministro de agua residual de esta planta proviene de las casas en el alrededor, siendo completamente de uso doméstico. (SACMEX, 2007).

En el período de 1960 a 1979, se construyeron seis plantas de tratamiento más: San Juan de Aragón (1964), Tlaltelolco (1965), Cerro de la Estrella e Iztacalco (1971), Bosques de las Lomas (1973) y Acueducto de Guadalupe (1975). El objeto era el regado de áreas verdes, riego agrícola de los ejidos de Tláhuac y mantener el nivel del Lago de Aragón, con capacidad conjunta de diseño de 4,667 L/s. En los años 1980 al 2000 se construyeron 12 plantas de tratamiento en diferentes zonas de la ciudad: H. Colegio Militar, Reclusorio Sur y el Rosario (1981), San Luis Tlaxialtemalco (1989), Abasolo y Parres (1993), Campo Militar 1, La Lupita, PEMEX y San Miguel Xicalco (1994), San Andrés Mixquic y San Pedro Actopan (1997), con tan solo 413 L/s, de capacidad de diseño. En el mismo periodo también se construyó la planta Santa Fe y Tetelco para el riego de áreas verdes e infiltración y para el saneamiento de los cauces de la zona Oriente respectivamente. (SACMEX, 2007).

Por otro lado en un panorama actual, en el sexenio 2000-2006 se lograron avances importantes al incrementar el porcentaje de agua residual tratada del 23% al 36.1%. En este mismo sentido, de acuerdo con los objetivos planteados en el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012, el caudal de aguas residuales tratado se incrementó en 11.4%, llegando a un 47.5%, lo que representa un caudal tratado de 99.8 m³/s. Con esto que se logró duplicar la cobertura del año 2000 al 2012. La evolución del caudal tratado anualmente de 1994 al 2014 en los municipios ya mencionados se muestra a continuación (gráfica 1 y tabla 3).

Gráfica 1. Caudal de aguas residuales municipales tratadas (m³/s).

Fuente: BID/Datos de CONAGUA 2012.

Bajo un panorama global, se puede afirmar que las metas establecidas por el gobierno de México en materia de tratamiento de aguas residuales, han estado muy cercanas a cumplirse año tras año, en parte por el bajo incremento que ha habido en los volúmenes colectados en las redes de alcantarillado municipales y a la entrada en operación de nuevas plantas de tratamiento.

- Situación a nivel de los estados

A nivel regional la situación varía ampliamente. Los estados del norte cuentan con los niveles más altos del país, donde Aguascalientes y Nuevo León presentan niveles de tratamiento del 100%, siguiendo Baja California con 93%, Nayarit con 90.7%, Tamaulipas con 85.6% y Chihuahua, Sinaloa y Guerrero con más de 75%.

Tabla 3. Evolución en la cobertura de tratamiento, 2000 a 2012

| Año | Incremento de caudal tratado (m ³ /s) | Caudal tratado acumulado (m ³ /s) | Agua residual colectada (m ³ /s) | Porcentaje |
|------|--|--|---|------------|
| 2000 | 0 | 45.9 | 200 | 23.0 |
| 2001 | 4.9 | 50.8 | 202 | 25.1 |
| 2002 | 5.3 | 56.1 | 203 | 27.6 |
| 2003 | 4.1 | 60.2 | 203 | 29.7 |
| 2004 | 4.3 | 64.5 | 205 | 31.5 |
| 2005 | 7.3 | 71.8 | 205 | 35.0 |
| 2006 | 2.6 | 74.4 | 206 | 36.1 |
| 2007 | 4.9 | 79.3 | 207 | 38.3 |
| 2008 | 4.3 | 83.6 | 208 | 40.2 |
| 2009 | 4.5 | 88.1 | 209 | 42.1 |
| 2010 | 5.5 | 93.6 | 209 | 44.8 |
| 2011 | 4.0 | 97.6 | 210 | 46.5 |
| 2012 | 2.2 | 99.8 | 210 | 47.5 |

Fuente: CONAGUA/Subdirección General en agua Potable, Drenaje y Saneamiento/Gerencia de Potabilización y Tratamiento 2012.

Por el contrario, las coberturas más bajas las presentan Yucatán y Campeche tratando sólo un 3% y 7% respectivamente, mientras que en el centro del país la Ciudad de México registra una cobertura de alrededor del 15%. Cabe destacar que únicamente once estados han alcanzado o sobrepasado la meta de tratar el 60% de las aguas residuales colectadas, establecida en el Programa

Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012. Cabe mencionar que se utilizaron datos del PNH 2007-2012 debido a que el programa consecutivo 2014-2018 aún no se encuentran disponibles las conclusiones del tratamiento de aguas.

En la tabla 4 se detalla la capacidad de agua tratada por estado, al igual se muestra la cantidad de plantas de tratamiento que están operando actualmente y el porcentaje que cubren con la demanda de agua residual que produce el uso diario del agua potable.

Tabla 4. Caudal de aguas residuales municipales tratadas por Entidad Federativa, 2012.

| Entidad Federativa | No. de plantas | Capacidad instalada (m ³ /s) | Caudal tratado (m ³ /s) | Cobertura % |
|---------------------|----------------|---|------------------------------------|-------------|
| Aguascalientes | 132 | 4.8 | 3.4 | 100 |
| Baja California | 37 | 7.53 | 5.2 | 9.3 |
| Baja California Sur | 25 | 1.67 | 1.17 | 70.8 |
| Campeche | 26 | 0.17 | 0.15 | 6.8 |
| Chiapas | 40 | 1.58 | 0.9 | 23.1 |
| Chihuahua | 162 | 9.38 | 6.55 | 78 |
| Ciudad de México | 28 | 6.77 | 3.06 | 14 |
| Coahuila | 20 | 4.96 | 3.9 | 48.2 |
| Colima | 56 | 1.87 | 1.36 | 53.3 |
| Durango | 174 | 4.45 | 3.39 | 73.2 |
| Guanajuato | 64 | 6.29 | 4.63 | 54.7 |
| Guerrero | 57 | 389 | 3.14 | 75 |
| Hidalgo | 14 | 0.2 | 0.2 | 7.9 |
| Jalisco | 157 | 7.1 | 6.27 | 47.3 |
| México | 148 | 8.96 | 6.78 | 29.9 |
| Michoacán | 33 | 3.68 | 2.85 | 30.4 |
| Morelos | 53 | 2.86 | 1.83 | 27.5 |
| Nayarit | 66 | 2.72 | 1.81 | 90.7 |
| Nuevo León | 63 | 17.75 | 10.62 | 100 |
| Oaxaca | 69 | 1.5 | 0.99 | 39.8 |
| Puebla | 66 | 3.2 | 2.75 | 49 |
| Querétaro | 84 | 2.3 | 1.5 | 46.9 |

| Entidad Federativa | No. de plantas | Capacidad instalada (m ³ /s) | Caudal tratado (m ³ /s) | Cobertura % |
|--------------------|----------------|---|------------------------------------|-------------|
| Quintana Roo | 35 | 2.38 | 1.7 | 61.6 |
| San Luis Potosí | 38 | 2.5 | 2.1 | 60.5 |
| Sinaloa | 220 | 6.27 | 5.08 | 77.3 |
| Sonora | 83 | 5.1 | 3.23 | 39 |
| Tabasco | 78 | 2.1 | 1.65 | 21.5 |
| Tamaulipas | 45 | 7.78 | 5.87 | 85.6 |
| Tlaxcala | 66 | 1.23 | 86 | 51.3 |
| Veracruz | 108 | 7.4 | 5.6 | 41.3 |
| Yucatán | 28 | 0.49 | 0.09 | 2.7 |
| Zacatecas | 73 | 1.2 | 1.05 | 25.5 |
| Total | 2348 | 525.19 | 181.97 | Promedio:48 |

Fuente: Conagua, 2012

1.3 Localización de las diversas plantas de tratamiento de aguas residuales en el Estado de México

En lo que corresponde a la infraestructura sanitaria en el Estado de México, se tienen identificadas 148 plantas de tratamiento de aguas residuales, 79 para el tratamiento de aguas residuales municipales y 69 sistemas para las aguas industriales. En conjunto se tiene una capacidad instalada de 8467 L/s y operan con un caudal de 6269 L/s (PHIEM 2005: 3-168).

En la cuenca del río Lerma existen 22 plantas de tratamiento de agua residual municipal, una de ellas se ubica en el municipio de Metepec y otras dos en el municipio de Toluca.

Por su parte, existen 44 plantas de tratamiento de agua residual industrial en los municipios de Lerma, Ocoyoacac, Toluca y Zinacantepec. (ANEXO Tabla 1-A)

1.4 Localización y dimensionamiento de la PTAR-Lerma

La planta está construida en un terreno de 24.6 HA, de las cuales 16 HA son de reserva y 8 HA que la planta ocupa. La planta se ubica al margen derecho del camino de operación del Río Lerma, en

el kilómetro 6.5, a partir de la carretera estatal Toluca-Lerma, en el municipio de Lerma, del Estado de México. En la imagen (2), se aprecia la vista aérea de la planta Lerma.



Figura 3. Foto aérea de la planta de tratamiento de aguas residuales Lerma. Fuente:Google/Maps

Esta planta trata parte del agua residual de la ciudad de Toluca y otros municipios tales como Lerma, Metepec y San Mateo Atenco.

1.5 Problemática

La PTAR está diseñada para tratar un flujo de 1000 L/s, los operadores realizan muestreos diarios del influente y efluente para conocer el estatus del proceso. De ellos se analizan los siguientes parámetros: pH, conductividad, turbidez, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales (en adelante S.S.T), demanda bioquímica de oxígeno (en adelante DBO), demanda química de oxígeno (en adelante DQO), grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno, coliformes totales, entre otras como N-NH₃ y fósforo. Al ser analizados estos datos se planea una operación estratégica para la mejora de la calidad del efluente.

Durante el monitoreo del influente, se han detectado descargas de contaminantes en la entrada del proceso, por la alteración de color en el agua residual, natas de grasa o abundante espuma en diferentes días del mes de manera continua u ocasional, dichos agentes afectan directamente al crecimiento biológico generando un desequilibrio en el proceso y que por ende puede ocasionar que el producto final no cumpla con la calidad requerida de acuerdo con la normatividad mexicana vigente NOM-001-SEMARNAT-1996.

Dada la situación anterior se realiza un análisis de parámetros biocinéticos de los lodos activados para generar una propuesta del rediseño de la PTAR con la finalidad de que a pesar del ingreso de dichos contaminantes el producto final cumpla con los estándares de calidad solicitados.

CAPITULO 2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, PTAR

En este capítulo se mencionan las definiciones importantes para el buen entendimiento del tratamiento de aguas residuales así como las características del proceso como son: las operaciones unitarias, las ecuaciones necesarias para cálculos de operación, la influencia de la ubicación de la planta sobre el diseño entre otras el consumo de agua potable en el Estado de México.

2.1 Demanda y consumo de agua potable en el Estado de México

Además de utilizar el agua para consumo humano, ésta tiene otros usos domésticos, como son la higiene personal, el lavado de utensilios y ropa. La cantidad de agua que se usa para propósitos cotidianos depende de la disponibilidad de agua que tenga la comunidad, que a su vez depende de las reservas y el costo de la misma.

En comunidades muy rusticas, la demanda de agua es de 2.5 litros por persona día, pero a medida que se modifican los estilos de vida, la demanda de agua se acerca a 100L/persona al día, (CONAGUA 2015). Sí no hay abastecimiento entubado el agua tiene que acarrear desde cierta distancia a la casa.

La instalación de un hidrante público en un pueblo probablemente aumentará la demanda de agua a unos 25 L/persona día y la demanda con una toma a domicilio en una comunidad de bajos ingresos es probable que se acerque a 50 L/persona día. (CONAGUA 2015).

En los países desarrollados y en las áreas residenciales de los países en vías de mejora con la instalación de grifos múltiples, retretes hidráulicos, lavadoras de ropa como de trastos, etc., la necesidad de agua para usos domésticos aumenta considerablemente, de tal suerte que los consumos de agua alcance varios cientos de litros por persona al día.

El consumo de agua

El consumo se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no doméstico. El consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en: residencial, medio y popular.

El consumo no domestico incluye el comercial, el industrial y de servicios públicos; a su vez, el consumo industrial se clasifica en industrial de servicio e industrial de producción o de fábricas. La tabla 5 muestra consumos típicos de agua.

Tabla 5. Consumo doméstico en diferentes tipos de edificios.

| Tipos de Edificio | | Dotación mínima |
|-------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Habitacional | | 150 L / habitante / día |
| Oficinas | | 70 L/ empleado /día o |
| | | 20 L/m ² de área rentable |
| Auditorios | | 5 L / espectador /función |
| Escuelas | Nivel Elemental | 40 L / alumno / día |
| | Nivel Básico | 50 L / alumno / día |
| | Nivel Medio y Superior | 60 L / alumno / día |
| Cafeterías | | 15 a 30 L / comensal |
| Lavanderías | | 40 L / kg ropa seca |
| Riego de Jardines | | 3 L /m ² / día |

Fuente: Tomo II Instalaciones Hidrosanitarias - Normas y Especificaciones para Estudios y Proyectos.

Con base al “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento”, de la CONAGUA, las siguientes tablas muestran valores obtenidos de promedios estadísticos.

Tabla 5.1. Consumos domésticos *per cápita* (En México)

| Clima | Consumo por clase socioeconómica (L / Habitante / Día) | | |
|------------|--|-------|---------|
| | RESIDENCIAL | MEDIA | POPULAR |
| Cálido | 400 | 230 | 185 |
| Semicalido | 300 | 205 | 130 |
| Templado | 250 | 195 | 100 |

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento

Tabla 5.2. Consumo mínimo en comercios

| Tipo de instalación | Consumo de agua |
|--|----------------------------|
| Oficinas (cualquier tipo) | 20 L/m ² /día |
| Locales comerciales | 6 L/m ² /día |
| Mercados | 100 L/local/día |
| Baños públicos | 300 L/bañista/regadera/día |
| Lavanderías de auto servicio | 40 L/kilo de ropa seca |
| Clubes deportivos y servicios privados | 150 L/asistente/día |
| Cines y teatros | 6 L/asistente/día |

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento

Tabla 5.3. Consumo para producción de algunos tipos de industria

| Industria | Rango de consumo (m ³ /día) |
|----------------------|--|
| Azucarera | 4.5 - 6.5 |
| Química (c) | 5.0 - 25.0 |
| Papel y celulosa (d) | 40.0 - 70.0 |
| Bebidas (e) | 6.0 - 17.0 |
| Textil | 62.0 - 97.0 |
| Siderúrgica | 5.0 - 9.0 |
| Alimentos (f) | 4.0 - 5.0 |

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Notas: a) Variable de acuerdo al producto. b) Se indican sólo los índices de celulosa. c) Se tomó como representativa la cerveza. d) Se tomó como representativos los alimentos lácteos.

La demanda de agua potable en Toluca se estimada a partir del número de habitantes y un consumo promedio de agua de 150 L por día:

$$\left(873536 \times \frac{150L}{d}\right) = 131\,030\,400 \frac{L}{d} = 131\, m^3/d$$

Número de habitantes entre hombre y mujeres es de 873 536 (INEGI 2015).

2.2 Aguas residuales

La creciente población demográfica, la generación de aguas residuales provenientes de las distintas actividades económicas, el avance en la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales y los problemas sociales generados por el déficit de agua para abastecer a las ciudades y para el riego agrícola, son elementos clave que posicionan el uso del agua tratada como el nuevo paradigma del presente siglo.

El concepto “aguas residuales” se refiere a aguas de desecho, cuya composición es variada dependiendo de su origen y se clasifican también en función de su origen: aguas residuales domésticas, municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarias al igual se consideran las mezclas de ellas y que son colectadas en la red de alcantarillado, llegando en el mejor de los casos a plantas de tratamiento donde se mejora su calidad con fines de reúso o en el peor escenario son desechadas en cuerpos de agua, convirtiéndose en un problema medio ambiental, que acarrea serias consecuencias ecológicas y sociales. (Corona 1991)

El vertido de aguas grises en suelos rurales es una práctica antigua. La historia del reúso de aguas residuales en zonas agrícolas se remonta desde hace más de 2000 años en Grecia. Sin embargo, su práctica se ha generalizado con mayor énfasis durante la segunda mitad del siglo XIX en países como Alemania, Australia, Estados Unidos, Francia, India, Inglaterra, México, Polonia, Sudáfrica, Arabia Saudita, Argentina, Israel, China, Chile, Kuwait, Sudán, Túnez y algunos países de América Latina (Silva et al 2008).

Se reconoce la dualidad conferida al reúso de las aguas residuales detallada en la tabla 5. Por un lado representa un gran potencial de aprovechamiento hídrico y de nutrientes para los cultivos por otro, implica un riesgo innegable de salud pública entre la población expuesta. La Organización Mundial de la Salud (OMS), desde finales de los 80's, se pronunció estableciendo las directrices para regular el reúso de las aguas residuales, a través de límites máximos de contaminantes patógenos presentes en éstas aguas (bacterias, virus, protozoos y helmintos) a fin de preservar la salud, tanto de trabajadores agrícolas como de los consumidores. Sin embargo, los límites establecidos resultaron muy estrictos para la mayoría de los países en vías de desarrollo y en 2006 esta misma organización publicó las guías de uso de aguas residuales, excretas y aguas grises (OMS, 2006), que actualmente son el referente internacional para el reúso en agricultura. En dichas guías se establece que ya que los Huevos de Helmintos (H.H) son la principal causa de enfermedades parasitarias en humanos, éstos serían considerados como un indicador clave para el reúso, estableciendo como límite ≤ 1 H.H/L en agua residual utilizada para irrigar campos agrícolas.

La misma OMS, menciona que el reúso de las aguas residuales lleva implícito un riesgo de enfermedad para los diferentes grupos expuestos, es decir aquellos que entran en contacto con estas aguas de manera directa o indirecta, como se resume en la tabla 7.

Tabla 6. Beneficios y riesgos en el uso de las aguas residuales

| Beneficios | Riesgos |
|---|---|
| Las aguas residuales son un recurso hídrico que permite el desarrollo de la agricultura de riego aún en zonas áridas o semiáridas, ya que por su ubicación poseen déficit de agua. | Las aguas residuales, al ser un producto de desecho, contienen agentes patógenos y otros contaminantes. Por lo que esta agua al no ser tratada adecuadamente puede producir problemas al medio ambiente y a la salud. |
| Las aguas residuales contiene nutrientes en forma disponible para las plantas, por lo que se reducen los costos de producción al no requerir o disminuir considerablemente la aplicación de fertilizantes químicos. | Cuando las aguas residuales son vertidas a cuerpos de agua superficiales pueden provocar contaminación y eutrofización (acumulación de residuos orgánicos) de cuerpos de agua cercanos. |
| Existen evidencias que muestran que los nutrientes que contienen las aguas residuales mejora la fertilidad de los suelos. Esto se traduce en mejores rendimientos de los cultivos producidos. | Cuando las aguas residuales son utilizadas en el riego agrícola existe el riesgo de cosechar productos con mala calidad sanitaria que incrementen los riesgos de salud de los consumidores. |
| Las aguas residuales se pueden utilizar para aumentar los volúmenes disponibles para riego en zonas agrícolas que posean déficit para suplir la demanda de los usuarios. | La mezcla de aguas superficiales con aguas residuales podría llevar contaminantes a zonas donde antes no existían, limitando la siembra a ciertos cultivos que no impliquen riesgos a la salud. |
| Las aguas residuales permiten el desarrollo de pequeñas zonas agrícolas de riego, generando empleo y producción de alimentos. | Si las aguas residuales se aplican sin considerar prácticas de manejo de suelos y agua, se puede producir un incremento de los niveles freáticos y salinización de los suelos, afectando su productividad. |

Fuente: Elaboración propia, con datos de las Guías OMS, 2006.

Tabla 7. Riesgos de enfermedad por el uso de aguas residuales, según el grupo expuesto al agua

| Grupo | Riesgos |
|--|---|
| Consumidores de productos agrícolas contaminados | (Niños y adultos mayores) es el grupo más vulnerable, sobre todo cuando los productos han estado en contacto con el agua de riego, como sucede en la mayoría de los casos cuando el riego es por gravedad. |
| Agricultores y sus familias | (Jornaleros-regadores y niños son el grupo más vulnerable). Principalmente cuando entran en contacto con el agua de riego, sin las prendas de protección adecuadas (botas, guantes y tapabocas). |
| Población de comunidades cercanas | (Niños y adultos mayores es el grupo más vulnerable), sobre todo cuando en la zona de riego existe riego por aspersión que a través del viento puede diseminar el agua residual, contaminando alimentos o agua de bebida. |

Fuente: Elaboración propia, con datos de las Guías OMS, 2006.

2.2.1 Aprovechamiento de las aguas residuales sin riesgo para la salud

Es indispensable que el agua cumpla con los requisitos de calidad para el riego agrícola, por lo que debe provenir de un sistema de tratamiento adecuado y que el efluente sea competente con los lineamientos de la normatividad vigente, si existe de otra forma deberá adaptarse a las referentes internacionales que maneja la OMS. Sin embargo, dado que la realidad Latinoamericana indica que aún no se obtienen los objetivos del milenio en cuanto al saneamiento de las aguas residuales, como es el caso del saneamiento del Lerma ya sea porque no existe la capacidad instalada suficiente o porque los programas en éste rubro son aún incipientes, el hecho es que muchas de las aguas residuales no compiten con la calidad de reúso para agricultura, por lo que en la mayoría de los casos, el agua que llega a los sistemas de riego agrícola requiere de un tratamiento complementario, a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para su aprovechamiento.

2.2.2 Tipos de tratamiento de aguas residuales

Se utilizan diferentes niveles de tratamiento con forme a la necesidad o las características deseadas del efluente, es decir minimizar el impacto de las entradas de contaminantes al sistema así lograr oxidar la materia orgánica. (Franco 2015)

Pretratamiento: Busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejas, tamices, desarenadores y desengrasadores. (Franco 2015)

Tratamiento Físico-Químico: Busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química. Por ejemplo la depuradoras para zonas turísticas con vertidos reducidos a ciertas épocas del año, se agrega un coagulante como el polietileno lo que formara la coadyuvacion con un pH deseado obteniendo así un floculo que no afectara el sistema de tratamiento (Franco 2015).

Tratamiento Biológico: Se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos. Consisten en la oxidación aerobia de la materia orgánica o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen lodos en mayor o menor medida que, a su vez, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final (Franco 2015).

Tratamiento Físico-Químico-Biológico: Desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos mencionados, mezclando técnicas de ambos tipos para ser pulidas en el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente pueden adaptar el agua de nuevo para el abastecimiento de necesidades agrícolas e industriales (reciclaje de efluentes) (Franco 2015).

El saneamiento del agua y las plantas de tratamiento de agua son un conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico y/o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos se elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas, sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales (Franco 2015).

La finalidad de estas operaciones es obtener aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de entrada como de su destino final.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal estos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización y tratamientos de aguas residuales, aunque ambos comparten muchas operaciones.

- Plantas de Tratamiento de Agua Residual

Estas plantas tratan aguas residuales que provienen de fuentes domésticas o industriales. Los procesos de tratamiento son físicos, químicos y/o biológicos y se clasifican en 3 etapas:

Tratamiento Residual Primario: Es la separación de sólidos mediante cribas y sedimentación. Puede involucrar o no la adición de floculantes y coagulantes (Franco 2015).

Tratamiento Residual Secundario: Es el tratamiento biológico de sólidos suspendidos y disueltos, en el cual se convierte la materia biológica en bio-masa sólida, por medio de bacterias (Franco 2015).

Tratamiento Residual Terciario: Lagunas, filtración, micro filtración, ósmosis inversa, desinfección (Franco 2015).

El efluente de las plantas de agua residual se re-inyecta al subsuelo, se emplea como fertilizante o se vierte. Las autoridades ambientales de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (en adelante SEMARNAT 2018) establecen las condiciones que deben cumplir los vertimientos. Los sólidos biológicos son neutralizados para su descarga o reutilización.

También existen las plantas de agua residual de Reactor Secuencial por Tandas (SBR) las cuales obtienen excelentes resultados. Este tipo de plantas residuales pueden requerir un menor volumen de tanques ya que los tiempos de residencia son más cortos.

2.3 Parámetros para evaluar la concentración de materia orgánica en aguas residuales.

Los contaminantes en las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, habitualmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas residuales, es por ello que se han desarrollado métodos para la evaluación de la concentración de contaminantes en aguas residuales.

2.3.1 Demanda teórica de oxígeno (DTeO)

Materia orgánica medida como la demanda teórica de oxígeno (DTeO) corresponde a la cantidad estequiométrica de oxígeno requerida para oxidar completamente un determinado compuesto. Se expresa en gramos de oxígeno requerido por litro de solución, sin embargo este sólo se puede emplear si se dispone de un análisis químico completo del agua residual (Rozano 2002).

2.3.2 La demanda química de oxígeno (DQO)

Materia orgánica medida la demanda química de oxígeno (DQO) corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido.

Traduciéndolo de otra manera, es una oxidación química pero no una oxidación biológica.

La DQO degradable es una medida estudiada en el año de 1975 por el profesor Johan Marais de la Universidad de Cape Town y se hace introduciendo la muestra que hay que analizar en una planta piloto de lodos activados. La diferencia entre la DQO de entrada y la de salida nos da la DQO degradable.

La DQO rápidamente biodegradable es una medida imprescindible en el estudio de la eliminación biológica de fosfatos y muy útil en la eliminación de la concentración orgánica y la desnitrificación. Compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto) (Rozano 2002).

2.3.3 La demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Materia orgánica medida la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de dos tipos de materiales: (Rozano 2002)

- 1) Materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos.
- 2) Nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (nitrosomonas y nitrobacter).

En las aguas residuales domésticas, casi toda la demanda de oxígeno se debe a materiales carbónicos.

Modelo cinemático de la DBO

Generalmente se considera que la DBO varía con el tiempo según una ecuación de primer orden, que puede escribirse:

$$DBO_t = DBO_u(1 - 10^{-kt}) \dots (1)$$

donde:

- DBO_t = DBO a t días
- DBO_u = última
- t = tiempo de incubación en días
- k = constante cinemática medida en d^{-1} (valor de k = 0.10 d^{-1} ya que este valor está prácticamente normalizado)

La base de cualquier cálculo biológico es la DBO_u ; sin embargo 21 días de incubación es un espacio de tiempo demasiado largo para medidas de rutina. Así que de manera práctica se utilizan 5 días de incubación.

2.3.4 Carbono orgánico total(COT)

Carbono orgánico total (COT): La muestra con oxígeno en presencia de un catalizador en una cámara de combustión. El dióxido de carbono producido se mide con un analizador de infrarrojos no dispersivo y se deduce de éste el carbono presente. Esta medida no es viable para

las aguas residuales industriales es difícil establecer una correlación, dada la considerable variación en la composición química (Rozano 2002).

2.3.5 Demanda total de oxígeno (DOT)

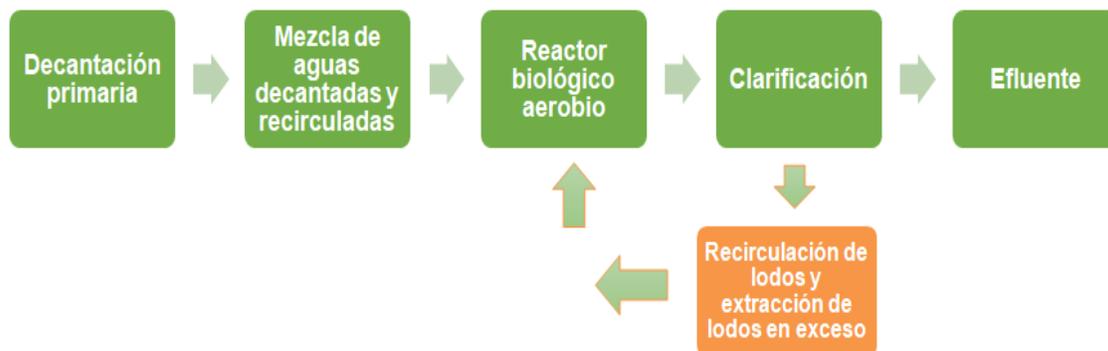
Demanda total de oxígeno (DOT), para esta medida la muestra se oxida con oxígeno en un horno a alta temperatura. Todos los compuestos de carbono, nitrógeno y azufre quedan oxidados (Rozano 2002).

2.4 Mecanismo del proceso para el tratamiento de aguas residuales

2.4.1 Modelo básico del proceso

El modelo más simple para definir el proceso debe considerar tres componentes principales: biomasa, sustrato y oxígeno disuelto.

El proceso de lodos activados es continuo, considerando la recirculación del lodo, puede ser representado de la siguiente manera: (Hernández 1992)



2.4.2 Efectos producidos por el sistema del tratamiento de aguas

- Coagulación: principalmente estabiliza las partículas coloidales que se encuentran vertidas, para favorecer su aglomeración; en consecuencia se eliminan la materia orgánica en suspensión.

- Sedimentación: separar los lodos inertes del agua ya procesada de un reactor biológico
- Arrastre de bacterias en un 90-98%, este conteo se define con la medida de coliformes en un litro.
- Oxidación de la materia carbónica, el resultado que se obtiene en el efluente con los parámetros para evaluar las concentraciones de carbono oxidado.

2.4.3 Técnicas de aireación

En este apartado se describen las características de la aireación, debido a que el corazón del proceso del tratamiento de aguas radica en los reactores biológicos (Hernández 1992).

| | |
|---|---|
| Con aire comprimido bajo formas diversas | <ul style="list-style-type: none"> • Grandes burbujas, mediante tubos sumergidos. • Burbujas medianas, mediante tubos perforados, aspersores. • Burbujas finas, mediante difusores porosos finos y placas porosas. |
| Con medios mecánicos | <ul style="list-style-type: none"> • De eje horizontal: como los cepillos rotativos. • De eje vertical: como las turbinas, agitadores rotativos. |
| Con medios mixtos | <ul style="list-style-type: none"> • Aire comprimido repartido mecánicamente con sistemas análogos a los del grupo anterior. |

2.4.4 Mecanismo de los lodos activados

A la salida de los tanques de activación la mezcla de agua y lodos activados pasa a la clarificación. El agua decantada constituye ya el efluente. Los lodos sedimentados se extraen del equipo. Una parte se recirculada a la activación como lodos activos, el resto pasa al tratamiento de digestión directamente o por intermedio de una nueva sedimentación en los decantados primarios.

Hay que tener siempre presente que el proceso se debe a la acción de los microorganismos, que se desarrollan con base a la existencia de materia orgánica carbónica, DBO y a la existencia de

nutrientes N y P, así como otros oligo elementos requeridos para el proceso aerobio de lodos activados (Hernández 1992).

Tabla 8. Oligoelementos en lodos activados:

| Oligoelementos requeridos en el proceso de lodos activados | | | |
|--|-----------------------|-----------------|---------------------|
| | mg/mg DBO. | | mg/mg DBO. |
| Mn | 10×10^{-5} | Co | 13×10^{-5} |
| Cu | 14.6×10^{-5} | Ca | 62×10^{-4} |
| Zn | 16×10^{-5} | Na | 5×10^{-5} |
| Mo | 43×10^{-5} | K | 45×10^{-4} |
| Se | 14×10^{-10} | Fe | 12×10^{-3} |
| Mg | 30×10^{-4} | Co ₃ | 27×10^{-4} |

Fuente: Hernández-1992:(571-695).

Por el contrario, con cantidades en exceso, el proceso biológico puede quedar inhibido o destruido por razones tales como: (Hernández 1992)

- Compuestos orgánicos, que son tóxicos en concentraciones elevadas, pero biodegradables en menores concentraciones, como es el caso del fenol.
- Metales pesados, tóxicos en sistemas aerobios y anaerobios. Después de un periodo de alimentación, los microorganismos pueden aceptar concentraciones relativamente elevadas de ciertos compuestos, eliminando cantidades que dependen del metal del que se trate, de la dureza del agua, etc. Por ejemplo: con los siguientes metales la eliminación es evidente, aunque no total.

Influyente (mg/l): Cromo (2.2), Cobre (0.5), Cinc (0.7)

Efluente (mg/l): Cromo (0.9), Cobre (0.1), Cinc (0.4)

- Las sales en concentraciones elevadas también dificultan o inhiben el proceso biológico, si bien dichas concentraciones deben ser anormalmente altas: 1.600 mg NH₃/L a pH 7.0, o bien 16.000 mg Cl⁻/L.

Como una nota adicional se debe de recalcar la importancia de las tasas del crecimiento de los microorganismos, en función del sustrato o materia orgánica incorporada, que puede representarse en la siguiente figura (imagen número 3):

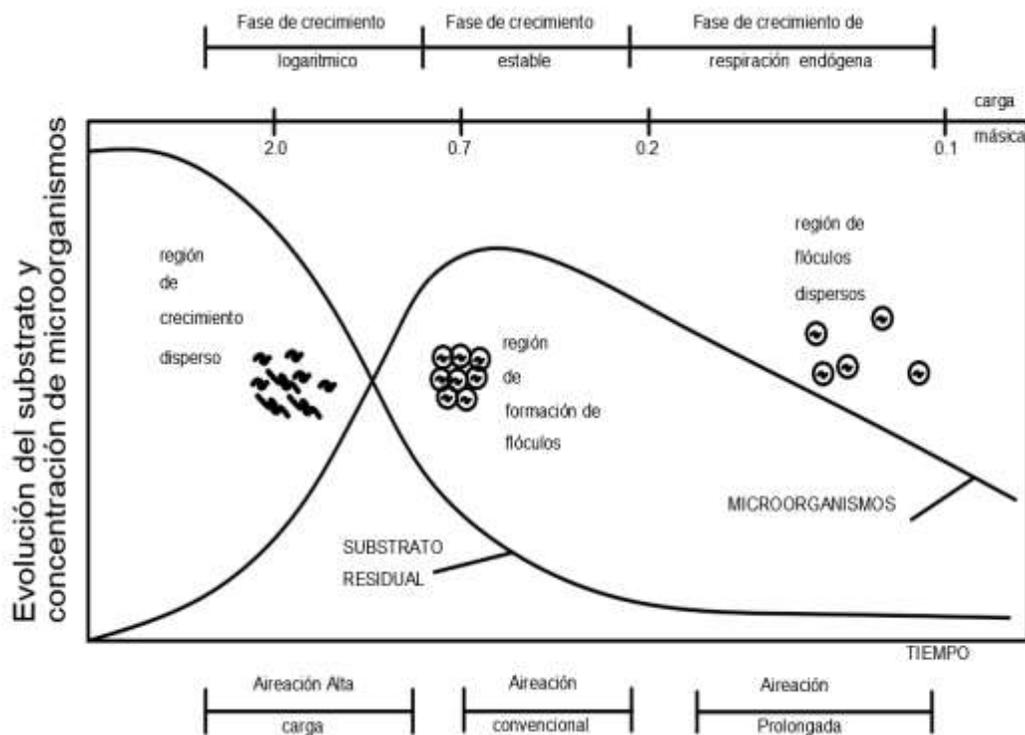


Figura 4. Crecimiento de microorganismos y evolución del sustrato.

Fuente: Manual de aguas para usos industriales (2002).

Según Tennay y Stumm, la floculación biológica se consigue cuando decae el crecimiento de las bacterias y se segregan polímeros naturales que ocupan una longitud suficiente para formar puentes entre las bacterias. La segunda fase es la que necesita la mayor parte del tiempo de aireación (Rozano 2002).

Los flóculos de lodos activado constituyen, por tanto, una sustancia básica mucilaginosa en la que viven bacterias y protozoos. Carbono, nitrógeno y fósforo, intervienen en su estructura en la relación 5:1:0.15. Según Suswellel flóculo de lodo activado está compuesto de una matriz sintética gelatinosa, en la que están embebidas bacterias filamentosas y unicelulares y en la que pululan y se alimentan protozoos y algunos metazoos (Rozano 2002).

Se puede considerar este procedimiento como el proceso de autodepuración acelerado, reforzado y controlado artificialmente. Los fenómenos que se presentan son exactamente los mismos que en los ríos o lagos naturales, pero en los tanques de aireación los organismos se agrupan apretadamente en un espacio reducido y en gran número. Mediante aportación artificial de aire se procura que los organismos encuentren oxígeno suficiente, a pesar de su amontonamiento. El agua se agita para que las masas de flóculos no caigan al fondo y para que los microorganismos y materia orgánica se homogenicen y se pongan en contacto (Rozano 2002).

2.4.5 Formulación cinética del proceso

Suponiendo que la concentración del sustrato (S_e) esté por debajo de los 500 mg/L (DBO_5), se puede asumir una formulación cinética del proceso de primer orden:

$$\frac{dS}{dt} = -KS$$

Siendo $X_{v,a}$ la concentración de sólidos suspendidos volátiles en licor mezclado (en adelante MLSSV) y $K = kX_{v,a}$

$$\left(\frac{1}{X_{v,a}}\right) \frac{dS}{dt} = -kS, \text{ y, } \frac{dS}{dt} = -kX_{v,a} \times S$$

Considerando un tiempo t de retención en un reactor en continuo, donde $S = S_e$, se tendrá

$$\frac{dS}{dt} = -kX_{v,a} \times S_e$$

Estableciendo la formulación en un reactor continuo se tiene, la relación con el balance de sustrato y considerando que el cambio de sustrato en el reactor es nulo, la siguiente relación:

$$0 = Q \times S_o - Q \times S_e - kX_{v,a} \times S_e \times V_R$$

$$\left(\frac{Q}{V}\right) [(S_o - S_e)/X_{v,a}] = kS_e$$

Siendo $(Q/V)=t$ tiempo de retención en el reactor

$$\frac{S_o - S_e}{X_{v,a}} \times t = kS_e$$

Cuando existe materia no biodegradable, esta ecuación se transforma en

$$\frac{S_o - S_e}{X_{v,a}} \times t = k(S_e - S_n)$$

Siendo S_n la concentración de materia no biodegradable (Vázquez 2013).

2.4.6 Tasa de eliminación

$$r_o = -\frac{kCX}{K + C}$$

siendo:

$r_o = (\text{g/m}^3 \times \text{d})$ tasa de remoción de materia orgánica.

$k = (\text{d}^{-1})$ máximo valor de crecimiento.

$C =$ concentración orgánica en g (DBO₅)/m³

$X = (\text{g}/\text{m}^3)$ de MLSSV

$K = (\text{g}/\text{m}^3)$ constante de saturación media, es decir la concentración del substrato para la cual, la tasa de utilización por unidad de peso de microorganismos es la mitad de la tasa máxima, en masa/volumen.

Esta ecuación es similar a la desarrollada por Jacques Monod (MONOD, 1949) para establecer la relación entre concentración de un nutriente limitante y la tasa de crecimiento de los microorganismos (Rozano 2002).

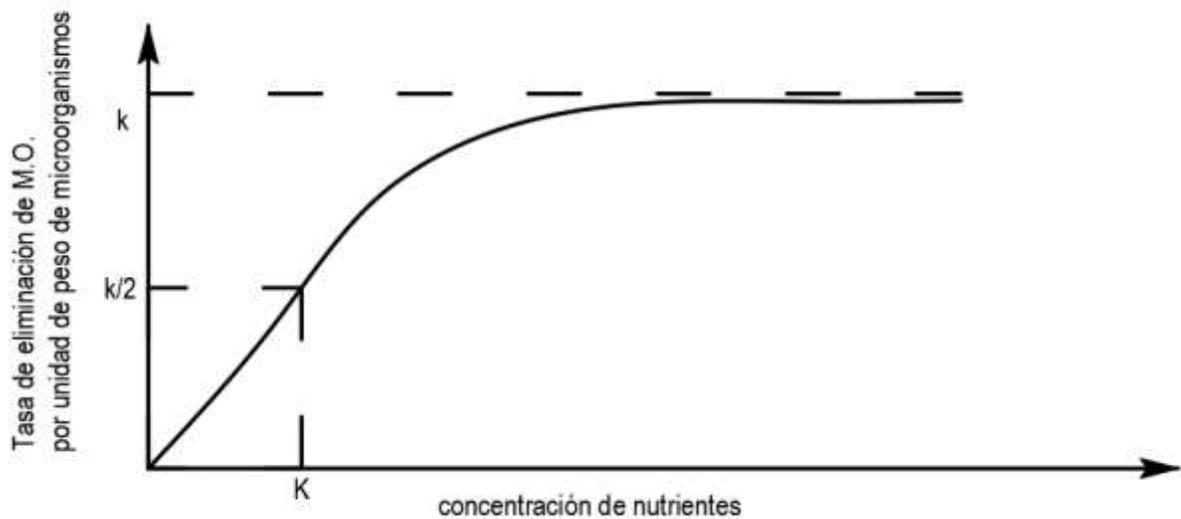


Figura 5. Tasa de eliminación de materia orgánica. Fuente: Manual de aguas para uso industriales (2002).

2.4.7 Tasa de crecimiento de microorganismos

Siguiendo consideraciones estequiométricas y considerando la mortalidad de los microorganismos, puede escribirse: (Romalho 1996)

$$r_g = Y \frac{kCX}{K + C} - k_d \times X$$

siendo:

$k_d =$ el coeficiente de desaparición de microorganismos.

Y = el coeficiente de producción, en g de microorganismos producidos/g de materia orgánica eliminada

2.4.8 Necesidad de oxígeno

Oxígeno disuelto: Es un parámetro fundamental en los ecosistemas acuáticos y su valor debería estar por encima de los 4 mg/L para asegurar la sobrevivencia de la mayor parte de los organismos superiores. Se usa como indicador de la contaminación o, por decirlo así, de la salud de los cuerpos hídricos. Para el correcto funcionamiento de los tratamientos aerobios de las aguas residuales, es necesario asegurar una concentración mínima de 1 mg/L. (Fair 2008) Conviene recordar que en un reactor biológico se precisan dos acciones que pueden ser conjuntas o separadas.

Estas acciones son la mezcla íntima del líquido en el reactor y la incorporación del oxígeno necesario.

- Necesidad de Oxígeno para el proceso Biológico

Según Eckenfelder y O'Connor (1954), podría utilizarse la siguiente fórmula experimental para establecer las necesidades de oxígeno, sin contar con procesos de nitrificación: (Fair 2008)

$$Kg \frac{O_2}{día} = A \left(Kg DBO_5 \frac{eliminados}{d} \right) + BKg MLSSV$$

Siendo:

A y B = Unos coeficientes variables, dependiendo de diversas investigaciones.

Para A (mg O₂/mg DBO₅):

EckenferderyO'Connor: 0.48, Logar yBudd: 0.52, Quirk: 0.53;

Para B (mg O₂/mg M.L.S.S.V)

EckenferderyO'Connor: 0.08, Logar yBudd: 0.09, Quirk: 0.15.

La demanda total de oxígeno en un agua residual puede darse por:

$$(D.O)_T = (D.O)_E + (D.O)_S + (D.O)_Q + (D.O)_N$$

Siendo:

D.OT = La demanda total de oxígeno.

D.OE = La demanda de oxígeno para respiración endógena o desasimilación.

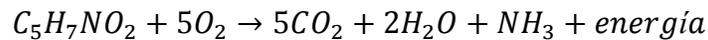
D.OS = La demanda de oxígeno para respiración del substrato.

D.OQ = La demanda de oxígeno para la oxidación química.

D.ON = La demanda de oxígeno para nitrificación.

Un substrato biológico, a falta de alimento, disminuye su respiración según una ley exponencial, ya que a falta de alimento consume su propia materia (desasimilación), o asimilación por otros organismos (Fair 2008).

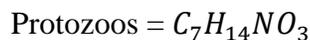
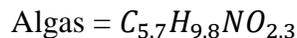
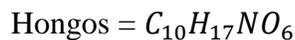
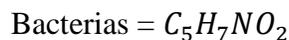
Según Hoover la reacción que se produce se ajusta al siguiente modelo:



Según esto, la relación de oxígeno consumido a materia orgánica desasimilada será:

$$\frac{5O_2}{C_5H_7NO_2} = \frac{160}{113} = 1.42$$

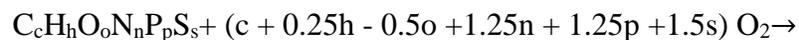
Si bien debe considerarse que las fórmulas químicas medias de los microorganismos en las aguas son diversas, según Mc Kinney:



Cuando el substrato es constante, la velocidad de reacción es constante, siendo la respiración proporcional a la respiración endógena, que se corresponde con una masa biodegradable determinada (Fair 2008).

2.4.9 Tasa de consumo de oxígeno

Las necesidades de oxígeno se dan por la relación estequiométrica de eliminación de la materia orgánica y el consumo de los microorganismos (Corona 1991).



El factor de conversión aproximado de consumo por los microorganismos es de 1.42 g de O₂ por g de sólidos suspendidos volátiles (en adelante ssv).

Puede aceptarse así el modelo:

$$(O.N) \left(\frac{g}{m^3} \times \square \right) = [DBO_u](gm^3 \times \square) + 1.42r_g$$

Siendo:

$O.N$ =Oxígeno necesario.

$[DBO_u]$ = DBO asintótica del carbono.

2.4.10 Papel de la temperatura

La temperatura tiene, en el proceso de lodos activados un papel muy importante, su acción principal está en la relación con:

- La acción metabólica de los microorganismos con una acción creciente desde los 14°C hasta los 32° C que vuelve a ser decreciente desde los 32° C hasta los 35°, dentro de la zona mesofílica. (Hernández 1992)
- La transferencia de oxígeno. Según Pasveerla transferencia de oxígeno es casi constante en temperaturas entre 5° y 30° C, a medida que aumenta el coeficiente de transferencia. Esta conclusión se considera válida para sistemas de aireación neumática o de poca turbulencia. (Hernández 1992)
- Para la aireación natural adoptarse el modelo dado por Churchill y otros, $D = D_0 \cdot e^{-k_2}$; D_0 a 10°C, coeficiente relativo 1, donde k_2 sigue una progresión geométrica incrementándose a 2.41% por °C.
- Para aireadores mecánicos pueden considerarse los valores relativos de transferencia de oxígeno (ver tabla 9).
- La desnitrificación. La variación de la constante de desnitrificación con la temperatura puede representarse por la Ley de Arrhenius.

$$k = K_0 \cdot e^{-E/RT}$$

K_0 = Un Factor de Frecuencia

E = Energía de Activación

R = Constante universal de los gases. ($calg \cdot mol^{-1} \cdot k^{-1}$)

T = Temperatura absoluta (°k)

Tabla 9. Temperatura y transferencia de oxígeno:

| | | | | | | |
|---|------|----|-----|-----|------|------|
| Temperatura del agua °C | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Valor relativo de transferencia de O ₂ | 1.12 | 1 | 0.9 | 0.8 | 0.73 | 0.69 |

Fuente: Manual de aguas para usos industriales 2002.

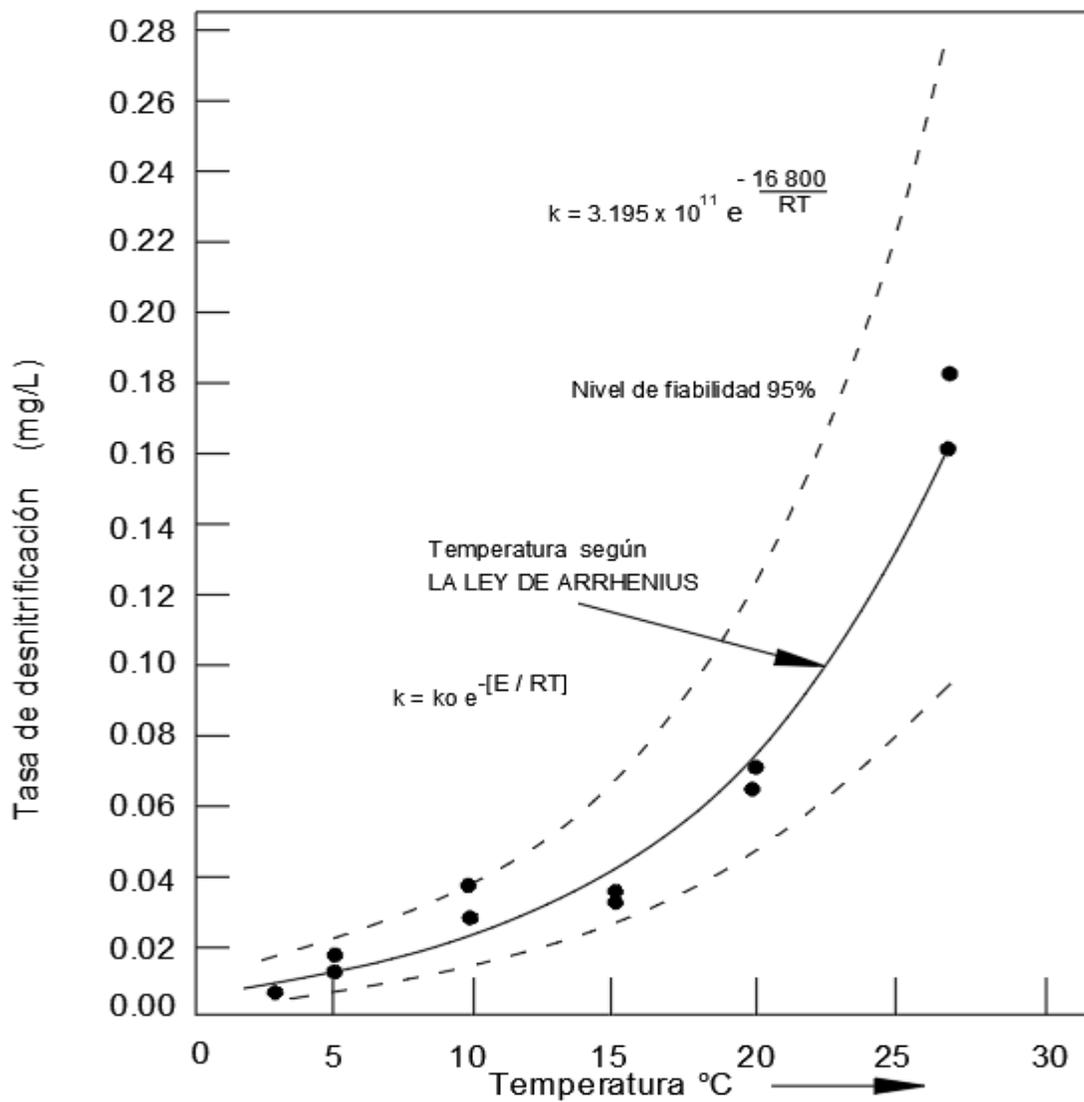


Figura 6. Influencia de la Temperatura sobre la desnitrificación.

Fuente: Manual de aguas para uso industriales 2002.

2.4.11 Edad del lodo

A la edad del lodo ya definida como (θ), se le suele denominar tiempo de retención de los sólidos o período en el que actúan los microorganismos en el proceso, plazo que puede fijarse de 3 a 10 días (Hernández 1992).

Estableciendo un alance de masas, se tiene:

$$\theta(d) = \frac{(V_R + V_d)X_{v,a}}{Q_L \times X_{v,u} + (Q' - Q_v)X_{v,e}}$$

Siendo:

θ = Edad del lodo (d).

V_R = Volumen del reactor (m^3).

V_d = Volumen del decantador (m^3).

X = Sólidos en suspensión volátiles (g/m^3)

Q_v = Purga de lodos en decantador (m^3/d)

Q = Caudal de agua de salida (m^3/d)

2.5 Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales

Dentro de los confines específicos de los sistemas de aguas y aguas residuales que se vayan a diseñar normalmente, se deberán de terminar en relación óptima, la posición, la naturaleza y el tamaño de las plantas de tratamiento necesarias respecto: (Hernández 1992)

- a) La fuente y calidad del agua que se va a tratar
- b) El origen y composición de las aguas residuales producidas
- c) La naturaleza de las aguas receptoras en las que se vayan a dispersar las aguas residuales
- d) La configuración y topografía de la comunidad y sus zonas circundantes
- e) La población anticipada, el crecimiento industrial y la expansión del área
- f) Las amalgamas físicas posibles, probables y la creación de autoridades regionales y metropolitanas.

Se hace necesario conocer con certeza el agua residual que será depurada, la concentración de la materia orgánica que debe ser eliminada, su caudal, su carga contaminante y su equivalencia en el número de habitantes, entre otros.

Características fisicoquímicas de las aguas residuales. Una cuidadosa y completa caracterización de las aguas negras que pretenden ser tratadas, es fundamental para asegurar el éxito del saneamiento. El fracaso de la mayor parte de las depuradoras (al menos las conocidas por este autor) incluyendo la PTAR de una de las ciudades más importantes del país, obedece a una mala caracterización de las aguas, ya que impide seleccionar correctamente los tratamientos y aplicar criterios adecuados para el diseño. Materia orgánica: es la fracción más relevante de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales debido a que es la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua. Está formada principalmente por CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos de origen animal y vegetal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y los surfactantes (detergentes) (Hernández 1992).

Tabla 10. Materia orgánica y tipos de descomposición:

| Tipo de materia orgánica | Tipo de descomposición | |
|--------------------------|--|--|
| | Aeróbica | Anaeróbica |
| Nitrogenada | Nitratos (NO ₃) anhídrido carbónico (CO ₂), agua (H ₂ O), sulfatos (SO ₄) | Mercaptanos, índoles, escatol, ácido sulfhídrico, cadaverina y pustriscina. |
| Carbonácea | Anhídrido carbónico (CO ₂), agua (H ₂ O) | Anhídrido carbónico (CO ₂), gas metano (CH ₄), gas hidrógeno (H ₂), ácidos, alcoholes y otros. |

Fuente: Diseño de plantas de aguas residuales/ <https://www.researchgate.net/publication>

2.5.1 Ubicación de la planta

La topografía, las cimentaciones y los riesgos físicos son los determinantes clave de la ubicación en la construcción de la planta. Los costos de construcción de las plantas que operan con mucha pérdida de carga pueden reducir si se colocan en la ladera de una colina. Otras ventajas posibles

consisten en tener entrada a nivel del suelo a los pisos superiores de los edificios de servicio (Tebuutt 2007).

Las condiciones de la cimentación son importantes tanto durante la construcción de la planta como después de ella. Los sitios húmedos se deben deshidratar mientras se efectúan la construcción y las estructuras terminadas pueden requerir que se las lastre para contrarrestar el levantamiento hidrostático. Cuando las cimentaciones son pobres, las estructuras se deben de colocar sobre pilotes o placas de revestimiento. Los sitios rocosos se pueden aprovechar únicamente con costos elevados (Tebuutt 2007).

La inundación es un peligro común que comparten las plantas de tratamiento tanto de aguas como de aguas negras. Frecuentemente las fuentes de aguas y las aguas receptoras se encuentran próximas y pueden, en ocasiones, conducir flujos de inundación de magnitud considerable. Para salvaguardar los suministros vitales de agua, las estimaciones sobre el nivel máximo de las aguas se pueden basar en la inundación estáticamente esperada para 1000 o 10000 años. Entre las distintas formas de proteger las plantas vulnerables se encuentran: (Tebuutt 2007)

1. Construir las por encima del nivel máximo de las aguas
2. Rodearlas de diques
3. Construir herméticas las estructuras de los sótanos
4. Ubicar el equipo delicado sobre el nivel de inundación

En estos casos es esencial preservar la entrada y salida de la planta. La instalación de diques alrededor de las plantas de tratamiento de aguas residuales requiere la construcción de un sistema adecuado de drenaje y una estación de bombeo para el efluente de la planta y las aguas de tormenta (Tebuutt 2007).

El bombeo del efluente durante épocas de inundación es con frecuencia menos costoso que el bombeo rutinario de los flujos a las plantas de tratamiento colocadas encima del nivel máximo de inundación. Los terremotos, los deslaves de roca y tierra, así como las conflagraciones con peligros físicos adicionales contra los que se debe tener protección (Tebuutt 2007).

2.5.2 Escalonamiento de la construcción y del diseño del proceso

Son pocos los proyectos que se encuentran tan claramente determinados y tan directos en su posible desarrollo que justifiquen la adopción de un solo período de desarrollo. La optimización puede requerir el escalonamiento de las capacidades de la planta y aumentos progresivos en el tratamiento. Se deberán de resolver en cada etapa el diseño, los gastos por intereses y financiamiento, las economías de escala, los volúmenes y niveles de tratamiento, la inversión de fondos y los gastos de servicios. En esta clase de estudios debe reconocerse, la dificultad en

prever la nueva tecnología y el costo de introducir nuevos procesos en comparación con el costo de continuar con los antiguos (Tebuutt 2007).

Teóricamente, se puede abrir una trayectoria óptima de tratamiento para las determinadas cantidades y propiedades de aguas requeridas, los precios de los terrenos, energía y mano de obra, así como los requerimientos del efluente, una vez que se han aceptado los costos y eficiencias de los procesos unitarios individuales. Para ayudar a la identificación del material de alimentación de las computadoras, puede ser necesario realizar pruebas especiales en escala de laboratorio o de planta piloto. Sin embargo, rara vez es posible establecer similitudes físicas, químicas y biológicas completas. Por consiguiente, la transferencia de unidades a escala reducida hasta unidades a escala normal puede presentar algunas dificultades y el buen juicio de ingeniería puede proporcionar la única solución para contrarrestar el fracaso (Tebuutt 2007).

Las aguas emitidas por las plantas de purificación de aguas y su descarga subsecuente como aguas de desecho a los sistemas de tratamiento de aguas residuales pueden variar estacional, mensual, diaria y horariamente, no sólo en términos de flujo, sino también en el aspecto de la calidad del agua cruda y la concentración de las aguas residuales. Las plantas de tratamiento se diseñan para trabajar con los peores flujos máximos diarios y aun los máximos horarios dentro del alcance del período de diseño. Debido a que las capacidades de diseño se deben basar en estimaciones de las condiciones más rigurosas que hayan de encontrarse, generalmente se hacen compatibles el diseño de plantas y la programación de las operaciones, ya sea mediante la toma de previsiones para emplear capacidades de exceso mientras se amortiguan los extremos de flujo o tomando en consideración la posibilidad de introducir un tratamiento suplementario que pueda contrarrestar, ya sea a las condiciones de flujo máximo o a los cambios bruscos en la calidad de las aguas negras. En el tratamiento de aguas residuales hay los siguientes ejemplos: (Tebuutt 2007)

1. La compensación de variabilidades similares mediante una sincronización apropiada de las descargas de los residuos de los tanques de retención de la industria.
2. La adición de coagulantes químicos a los flujos concentrados que llegan a las plantas de tratamiento.

Los tanques de retención de las aguas de tormenta en los puntos de unión entre alcantarillas, combinadas con los interceptores o en los derrames de los drenajes separados de aguas pluviales, constituyen otros ejemplos de establecimiento de equilibrio del flujo y el comportamiento (Tebuutt 2007).

2.5.3 Mecanización, instrumentación y automatización

La mecanización reemplaza a las operaciones manuales y frecuentemente, en forma más importante, substituye funciones que no se pueden desempeñar a mano.

La instrumentación ayuda a guiar y registrar los flujos y comportamiento de la planta. Las herramientas mecanizadas registran las condiciones observadas en forma continua o a intervalos específicos de tiempo u horas del día (Tebuutt 2007).

La automatización combina la instrumentación y la mecanización para efectuar controles ejercidos en respuesta a las señales provenientes de flotadores, electrodos, diafragmas y barbotadores, así como de otros sensores electrónicos más complicados.

La mecanización, instrumentación y automatización son más económicas y más generales conforme las sociedades se vuelven más opulentas. La economía de escala es más pronunciada cuando los encargados en vez de atender las máquinas individuales, operan y reparan los dispositivos que eliminan tales deberes rutinarios. La información registrada se emplea en operar las plantas y en planear las ampliaciones y mejoramientos (Tebuutt 2007).

Generalmente, en las plantas de purificación de aguas, se registran los flujos del influente, del efluente y del agua de lavado; las presiones en las tuberías y los niveles del agua en los tanques y filtros, así como en los almacenamientos de agua pura y agua de lavado; la operación de bombas y compresores; las temperaturas del agua y el aire; el pH, dosis químicas y residuales de cloro, así como de otros productos químicos y las pruebas biológicas, dependiendo de la naturaleza y propósito de las plantas. Por lo general, en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se registran los flujos entrante y saliente; los niveles de agua; las operaciones de las bombas, sopladores de aire y motores de gas; los flujos y pesos de los lodos; los flujos y presiones del gas; las temperaturas de las aguas residuales, los lodos y los productos de los lodos y las pruebas químicas y biológicas, incluyendo las DBO y con poca frecuencia se hacen pruebas de azul de metileno en sus sitios específicos. Se pueden instalar tableros gráficos centrales para exponer a la vista las operaciones y condiciones de operación (Tebuutt 2007).

En circunstancias apropiadas, estos tableros se pueden convertir en mesas de consola de operación. A continuación, la telemetría reportara la información y proporciona instrucciones al equipo automatizado. El muestreo centralizado es útil, pero las líneas necesarias se deben purgar antes de muestrear y mantenerse libres de limos y depósitos. No se debe permitir que afecten la calidad de la muestra que se transmite (Tebuutt 2007).

2.5.4 Distribución de la planta

Además del dimensionamiento, la localización y la protección de la planta, su distribución puede ser una base útil en los análisis de las actividades de los operadores. Entre otras cosas, el personal identifica las arterias de comunicación óptima: caminos, andadores, escaleras, túneles, elevadores, grúas, conductores y troles.

Las distribuciones unitarias comprenden el tratamiento en unidades autocontenidas. Se producen ahorros: (Tebuutt 2007)

1. Diseñando los muros para que sirvan en común a las unidades adyacentes.
2. Por reducción de las tuberías y válvulas a un mínimo.
3. Por conservación del espacio y eliminación de los pasos innecesarios.

Cuando llega el tiempo de aumentar la capacidad de la planta, generalmente es necesario agregar una o más unidades similares y completas. La ventaja de la no interferencia con las unidades existentes se contrarresta con la desventaja de requerir una réplica completa para la expansión, operación de poner fuera de servicio unidades completas cuando cualquier parte de ellas se encuentra en reparación y las dificultades para modificar componentes individuales (Tebuutt 2007).

Las distribuciones funcionales ponen en paralelo a los componentes múltiples de los sistemas de tratamiento incluyendo los espacios para agregar componentes de la misma categoría general. Las ventajas consisten en: (Tebuutt 2007)

1. Flexibilidad de operación.
2. Economía en la construcción mediante el dimensionamiento óptimo de las unidades múltiples de la misma clase.
3. Ajuste a su sitio de los componentes de la planta.
4. Centralización de los suministros y servicios compartidos.
5. Ampliación selectiva de los componentes más efectivos.

Las distribuciones unitarias parecen ajustarse bien a los requerimientos de las plantas pequeñas. Son buenos ejemplos los filtros de presión para albercas y las plantas paquete para tratamiento de aguas residuales, en la categoría de tamaños menores.

La inclusión de algunos componentes funcionales en las distribuciones unitarias, por ejemplo, de canales comunes para el influente, el efluente y comunicaciones interiores, puede proporcionar alguna flexibilidad (Tebuutt 2007).

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, cuartos o alojamientos para:

1. Las bombas de aguas, aguas residuales y lodos.
2. Los compresores de gas y aire, los motores de gas y los filtros de aire.
3. Los controles de digestores.
4. El equipo deshidratación de lodos y secado.
5. El almacenamiento de productos químicos, dosificadores y cloradores.
6. Los lechos de secado.

2.5.5 Diseño óptimo

Las plantas de tratamiento se han desarrollado al paso de los años y en condiciones normales de operación tendrán un rendimiento a niveles satisfactorios. Sin embargo, es importante observar que punto de vista tiende hacia un enfoque de diseño relativamente conservador. Un enfoque más racional se basa en el concepto de que las unidades de tratamiento forman un sistema en el cual cada unidad se diseña para ejecutar una función particular y el sistema entero se planea para que económicamente sea óptimo.

Los costos de capital y de operación siempre en aumento, hacen que las inversiones en plantas de tratamiento se examinen cuidadosamente para asegurarse que se obtendrá el máximo valor del dinero. Una requisición primaria para poder alcanzar un nivel óptimo de diseño es disponer de relaciones de rendimiento para cada proceso en particular que enlacen las calidades de entrada y salida con un parámetro de carga característico (Hernández 1992).

Tabla 11. Parámetros normales de diseño para los procesos de lodos activados pueden ser los siguientes:

| Parámetros normales de diseño para procesos de lodos activados | | | | | | |
|--|-----------------|-------------|---|--|------------------|-----------------------------|
| Variantes de proceso | θ_c días | T_r horas | Carga másica Kg DBO ₅ Kg MLSSV * d | Carga Volúmica Kg DBO ₅ / m ³ | MLSSV mg/l | O.C. Kg DBO ₅ |
| Convencional | 4 - 10 | 4 - 8 | 0.2 - 0.4 | 0.32 - 0.64 | 1.500 - 4.000 | (0.8 - 1.2) |
| Mezcla completa | 4 - 10 | 4 - 8 | 0.2 - 0.6 | 0.4 - 0.9 | 2.000 - 5.000 | (0.8 - 1.2) |
| Aireación Escalonada | 4 - 10 | 4 - 8 | 0.2 - 0.4 | 0.64 - 0.96 | 2.000 - 3.500 | (0.8 - 1.2) |
| Aireación modificada | 0.2 - 1.0 | 4 - 8 | 1.5 - 5 | 1.2 - 2.4 | 500 - 900 | 0.4 - 0.6 |
| Contacto - Estabilización | 3 - 10 | 3 - 6 | 0.5 - 2 | 1.5 - 3 | (1.000 - 3.000) | 0.4 - 0.6 |
| Unidad de Estabilización de sólidos | 0.00 | 1 - 3 | 0.2 - 0.6 | 0.5 - 1.2 | (4.000 - 10.000) | 0.8 - 1.1 |
| F.A Alta carga | 2 - 4 | 2 - 4 | 0.4 - 1 | 1.1 - 3.0 | 1000 - 3000 | 0.7 - 0.9 |
| Aireación prolongada | ≥30 | 16 - 24 | 0.05 - 0.15 | 0.16 - 0.3 | 2.000 - 6.000 | (1.4 - 1.6) |
| Proceso de KRAUS | 5 - 15 | 4 - 8 | 0.3 - 0.8 | 0.64 - 1.6 | 2.000 - 3.000 | 0 |
| Sistema O ₂ puro | 8 - 20 | 2 - 4 | 0.25 - 1 | 1.6 - 4 | 6.000 - 8.000 | 0 |
| Etapa de Nitrificación | 10 - 15 | 6 - 12 | 0.95 - 0.15 | 0.16 - 0.48 | 0 | 1.1 - 1.5 |

Fuente: Hernández-1992: (571-695).

Tabla 11.1. Parámetros normales de diseño para los procesos de lodos activados.

| Parámetros normales de diseño para procesos de lodos activados | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Variantes de proceso | Q_r/Q | % Reducción DBO | mg O ₂ g * MLSS * h | Exceso de Lodos Kg/kg DBO |
| Convencional | 0.25 - 0.75 | 92 | 7 - 15 | 0.4 - 0.6 |
| Mezcla completa | 0.25 - 1 | 92 | 7 - 15 | 0.4 - 0.6 |
| Aireación Escalonada | 0.25 - 0.75 | 92 | 7 - 15 | 0.4 - 0.6 |
| Aireación modificada | 0.10 -0.30 | 75 | 20 - 40 | 0.8 - 1.2 |
| Contacto - Estabilización | 0.25 - 1 | 92 | 10 - 30 | 0.4 - 0.6 |
| Unidad de Estabilización de sólidos | 0.50 0 - 1 | 0 | 20 - 30 | 0 |
| F.A Alta carga | 0.25 - 1 | 85 | 0.5 - 0.7 | 0 |
| Aireación prolongada | 1 - 3 | 90 | 3 - 8 | 0.15 - 0.3 |
| Proceso de KRAUS | 0.5 - 1 | 92 | 7 - 15 | 0 |
| Sistema O ₂ puro | 0.25 - 0.5 | 92 | 0 | 0 |
| Etapas de Nitrificación | 0 | 95 | 3 - 8 | 0.15 - 0.3 |

Fuente: Hernández-1992: (571-695).

2.5.6 Elementos de diseño de tanques

Cada una de las cuatro zonas funcionales de los tanques de sedimentación y de los de flotación presenta problemas especiales de diseño hidráulico y de proceso, que dependen del comportamiento de la materia de suspensión dentro del tanque durante la remoción y después de la deposición como lodo o espumas (Hernández 1992).

El tamaño, densidad y propiedades floculantes de los sólidos en suspensión, junto con su tendencia a englobar agua, determinan la geometría de la zona de asentamiento o elevación. Su concentración en volumen y el lapso esperado de almacenamiento establecen las dimensiones de la zona de fondo y de la zona para espumas. En tratamiento de aguas residuales, tanto la zona de sedimentación, como las zonas de fondo para espumas, se debe de considerar la posible putrefacción del líquido y de los sólidos. Si se quiere que el líquido no se vuelva séptico y se evita que los sólidos elevados por el gas se incorporen al efluente alejándose de la superficie del tanque (Hernández 1992).

La putrefacción y las acumulaciones excesivas se evitan removiendo los lodos en forma más o menos continua. Se dice que la remoción mecánica es económica cuando el volumen de materia sedimentable (incluyendo el agua englobada) constituye más de 0.1% del volumen del líquido que proporciona el transporte (Hernández 1992).

Los dispositivos para la remoción afectan tanto al diseño como a la operación del tanque. Las corrientes térmicas de convección, así como las producidas por el viento, se suprimen colocando los tanques en el interior de edificios o bien cubriéndolos. El número apropiado de unidades está de acuerdo con la flexibilidad deseada en la operación y con la economía deseada en el diseño (Hernández 1992).

El uso de agentes floculantes puede adicionar hasta tres funciones complementarias a las unidades de sedimentación al requerir: (Hernández 1992)

1. Una distribución rápida del agente a través del agua que se va a tratar.
2. El tiempo de adecuado de reacción, o tiempo para crecimiento del flóculo.
3. El retorno de flóculos al influente con el propósito de promover la floculación.

Estas funciones se llevan a cabo, en forma más adecuada, en unidades diseñadas para satisfacer los propósitos clave sin embargo, esto no se hace siempre. Por ejemplo, los tanques grandes y abiertos que se construyen colocando diques alrededor de un área baja o por lo métodos de cortar y rellenar, pueden no requerir refinamientos en el diseño ni separación de las funciones, ni requerir una limpieza frecuente (Hernández 1992).

2.5.7 Carga de los tanques y periodos de retención comunes

Excepto los tanques que reciben suspensiones compuestas de partículas que se sedimentan discretamente de tamaño y densidad conocidos, es aconsejable basar su diseño sobre los resultados de análisis experimentales de asentamiento- velocidad. Sin embargo, es útil conocer el orden de magnitud de las cargas de los tanques para tipos comunes de suspensiones: (Rigola 1989)

1. La arena, limo y arcilla tienen un peso específico cercano a 2.65 con tamaños de 10^{-3} cm o más. Sus velocidades de asentamiento a 10^0 C son tan bajas como 6.9×10^{-3} cm por segundo. La carga superficial y el periodo de retención mínimo asociados son, respectivamente, 21,200 por $6.9 \times 10^{-3} = 0.006396$ L/s por m^2 de superficie de tanque (6700 L/d por m^2) y $8.47 \times 10^{-2} / (6.9 \times 10^{-3}) = 12.3$ hora en un tanque de 3.05m. (Rigola 1989)
2. Los flóculos de alumbre y hierro absorben, engloban el agua reduciendo su peso específico hasta valores tan bajos como 1.002. sin embargo, los flóculos pueden llegar a un tamaño de 0.1 cm de diámetro. Entonces, su velocidad de asentamiento de 10^0 se aproxima a 8.3×10^{-2} cm por segundo. (Rigola 1989)

3. Precipitados de calcio. Los cristales de calcita con el agua retenida tienen aproximadamente 10^{-2} cm de diámetro y poseen un peso específico cercano de 1.2. En la práctica, se emplean cargas superficiales menores de 0.03943 L/s por metro cuadrado (36,750 L/d por m^2) y por periodos de retención mayores a 2 horas. (Rigola 1989)
4. Materiales orgánicos de aguas residuales. Los pesos específicos relativos oscilan desde menos de 1.0 a 1.2 aproximadamente en base seca, pero pueden llegar a ser tan bajos como 1.001 sobre base húmeda. Las partículas flotantes consiguen tener varios centímetros de diámetro. Las partículas de 10^{-1} cm de diámetro se sedimentaran a una velocidad cercana 4.2×10^{-2} cm por seg. La carga máxima de los tanques es 0.03943 L/s por metro cuadrado y el periodo mínimo de retención de 2.0 horas en un tanque de 3.05 m. (Rigola 1989)
5. Lodos activados. Los lodos activados son tan voluminosos que por lo general, su sedimentación es distribuida. La velocidad de sedimentación libre de partículas de 10^{-1} cm de diámetro con un peso específico de 1.005, que generalmente es de 2×10^{-4} cm por segundo, disminuye en 10% a una concentración de sólidos de 2,500 mg por l. Por lo tanto, bajo condiciones ideales, la carga superficial de los tanques secundarios que tratan lodos activados puede ser tan alta como 0.1752 L/s por metro cuadrado 183,000 L/d por m^2 y el periodo de retención tan bajo como 0.47 horas o 30 min. En un tanque de 3.05 m de profundidad. En la práctica, un valor de carga de 0.0557 L/s por metro cuadrado (2.1468 L/d por m^2) permite un margen para lodos de características pobres de sedimentación. (Rigola 1989)

La desviación de lo ideal disminuye las cargas permisibles y aumenta los periodos de retención requeridos o las eficiencias de los tanques. La teoría de Hazen sobre sedimentación proporcionara una guía sobre los valores obtenidos o requeridos. (Rigola 1989)

En general, las aguas coaguladas y suavizadas mediante cal, así como las aguas municipales sujetas a sedimentación simple o a coagulación en tanques primarios, se diseñan para ser sometidas a periodos de retención de 2 horas aproximadamente o a cargas superficiales de 36,750 L/d por m^2 en tanques de 3.05 m de profundidad sobre la zona de lodos. (Rigola 1989)

En tratamiento de aguas residuales, se emplean capacidades inferiores a las normales únicamente para la remoción de sólidos por ejemplo: cuando los efluentes se descargan en aguas receptoras de gran capacidad o cuando las aguas residuales se sujetan a sedimentos antes de un tratamiento adicional, como la precipitación química o tratamiento por lodos activados. Se proporcionan capacidades superiores a las normales: (Rigola 1989)

- a. Cuando se va a elevar la remoción de DBO junto con la de sólidos en suspensión.
- b. Cuando los tanques de sedimentación sirven como amortiguadores contra las variaciones de las aguas residuales industriales y municipales (especialmente las aguas residuales tóxicas).
- c. Cuando se van a clorar cantidades anormalmente grandes de aguas negras o reciben alguna otra forma de tratamiento en unidades de sedimentación.

2.6 Límites máximos permisibles de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 para la descargas de aguas residuales

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. (Ver anexo B)

- **Objetivo:**

Proteger su calidad y posibilitar sus usos y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

- **Definiciones:**

Aguas residuales: Son las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas.

Carga contaminante: Cantidad de contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

Contaminantes básicos: Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En esta norma solo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno, nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

Contaminantes patógenos y parasitarios: Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo para la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta norma sólo se consideran coliformes fecales y los huevos de helminto.

Cuerpo receptor: Son las corrientes, depósitos naturales 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.

Metales pesados y cianuros: Son aquéllos que, en condiciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta norma sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo zinc y cianuros.

Muestra compuesta: La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la tabla (12). Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simple deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

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 procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo requerido para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo.

Tabla 12. Frecuencia de muestreo

| Frecuencia de muestreo | | | |
|---|----------------------------|---|--------|
| Horas por día que opera el proceso general de la descarga | Número de muestras simples | Intervalos entre toma de muestras simples (horas) | |
| | | Mínimo | Máximo |
| Menor que 4 | Mínimo 2 | N.E | N.E |
| De 4 a 8 | 4 | 1 | 2 |
| Mayor que 8 y hasta 12 | 4 | 2 | 3 |
| Mayor que 12 y hasta 18 | 6 | 2 | 3 |
| Mayor que 18 y hasta 24 | 6 | 3 | 4 |

N.E. No especificado / Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996 (Tabla1)

- Especificaciones

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 12.1 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible

del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades. Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mL para el promedio mensual y diario, respectivamente.

Tabla 12.1 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

| Límites máximos permisibles para contaminantes básicos | | | | | | |
|---|-----------------------|---------|--------------------|---------|-----------------------------|---------|
| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | Ríos | | | | | |
| | Uso en riego agrícola | | Uso Público Urbano | | Protección de vida acuática | |
| Promedio | Mensual | Diario | Mensual | Diario | Mensual | Diario |
| Temperatura °C | - | - | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Grasas y Aceites | 15 | 25 | 15 | 25 | 15 | 25 |
| Materia Flotante | ausente | ausente | ausente | ausente | ausente | ausente |
| Sólidos Sedimentables (ml/l) | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Sólidos suspendidos Totales | 150 | 200 | 75 | 125 | 40 | 60 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅ | 150 | 200 | 75 | 150 | 30 | 60 |
| Nitrógeno Total | 40 | 60 | 40 | 60 | 15 | 25 |
| Fósforo Total | 20 | 30 | 20 | 30 | 5 | 10 |
| Arsénico | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| Cadmio | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| Cianuro | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 |
| Cobre | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 |
| Cromo | 1 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 |
| Mercurio | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 |
| Níquel | 2 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 |
| Plomo | 0.5 | 1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.4 |
| Zinc | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996 (Tabla 2 y 3)

2.7 Límites máximos permisibles establecidos por convenio entre el cliente y la PTAR Lerma

Los parámetros de contrato son valores acordados entre la Comisión de Aguas del Estado de México, cliente directo de la PTAR Lerma, por mencionada conciliación se establecen los siguientes valores en la tabla 13.

Tabla 13. Concentraciones Máximas Permisibles

| Parámetro | Valor promedio | Máximo instantáneo |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| pH | 6.5 a 8.5 unidades | |
| DBO ₅ Total | 30 mg/L | 60 mg/L |
| DQO Total | 60 mg/L | 120 mg/L |
| Sólidos suspendidos totales | 30 mg/L | 60 mg/L |
| Grasas y aceites | 6 mg/L | 12 mg/L |
| Coliformes Totales | 1000 nmp/100 ml | 10000 nmp/100ml |

Fuente: Manual de “Contratación de prestaciones de servicios”.

CAPITULO 3. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS

En este capítulo luego de efectuar la descripción del proceso de tratamiento de aguas residuales en el capítulo anterior, ahora se realiza un análisis de algunos de los parámetros biocinéticos de los lodos activados, sintetizados por gráficas para generar una idea de la situación actual de la planta Lerma.

3.1 Descripción del proceso

El sistema de tratamiento en la línea de agua, está integrado por: pretratamiento, sedimentación primaria; aireación por contacto; sedimentación secundaria y desinfección y en la línea de lodos, por almacenamiento, recirculación y disposición de lodos. Las unidades de la planta de tratamiento se colocan en serie y cada una de éstas se diseñan y construyen para tener una capacidad de tratamiento promedio diaria, en metros cúbicos ($m^3/día$). Para caudales mayores el sistema de tratamiento crece modularmente en paralelo. Todos los tanques van enterrados casi por completo y cubiertos de tierra. El diseño toma en cuenta la conservación del paisaje urbano, la prevención de malos olores y dispersión de microorganismos dañinos.

a) Caja de excedencias:

El colector del influente se conecta a esta caja, la cual estará provista de la infraestructura necesaria para desviar el volumen de agua excedente y verterlo al cuerpo receptor más próximo.

b) Pretratamiento:

Incluye cribado medio para retener residuos sólidos suspendidos de 1" (2.54 cm) de diámetro; desarenador y medidor proporcional que permite medir el gasto o caudal de agua así como para regular la velocidad entre 20 y 35 cm/seg. El efluente del pretratamiento se descarga a una caja vertedora de donde se distribuye en forma proporcional a cada sedimentador primario.

c) Sedimentador:

Las aguas residuales efluentes del pretratamiento alimentan al tanque de sedimentación primaria, el que puede estar dividido de una a tres cámaras de diferentes tamaños que operan en serie y cuyo

tiempo de retención total es del orden de 16 a 24 horas. En estas se remueve del 50 al 75% de los sólidos suspendidos y del 20 al 40% de la materia orgánica representada por DBO. Cuenta con un falso fondo que sirve para sostener en la parte superior un empaque de grava que sirve de soporte a la malla sintética sobre la que descansa la cubierta vegetal final, en la parte inferior solamente se ubican las tolvas para la retención de lodos.

Estas unidades se instalan antes de los tanques de aireación por contacto o reactores biológicos, con el objeto de eliminar la mayor cantidad de sólidos y materia orgánica que pudieran causar la obstrucción o taponamiento de la grava de relleno del reactor y regular la transferencia del efluente producido a la siguiente unidad de tratamiento.

En este proceso es importante realizar un control adecuado del lodo sedimentado que se acumula en el fondo, ya que una buena operación de este permite la obtención de lodos digeridos o estabilizados. En caso de baja eficiencia de remoción u otros problemas, será conveniente tomar medidas adecuadas para evitar que la capacidad de tratamiento disminuya. Inusualmente este proceso demanda la instalación de un sistema de difusión que se instala en cada uno de los tanques para permitir la suspensión de los sólidos o del lodo durante el proceso de extracción.

d) Reactor biológico:

El efluente del sedimentador primaria alimenta al reactor biológico por contacto para su tratamiento. Este proceso puede estar formado por uno o más tanques que pueden presentar diversos tamaños pero siempre operando en serie, con un tiempo máximo de retención total de 24 horas. Estas unidades cuentan con un falso fondo, que cubre el área superficial del equipo, por debajo del cual se encuentran instalados los tubos difusores o burbujeadores, que inyectan la ventilación que asciende a través del lecho de grava. Es a través de éste empaque de grava por donde fluye el agua y el aire donde se forma un cultivo biológico que, en presencia del oxígeno disuelto, lleva a cabo la asimilación y degradación de la materia orgánica, así como parte de los sólidos suspendidos. En este proceso se pueden alcanzar eficiencias globales de remoción superiores al 90% de DBO y SST. La aireación se proporciona las 24 horas del día con lo cual se evita la sedimentación de los sólidos biológicos formados los que son arrastrados y conducidos a través de la tubería de intercomunicación con la siguiente unidad, que puede ser otro reactor

biológico por contacto o el clarificador de contacto. El sistema de difusión se instala en cada uno de los tanques para llevar a cabo la oxigenación del medio y la degradación de la materia orgánica.

e) Clarificador:

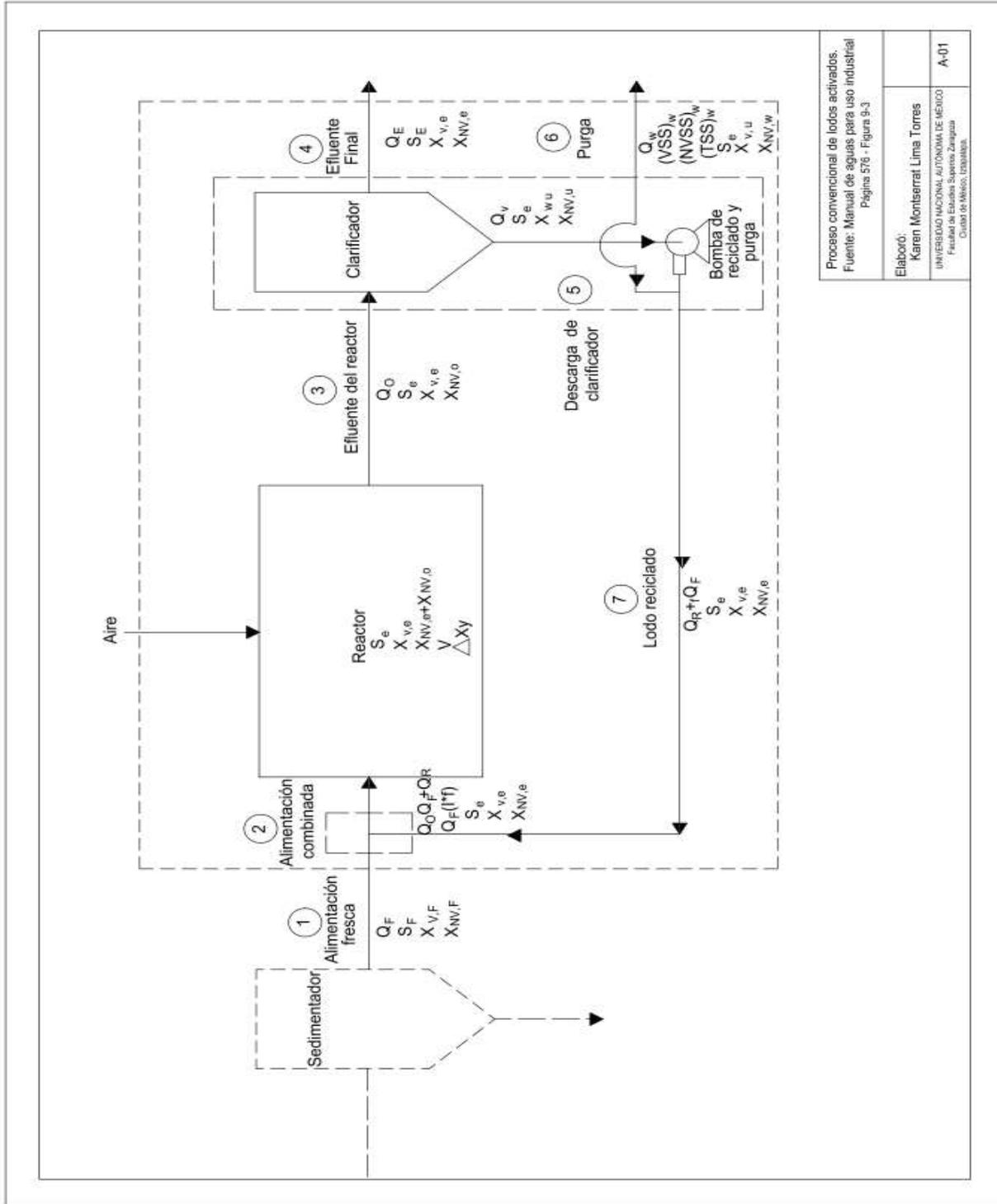
Se alimenta del efluente del reactor biológico y tiene un tiempo de retención del orden de 6 horas. En este se remueven y quedan almacenados, en el fondo de la unidad los sólidos biológicos formados, como consecuencia, se obtienen efluentes con alta calidad y transparencia, estos pueden presentar bajas concentraciones de DBO y de S.S.T que pueden variar de 10 a 30 mg/L, por lo que se cumple con la normatividad mexicana. Cuenta con un falso fondo que sirve para sostener en la parte superior un empaque de grava que sirve de soporte a la malla sintética sobre la que descansa la cubierta vegetal final, en la parte inferior solamente se ubican las tolvas para la retención de lodos.

f) Desinfección:

El tanque de desinfección se ubica después del sedimentador secundario. En éste se agrega cloro al efluente final para eliminar las bacterias patógenas remanentes del proceso con el fin de descargar a los cuerpos de agua o posibilitar su reutilización.

El tanque de cloración está diseñado con la premisa de utilizar cloro en estado sólido (hipoclorito de calcio al 30% ó 65%), el cual se dosifica en forma de gas con un bypass que se instala dentro del agua, en la zona de entrada al tanque, donde se desprende y disuelve el cloro para destruir los organismos patógenos.

3.2 Diagrama de flujo de proceso



Proceso convencional de lodos activados.
 Fuente: Manual de aguas para uso industrial
 Pagina 576 - Figura 9-3

| | |
|----------|--|
| Elaboró: | Karen Monserrat Lima Torres |
| | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Ciudad de México, Iztapalapa. |
| | A-01 |

3.3 Descripción del proceso caso particular (PTAR- Lerma).

La fase inicial del proceso está sujeta a dos conectores de agua residual, el principal ducto es el cárcamo de bombeo de San Mateo Atenco-Toluca, que cuenta con 6 equipos de bombeo de 125 HP. Este recolecta tanto aguas urbanas, industriales y algunos vertidos del río Lerma. El segundo ducto está conectado al alcantarillado de las aguas urbanas de las colonias: Lerma, Metepec y San Mateo Atenco, dicho ducto está colocado de manera que el agua sea envía por gravedad sin utilizar bombas para ello.

Para la siguiente fase del proceso se considera el diseño para un flujo de 1000 L/s.



Figura 7. Caja de llegada, ducto superior. Elaboración propia.

El agua residual fluye hacia la caja de llegada (a esta entrada se le conoce por influente), con una compuerta mecánica, se va derivando el acceso del flujo de agua residual (con apertura que va desde 0 cm hasta 60 cm), en condiciones cotidianas esta se mantiene en los 40 cm de apertura.



Figura 8. Cribas. Elaboración propia.



Figura 9. Cárcamo de bombeo. Elaboración propia.

Continúa por un pretratamiento de cribado con una inclinación de 85° para evitar que los objetos golpeen con velocidad (su limpieza es manual), inicia con una rejilla gruesa de 25 mm, esta logra aliviar el sobre flujo, aparte de que retiene la basura de mayor tamaño. Posteriormente pasa por una rejilla mediana que cuenta con un polipasto para su limpieza, en seguida se encuentra la rejilla fija está colocada de manera que la basura de menor diámetro y peso se estanque y para finalizar el cribado pasa el flujo por rejillas finas que tienen una apertura de 3 mm, lo que permite retener la basura de pequeñas dimensiones que lograron pasar por las anteriores rejillas.

Ya sin basura ostentosa este fluye al cárcamo de bombeo (contiene 2 bombas sumergibles de 536.8 Hp) con arenas vertidas en él. Es bombeado hacia los 8 desarenadores, que retiran el exceso de arenas acumuladas sobre dos desaguadores con bandas transportadoras que su utilidad principal es expulsar la arena y esta recae en carretillas, donde de manera manual los operarios la depositan en lechos de secado.

El agua cruda fluye por gravedad a los cuatro tanques de aereación (reactores biológicos) por partes iguales, los lodos producidos por los clarificadores son utilizados en los tanques, estos se recirculan mediante un cárcamo de bombeo de lodos. Cada tanque utiliza difusores de aereación de tipo burbuja con membranas ultra fina, alimentando oxígeno al sistema, por dicha acción se requiere medir el oxígeno disuelto y los sólidos sedimentables cada dos horas, cuidando la producción de alimento-microorganismo y a su vez mantener un equilibrio dentro del sistema.



Figura 10. Desarenadores. Creación propia.



Figura 11. Área de clarificadores. Creación propia.

El proceso secundario inicia a la salida de cada tanque, donde ya se obtiene licor mezclado, este fluye hacia la caja de distribución donde la compuerta permite manipular el flujo de tal manera que a cada clarificador se le deposite una cantidad diferente o igual dependiendo de la carga hidráulica calculada que requiera el proceso en ese momento.

La retención calculada dentro de cada clarificador es de 7 horas, para obtener el agua clarificada, esta fluye hacia el canal de cloración, dosificando una solución de cloro gas, éste requiere por norma un mínimo de 0.5 mg/L por ello se toma muestras a la salida del canal, para medir el cloro residual contenido en un litro de agua ya tratada. Con el fin de desinfectar el agua tratada (a esta salida se le conoce como efluente).



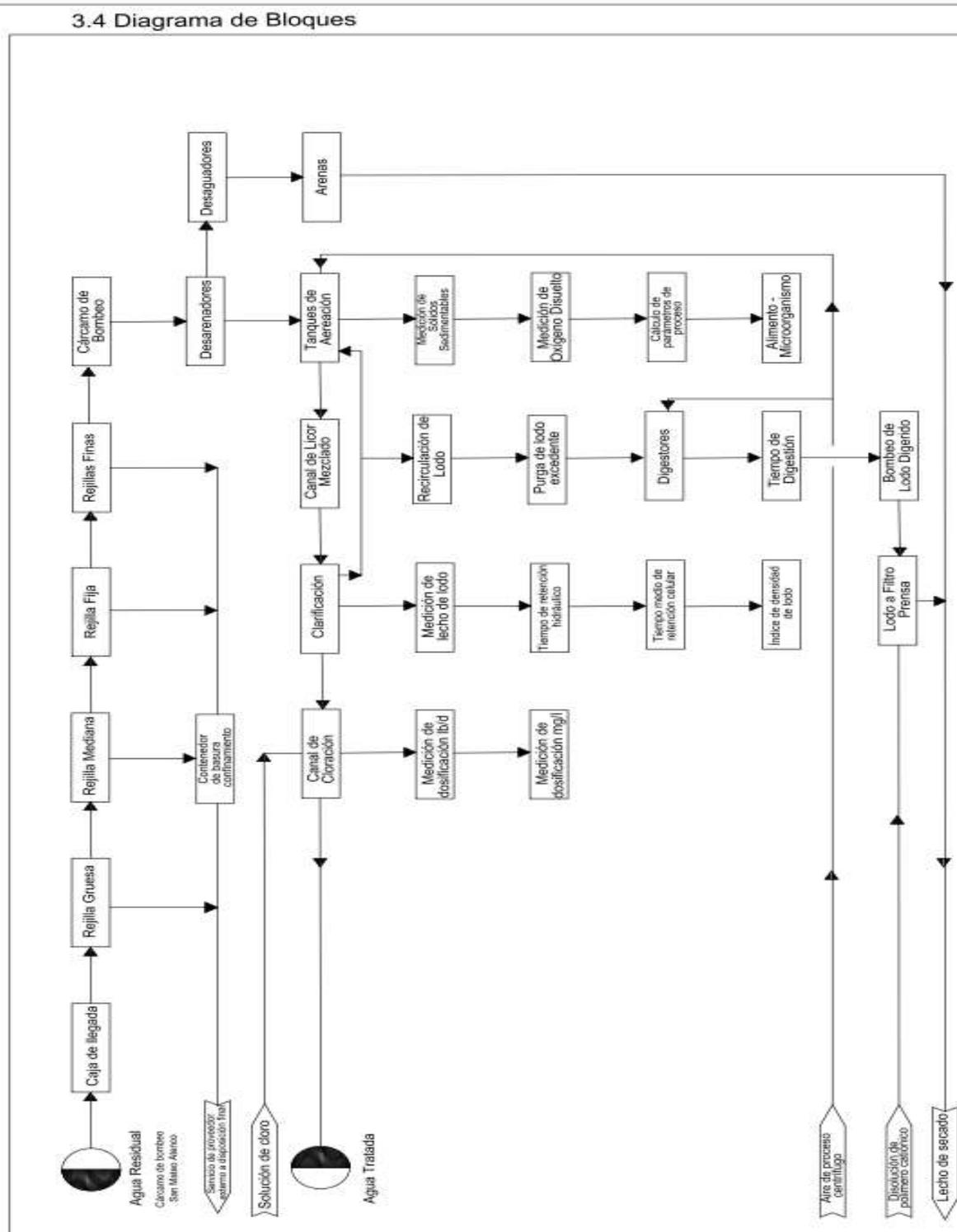
Figura 12. Cárcamo de lodos. Creación propia.



Figura 13. Producto final, agua tratada (efluente). Creación propia.

La digestión de lodos parte de la edad de esté, ya que si este es viejo ya no presenta las características necesarias para el proceso así que se realiza una purga, se detiene la recirculación de lodo a los tanques, dirigiéndolo ahora hacia los digestores, (el lodo es recirculado y/o purgado desde el cárcamo de lodos). La planta cuenta con dos tanques de digestión anaerobia que permite estabilizar el lodo, para ello constantemente se tiene que medir el pH del lodo. Al llegar a un pH de 6 unidades como mínimo ya está listo para ser prensado con una disolución de polímero catiónico, pasa por un filtro prensa, enviando las tortas de lodo por una banda transportadora a un camión tipo “torton”, que los transporta a lechos de secado para finalizar el proceso de estabilización y con ello poder reutilizar éste como abono para cosechas de la comunidad.

3.4 Diagrama de bloques



3.5 Evaluación anual de parámetros biocinéticos

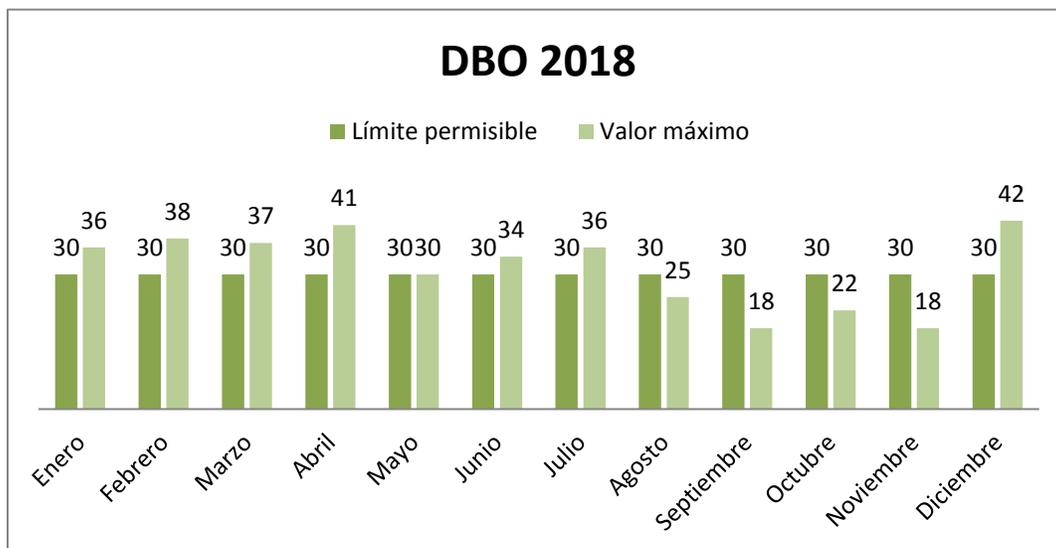
A fin de determinar el grado de eficiencia del proceso de la PTAR-Lerma se analizaron las mediciones efectuadas para los parámetros seleccionados del muestreo diario del efluente; éstos son: DBO, DQO, Grasas y aceites, SST, coliformes totales y fósforo.

Las muestras fueron recolectadas el 20 de julio del 2018, se puede apreciar el cambio de tonalidades de cada muestra.

De acuerdo con los valores reportados a lo largo del 2018 se elaboraron las siguientes seis gráficas. Cabe mencionar que sólo se tomaron los valores máximos reportados por mes y no incluyen los valores promedio mensual. En cada grafica se muestran dos tonalidades, la primera más oscura establece el límite máximo permitido en la norma 001-SEMARNAT-1996; y la segunda barra en tonalidad oscura indica el valor reportado en las bitácoras de operación del proceso.

Con las siguientes gráficas se evaluaron los valores máximos por cada mes en el año 2018, comparándolos con el valor máximo permitido en la norma (NOM-001-SEMARNAT-1996) y en los parámetros de conciliación de nuestro caso en particular, encaminando la tesis a buscar las posibles soluciones para cumplir con los lineamientos marcados en los documentos oficiales ya mencionados. Iniciando por comparar cada mes las incidencias al no cumplir con los parámetros, que con llevan al análisis de los factores que afectan al proceso y su influencia de estos en las diferentes épocas del año, donde puede haber abundantes lluvias, estiaje, bajas o altas temperaturas o contaminantes por temporada, al igual se observa en qué mes hay una mejor calidad en el agua ya tratada (efluente).

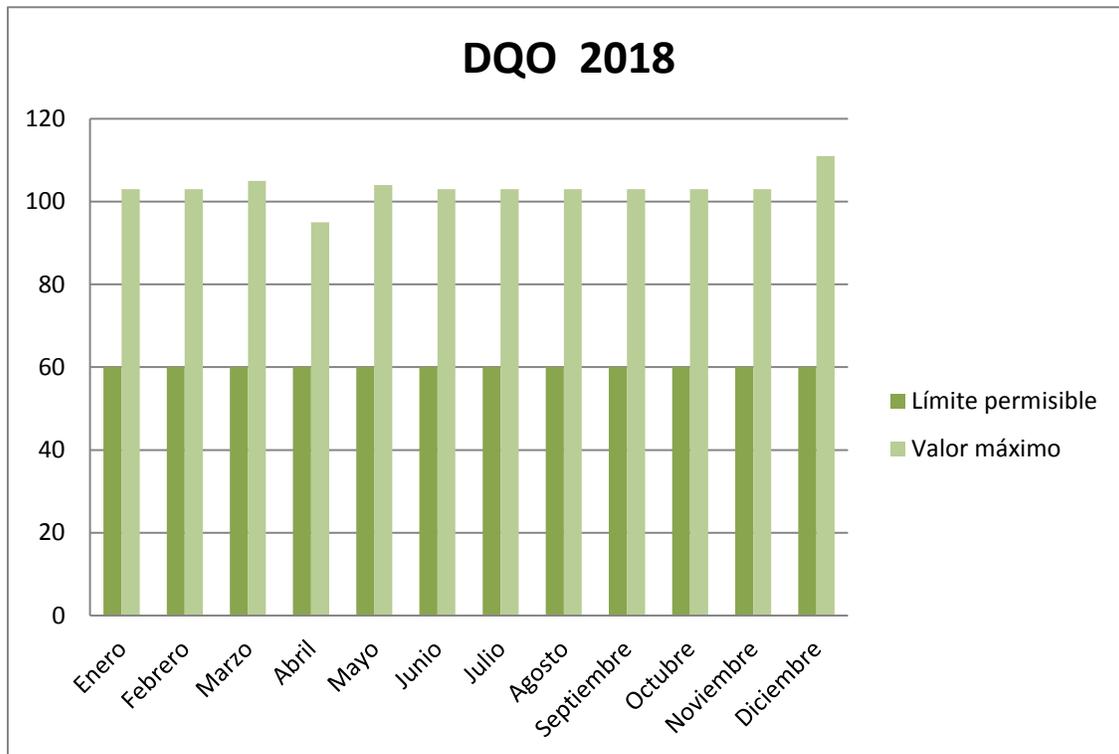
Gráfica 2. Demanda bioquímica de oxígeno a la salida del proceso



Fuente: Elaboración propia con datos tomados del laboratorio de Ecosistemas.*Las unidades utilizadas son miligramos de materia orgánica en un litro de agua.

Se analiza que de enero a abril hay un promedio de 38 mg/L de DBO total en cuanto a la materia orgánica oxidada, en cuanto lo reportan de agosto a noviembre donde la oxidación de materia orgánica se mantiene en un promedio de 21 mg/L de DBO total lo que hace que se encuentre dentro de los parámetros normalizados, sin embargo junio y julio se presentan con 5 unidades arriba del límite adecuado.

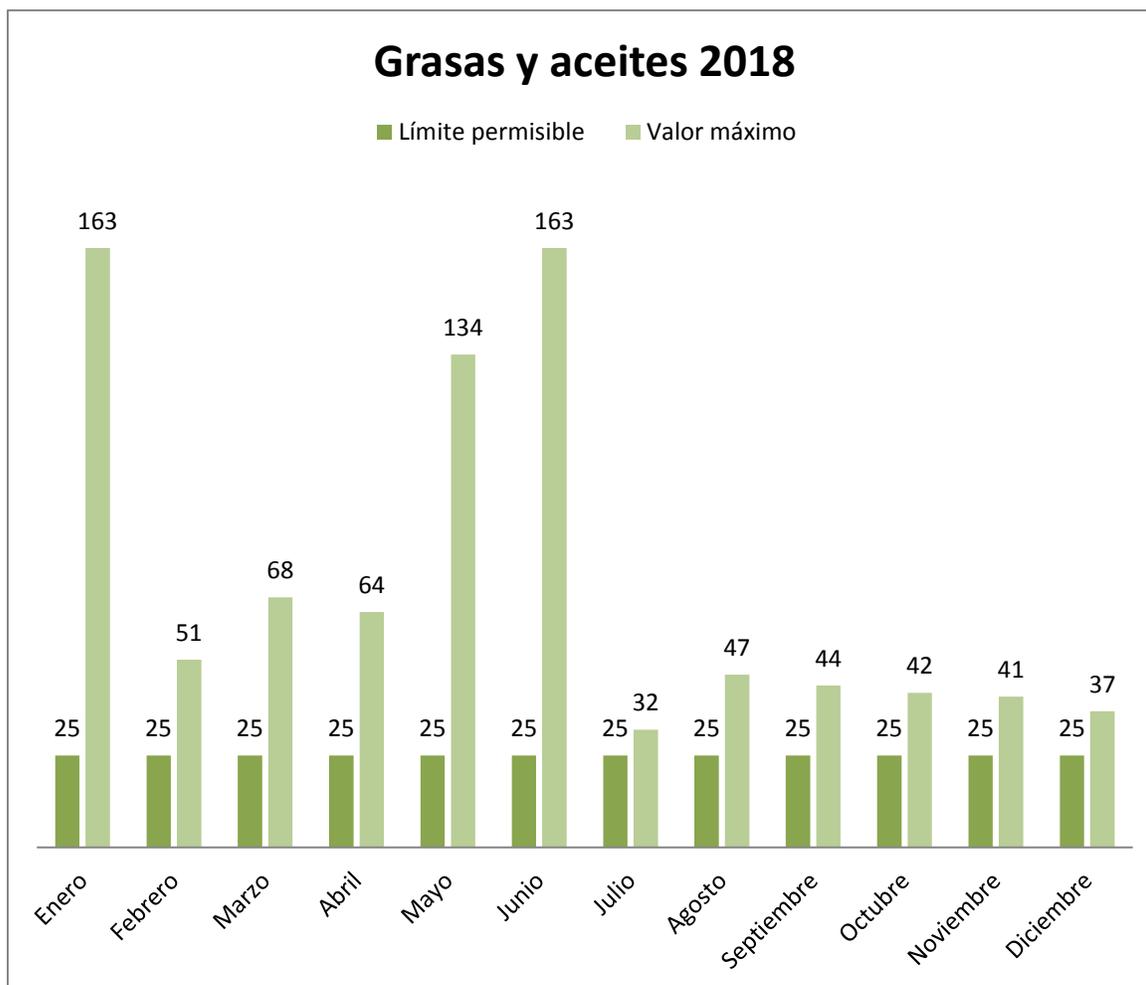
Gráfica 3. Demanda química de oxígeno a la salida del proceso



Fuente: Elaboración propia con datos tomados del laboratorio de de Ecosistemas. *Las unidades utilizadas son miligramos de materia orgánica en un litro de agua.

Al igual que el gráfico anterior en el siguiente (ver gráfica 4) se evaluaron los mismos reportes a lo largo del 2018, el valor máximo obtenido por mes que se encuentra de color verde claro y el verde fuerte señala límite máximo señalado por la norma 001-SEMARNAT-1996 y los valores de la tabla 13. Se considera una media de 100 unidades de materia orgánica oxidada químicamente en todo el año, haciendo notar que no se encuentra dentro de lineamientos normativos.

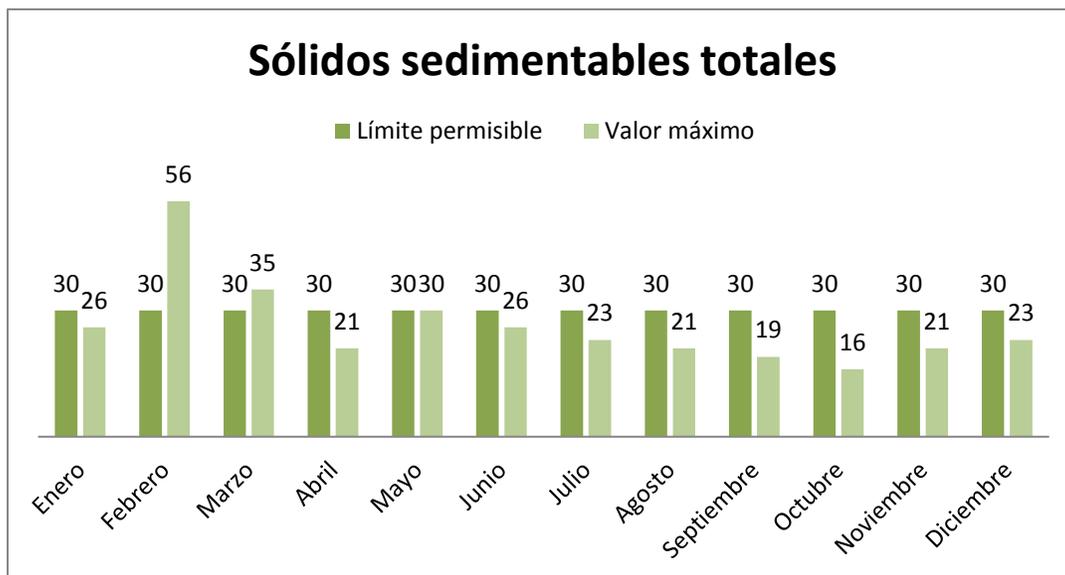
Gráfica 4. Grasa y aceites a la salida del proceso



Fuente: Elaboración propia con datos tomados del laboratorio de Ecosistemas.

Con la misma documentación se evaluaron los datos mediante la siguiente gráfica, el valor superior obtenido por mes que se encuentra de color verde claro y el verde fuerte señala límite máximo señalado por la norma 001-SEMARNAT-1996 y los valores de la tabla 13. Se analiza que en enero, mayo y junio se encuentran con grandes picos excesivamente altos a los demás meses que corresponde de febrero a abril y de julio a diciembre, superando por más de 120 unidades de grasas y aceites por encima de la media que corresponde 44 unidades de grasas y aceites.

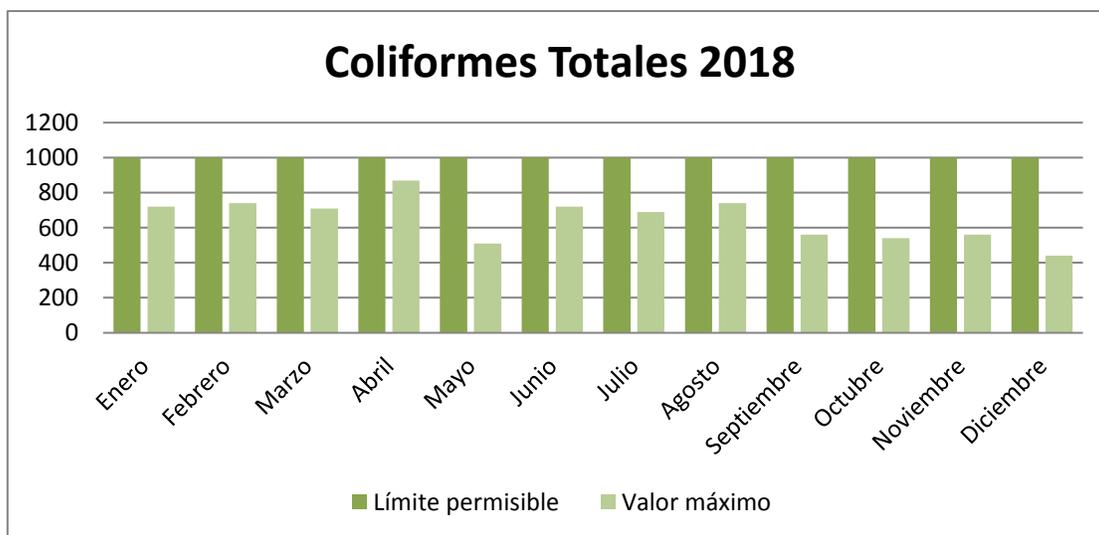
Gráfica 5. Sólidos sedimentables totales a la salida del proceso



Fuente: Elaboración propia con datos tomados del laboratorio de Ecosistemas

En cuanto al parámetro de sólidos sedimentables se puede analizar que febrero y marzo sobresalen del valor requerido, sin embargo con un valor de 56 unidades de sólidos sedimentables en el mes de febrero es despreciable, mostrando un buen control en el proceso de tratamiento sobre estos sedimentos.

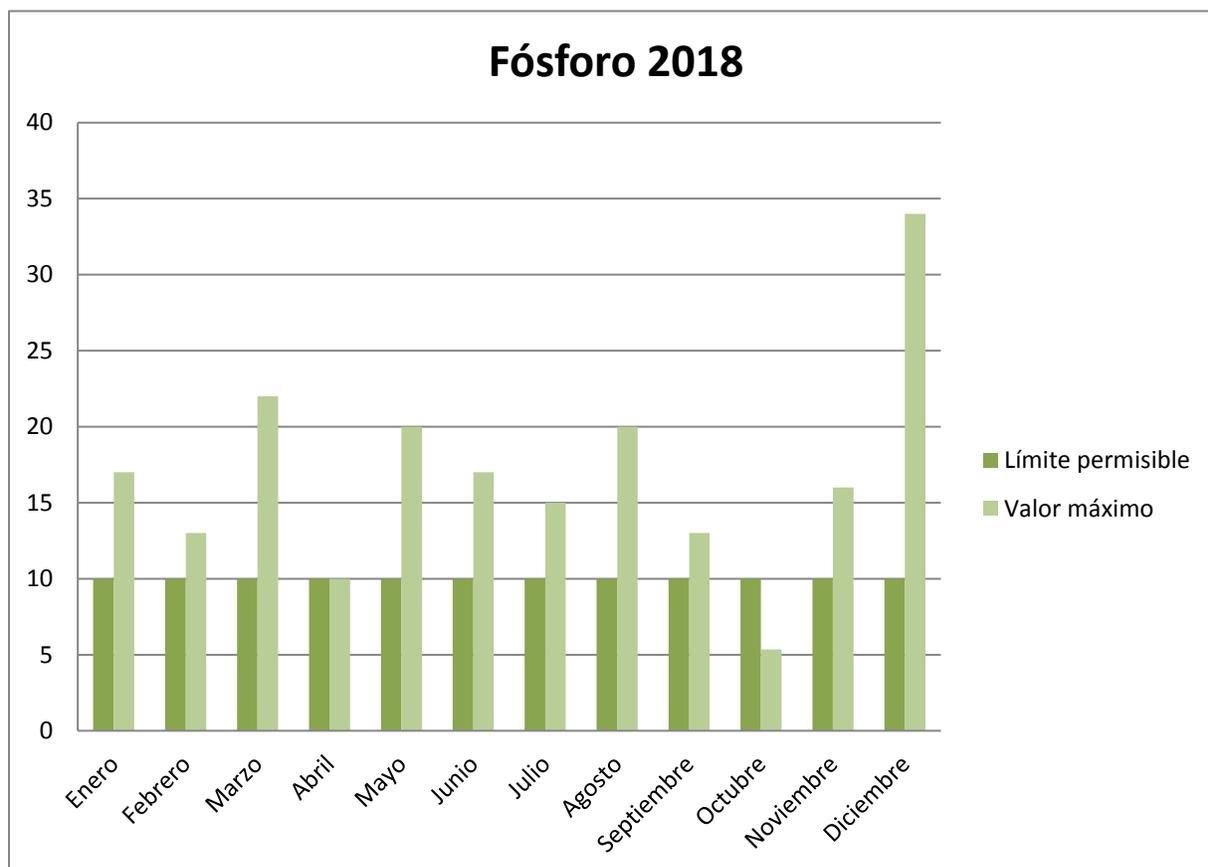
Gráfica 6. Coliformes Totales a la salida del proceso



Fuente: Elaboración propia con datos tomados del laboratorio de Ecosistemas

Los coliformes totales dictan que el proceso está teniendo una buena desinfección con ello una baja producción de coliformes que son dañinos para la salud, dato importante que cumpla con buena conformidad con los valores permitidos por la norma.

Gráfica 7. Fósforo a la salida del proceso



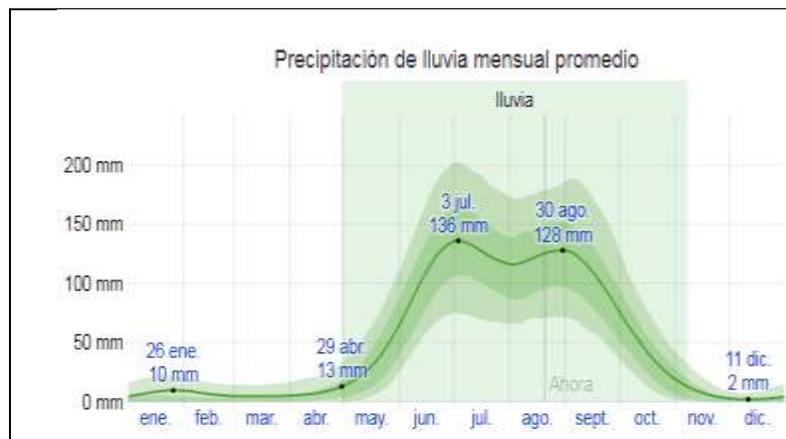
Fuente: Elaboración propia con datos tomados del laboratorio de Ecosistemas

En cuanto al fósforo vertido en el efluente destaca el mes de diciembre con un pico mayor a 30 unidades de fósforo no oxidado por el tratamiento de aguas. De enero a noviembre a excepción de octubre se mantiene un promedio 15 representando sólo el 5% de unidades superadas por el valor normado, al igual que es evidente que octubre cumple perfectamente con los límites requerido.

CAPITULO 4. PROPUESTA DE MEJORA

Para dar inicio a un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) cabe destacar que se evalúan los parámetros físicos como son: la relación alimento-microorganismo, sedimentación y clarificación. Estas etapas se ven afectadas por varias causas: las precipitaciones, variación de temperatura y/o agentes contaminantes químicos (combustóleos, pinturas, y productos emergentes por mencionar algunos). La gráfica 8 muestra el promedio de lluvia mensual del 2018 en Toluca de Lerdo. La gráfica 9 muestra la temperatura en el mismo periodo.

Gráfico 8. Precipitaciones mensuales



Fuente:weatherspark.com

Gráfico 9. Temperatura máxima y mínima promedio de Toluca de Lerdo en 2018.



Fuente: weatherspark.com

La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75° y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son temperaturas promedio percibidas correspondientes.

4.1 Análisis de parámetros

En esta sección se realiza una discusión de los valores expuestos en las gráficas previamente mostradas en el marco teórico considerando con las condiciones ambientales presentes en el momento de la medición de parámetros de la PTAR Lerma.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

- El valor límite permisible según la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 30 mg/L, al igual que los límites del contrato (tabla 13) de la PTAR –Lerma es de 30 mg/L. Dado el caso de estudio la medición de éste parámetro se realiza diariamente seis veces al día, tomando una muestra automática a la salida del proceso en los siguientes horarios 10:00 horas, 14:00 horas, 18:00 horas, 22:00 horas, 02:00 horas y 06:00 horas, para obtener una muestra compuesta y con ella se realiza el método dado por la NMX-AA-028-SCFI-2001 que trata sobre la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas, para cuantificar los mg/L de materia orgánica medida que hay en el agua tratada. Esto garantiza exactitud al obtener el parámetro diario.
- El procedimiento de oxidación biológica de cada muestra tomada en la PTAR-Lerma es relativamente lenta de obtener, dado que los compuestos orgánicos simple se oxidan por completo en 5 días, por ejemplo, la glucosa, los compuestos complejos solo se pueden oxidar al 40% (valor teórico), punto clave para la evaluación de éste dado que se observa datos altos al límite permisible. (Sierra Plazas, Julia-2001)
- Se analizó por mes el valor máximo encontrado en el 2018 ya que si se desea proteger la vida acuática o como primer utilidad bajar los niveles de contaminación del agua residual, reduciendo el impacto ambiental diario, se debe de cumplir con los límites permisibles siempre se obtiene resultado de este análisis se puede observar que únicamente en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre se ha logrado cumplir con los valores válidos.
- Evidentemente no es ni el 50% del año cuando se logra cumplir con los valores legales, lo que generan los siguientes cuestionamientos: ¿Qué pasa en los demás meses?, ¿Por qué en agosto, septiembre, octubre y noviembre se cumple los valores permisibles?, ¿Lo causan

las lluvias? y ¿La temperatura ambiente?, lo que nos enfoca al primer punto crítico que son las variables que no se controlan en el proceso.

- Una causa probable al punto anterior es que a partir del mes de agosto a octubre se presentaron lluvias que rebasaron los 100 mm en horas puntuales según datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 2018). Siendo éste uno de nuestros principales factores que ayudan a cumplir el valor permitido en dichos meses.
- La temperatura de agosto a noviembre no muestra grandes cambios, se registra constante en estos cuatros meses, al no rebasar los 20°C ayuda al oxígeno disuelto en no alterar el alimento para los microorganismos, así como lo describe el manual de aguas para usos industriales (2002), éste menciona que a menores temperaturas la dispersión del oxígeno disuelto en los lodos activados es favorable, mientras que si superan los 25°C la difusión se ve obstaculizada.

Demanda química de oxígeno (DQO)

- El valor límite permisible según valores de contrato (tabla 13) de la PTAR –Lerma es de 60mg/L, el muestreo de este parámetro se realiza de la misma manera en mezcla compuesta y con ella se realiza el método dado por la NMX-AA-03012-SCFI-2011 que se refiere al análisis de agua- determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales tratadas (DBO₅) y marinas, que permite cuantificar los mg de materia orgánica en un litro de agua.
- En este caso el valor permitido es rebasado por más de 30 mg/L con respecto a la especificación de la NOM-001 la cual permite 60 mg/L, en los valores graficados se muestra un valor de 90 mg/L.
- No se muestra estar dentro del parámetro establecido por la NOM-001 en todo el año 2018.
- El punto anterior se podría justificar por las grandes cargas de materia orgánica contaminantes que entran al proceso (las cargas de materia orgánica del influente también se reportan con la medida de la DQO), debido a que son mayores a 500 mg/L, estas cargas elevadas de materia orgánica prevalecen durante todo el año alcanzando cifras de 1200 mg/L de DQO en el influente.
- En el capítulo dos se habló del aumento poblacional e industrial en Toluca, el crecimiento de la población ha sido mayor a un 40% y el industrias ha tenido un 35% de crecimiento a lo largo de 20 años según datos de INEGI, lo que equivale a una mayor carga orgánica por habitante e industrial, ya que se debe tomar en cuenta que los parámetros iniciales se

tomaron en 1994 para el diseño de la planta y con el crecimiento poblacional e industrial se ha aumentado la carga orgánica, dejando insuficiente el proceso. Lo que conlleva a los valores de la gráfica 3 que tienen una media de DQO de 100 en valor máximo alcanzado, concluyendo que el aporte de contaminantes orgánicos por el desarrollo urbano ha superado la eficiencia del proceso exigiendo una mejora, con base en la situación actual.

Grasas y aceites a la salida del proceso (GA)

- El valor límite autorizado según la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 25 mg/L, al igual que en los límites de contrato (tabla 13) de la PTAR –Lerma es de 12 mg/L, este parámetro se realiza al igual por muestra compuesta y con ella se realiza el método dado por la NMX-AA-005-SCFI-2013 que hace a la medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, usada para cuantificar los mg/L que hay en el agua tratada.
- Los casos críticos son enero, mayo y junio dado que el límite es rebasado por más 100 mg/L.
- El mes de julio resulta el más aproximado al límite máximo ya que solo es rebasado por 7 mg/L, observando las variables de este parámetro siendo ventajosas son las precipitaciones abundantes y el clima con temperaturas menores a 20°C.
- A partir del mes de julio a fin año se puede observar que los resultados de grasas y aceites son similares, destacando la gran ventaja de las condiciones meteorológicas debido a las bajas temperaturas y a las precipitaciones que se presentan a lo largo de estos meses, en comparación del tiempo de estiaje donde el flujo es bajo y las lluvias no son continuas.

Sólidos sedimentables totales (SST)

- El valor límite permitido según la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 40 mg/L, al ser aproximado a los límites de conciliación (tabla 13) de la PTAR –Lerma es de 30mg/L, este parámetro se mide al igual por muestra compuesta y con ella se lleva a cabo el método dado por la NMX-AA-034-SCFI-2015 que asigna el algoritmo para la medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, para cuantificar los mg/L que hay en el agua tratada.
- Estos sólidos totales son principalmente sales disueltas en el proceso, observando que la sedimentabilidad es un proceso físico, el parámetro toma su importancia en los reactores biológicos debido a un incremento de sólidos se puede ver afectado el proceso de

tratamiento, por lo que se requiere su control y supervisión continua, recomendando hacer muestreos de control cada 30 minutos o cada 2 horas como máximo entre intervalos de tiempo, evitando su producción excesiva.

- Febrero y marzo se colocan como los meses con mayor índice de sedimentos rebasando el límite máximo permitido, a diferencia del largo del año donde se cumple con este, así mismo se podría decir que en estos dos meses hay un exceso de sedimentables alterar las condiciones del alimento-microorganismo como su pH, afectando directamente la calidad del proceso de tratamiento.
- Repetitivamente los parámetros climáticos en estos meses son con bajas o nulas precipitaciones y con temperaturas mayores a los 20°C. Se ha observado en la práctica y en la teoría el aumento de temperatura disminuye el índice de oxidación y a menores temperaturas aumenta el índice de oxidación.

Coliformes totales (CT)

- El valor límite legal según la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 1000nmp/100mL, este parámetro se realiza al igual por muestra compuesta y con ella se realiza el método dado por la NMX-AA-42-SCFI-2015 que dicta la enumeración de organismos coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichiacoli, método del número más probable en tubos múltiple, para cuantificar por el método de número más probable (nmp) que hay en el agua tratada.
- Este parámetro si se encuentra dentro de la norma todo el año.
- Para protección de la vida acuática o uso de riego es beneficioso ya que los coliformes aportan enfermedades debido al arrastre de excremento o desechos de alcantarillado.

Fósforo (FO)

- El valor límite válido según la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 10 mg/L, este parámetro se mide al igual por muestra compuesta y con ella se realiza el método dado por la NMX-AA-029-SCFI-2015 que determina el fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, para cuantificar los mg/L que hay en el agua tratada.

- El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento biológico, este se encuentra en tres formas: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos. De estos el ortofosfato es la forma más asimilable por los microorganismos.
- Es importante tener controlado este parámetro ya que puede provocar un crecimiento excesivo de algas, no obstante la aparición de estas algas provocan disminución en el oxígeno disuelto.
- El fósforo es uno de los ingredientes principales de los detergentes, por lo tanto su aparición y constancia en el proceso se denota durante todo el año, con una ligera asimilación por el proceso en el mes de octubre.
- En diciembre con 20 mg/L de más, es un punto crítico y de análisis ya que este parámetro en vez de ayudar al crecimiento biológico, se asimila como un problema de contaminación.

4.2 Propuesta de mejora

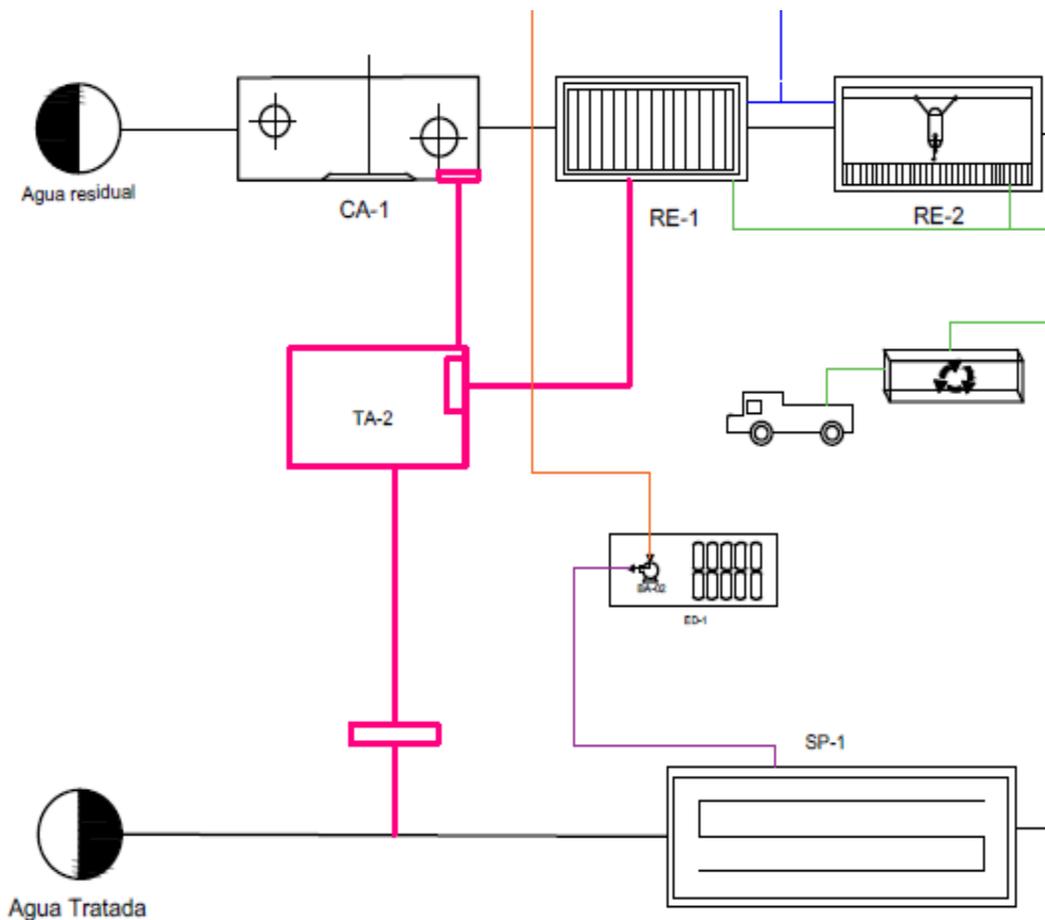
Al observar los resultados de los parámetros seleccionados durante el año 2018, lo que ayuda completamente al proceso a cumplir con las normas de especificaciones, es la época de lluvia como las bajas temperaturas. La propuesta de mejorar consiste en una recirculación de agua ya tratada a la caja de llegada, donde se encuentra el agua cruda, genera una disolución en la nueva carga contaminante, evita el impacto directo antes de que entre al proceso de tratamiento y asegura que el agua residual no sea ni muy básica ni alcalina.

Al valorar que como se trata de una empresa privada y se cobra por metros cúbicos tratados la modificación al proceso se puede llevar a un acuerdo para que esta recirculación éste medida por un segundo medidor de flujo que mencionará los litros reutilizados y por ello cobrar la mitad. La recirculación se podría controlar mediante una compuerta, abriéndola en épocas de estiaje, en sustitución de la lluvia.

Esto evita igual una ampliación de la planta, que en costos la inversión sería mucho mayor y poco redituable porque el promedio de flujo anual no rebasa los 870 L/s, una ampliación es para tratar más agua residual, dejando claro el problema no es el caudal, sin embargo la carga orgánica con altos niveles de contaminación es el problema que se combatiría con la recirculación.

De tal manera que en el diagrama siguiente, se muestra el tanque (TA-2) de color rosa y su conexión al proceso descrito anteriormente de la PTAR – Lerma Concluyendo con un análisis FODA de lo que representa esta propuesta en la página 74.

4.2.1 Diagrama de flujo para especificaciones de la propuesta de mejora (creación propia)



Los equipos que se observan en el diagrama son los siguientes:

CA-1 Caja de llegada

TA-2 Tanque de homogenización

RE-1 Rejilla gruesa

SP-1 Serpentín de cloración

4.3 Análisis FODA

Fortalezas

- Más del 90% de la población de Toluca cuenta con servicio de drenaje en sus domicilios.
- El sobreflujo de diseño de la PTAR puede alcanzar 2100 L/s.
- Las precipitaciones en el Estado de México son abundantes durante todo el año.
- Actualmente el Gobierno del Estado de México tiene interés por el saneamiento del Río Lerma.

Oportunidades

- Aprovechamiento del espacio de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), colocando un tanque de mezclado del efluente con influente, logrando la disminución de la carga orgánica, antes del ingreso al tratamiento.
- Implementación de oxímetros a la salida de cada reactor biológico.
- Reinstrumentación del equipo de laboratorio, con ello se logrará cuantificar los resultados por hora y no por día, evitará un desequilibrio bioquímico.
- El incremento población del Estado de México va más allá del 4%.
- Recontracción de personal técnico.

Debilidades

- Afectar a las colonias cercanas por inundaciones, debido la falta de mantenimiento en los equipos que permiten utilizar la PTAR a un 100%, tan solo esta al 60% de funcionamiento, lo que no permite superar un flujo de 900 L/s.
- Falta de iniciativa por parte de administrativos para el financiamiento de nuevos equipos, o un mantenimiento de personal experto.
- Nula importancia para obtener una alta calidad de agua tratada, por parte de l equipo de supervisión y operación.
- El no uso del agua tratada.

Amenzas

- Desinterés por personal operario en cuanto a la importancia del cumplimiento de la calidad del agua tratada.
- La unión que existe con el canal Totoltepec hacia el influente, debido a que este cuenta con cargas contaminantes altas, corre peligro el proceso ya que se cuenta con una unión de salida para el influente hacia el canal, el mal diseño de este realiza lo contrario el agua del canal entra al proceso y en épocas de lluvias esta amenaza es constante.

CONCLUSIONES

El objetivo general de evaluar el proceso de tratamiento de la PTAR Lerma, se cumplió durante la estadía de un año. Se trabajó operando el proceso y supervisando las labores de mantenimiento. Simultáneamente se realizaron muestreos del influente, tanques, lechos de lodos, clarificadores y del efluente por mencionar algunos.

Luego de analizar la funcionalidad de cada equipo y del proceso en general es innegable que el factor mantenimiento contribuye sustancialmente al cumplimiento de la normatividad actual. Se observaron que las variables climatológicas pueden ser tomadas como no controlables, sin embargo su impacto en el proceso es considerable debido a la sobrecarga de flujo en épocas de lluvias. Sumando a lo anterior una mala operación o falla del equipo, provocan que estas variables afecten de manera negativa al proceso, por lo que, se debe prestar mayor atención a estas fallas. Esto es, las principales deficiencias del proceso, se aprecian principalmente en la falta de un buen trabajo de mantenimiento a los equipos puesto que estos tienen alrededor de 24 años.

Realizando una comparación en los principios de diseño con los de operación, se determina que el corazón del proceso está en los reactores biológicos, debido a que la demanda de oxígeno disuelto debe cumplir la relación kilogramo de oxígeno disuelto por kg de DBO eliminado. Lo que favorece esta relación es el uso de difusores sumergidos de manera horizontal aprovechando la elevación geográfica del sitio dado que hace eficiente al proceso.

En cuanto a la operación se encuentran grandes dificultades económicas que impiden que el proceso tenga una eficiencia del 100%, esto es, incrementar inversión hacia la planta en modo dinero-capital se ve reprimido, dicho problema se empieza a hacer más grande cuando la gerencia pierde interés en una mejora continua y descuida las capacitaciones del personal y el mantenimiento. Los operarios nuevos ya no son capacitados por alguien con conocimientos técnicos, si no por sus mismos compañeros, no les transmiten un conocimiento básico de un buen entrenamiento, sin embargo gracias al listado de actividades y a la repetición de las mismas pueden realizar a una buena operación. La inexperiencia del cuerpo de mantenimiento sobre la mecánica y funcionamiento engrandece el conflicto.

En conclusión, se realizó el análisis de resultados como las propuestas de mejora que permitirán reducir los valores máximos alcanzados en cierta época del año. Una variable importante que se debe controlar es la temperatura y otra es el flujo de bombeo. Estas variables afectan directamente al crecimiento de los microorganismos no generando alimento a la par de la carga orgánica. La propuesta de una recirculación, con un tanque de mezclado aumentará el proceso de retención y evitará los cambios bruscos de flujo a la entrada del proceso y a su vez disminuirá la carga orgánica.

Lista de figura

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Sistema colector Toluca del Río Lerma. | 5 |
| Figura 2. Contaminación de los ríos en México. | 6 |
| Figura 3. Foto aérea de la planta de tratamiento de aguas residuales Lerma. | 16 |
| Figura 4. Crecimiento de microorganismos y evolución del sustrato. | 30 |
| Figura 5. Tasa de eliminación de materia orgánica. | 32 |
| Figura 6. Influencia de la Temperatura sobre la desnitrificación. | 36 |
| Figura 7. Caja de llegada, ducto superior. | 55 |
| Figura 8. Cribas. | 56 |
| Figura 9. Cárcamo de bombeo. | 56 |
| Figura 10. Desarenadores. | 57 |
| Figura 11. Área de clarificadores. | 58 |
| Figura 12. Cárcamo de lodos. | 59 |
| Figura 13. Producto final, agua tratada (efluente). | 59 |

Lista de tablas

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1. Los municipios con plantas tratadoras y sus volúmenes. | 7 |
| Tabla 2. Desarrollo e innovaciones históricas del tratamiento de aguas residuales. | 10 |
| Tabla 3. Evolución en la cobertura de tratamiento, 2000 a 2012. | 13 |
| Tabla 4. Caudal de aguas residuales municipales tratadas por Entidad Federativa, 2012. | 14 |
| Tabla 5. Consumo doméstico en diferentes tipos de edificios. | 15 |
| Tabla 5.1 Consumos domésticos <i>per cápita</i> (“promedio por persona”). | 19 |

| | |
|---|----|
| Tabla 5.2 Consumo mínimo en comercios. | 19 |
| Tabla 5.3. Consumo para producción de algunos tipos de industria. | 20 |
| Tabla 6. Beneficios y riesgos en el uso de las aguas residuales. | 20 |
| Tabla 7. Riesgos de enfermedad por el uso de aguas residuales, según el grupo expuesto al agua. | 22 |
| Tabla 8. Oligoelementos en lodos activados. | 23 |
| Tabla 9. Temperatura y transferencia de oxígeno. | 29 |
| Tabla 10. Materia orgánica y tipos de descomposición. | 36 |
| Tabla 11. Parámetros normales de diseño para los procesos de lodos activados. | 38 |
| Tabla 11.1 Parámetros normales de diseño para los procesos de lodos activados. (Continuación) | 43 |
| Tabla 12. Frecuencia de muestreo. | 44 |
| Tabla 12.1: Límites máximos permisibles para contaminantes básicos. | 48 |
| Tabla 13. Concentraciones Máximas Permisibles. | 49 |
| | 50 |

Lista de gráficas

| | Página |
|---|--------|
| Gráfica 1. Caudal de aguas residuales municipales tratadas (m ³ /s). | 12 |
| Gráfica 2. Demanda bioquímica de oxígeno a la salida del proceso. | 62 |
| Gráfica 3. Demanda química de oxígeno a la salida del proceso. | 63 |
| Gráfica 4. Grasas y aceites a la salida del proceso. | 64 |
| Gráfica 5. Sólidos sedimentables totales a la salida del proceso. | 65 |
| Gráfica 6. Coliformes totales a la salida del proceso. | 65 |
| Gráfica 7. Fósforo a la salida del proceso. | 66 |
| Gráfica 8. Precipitaciones mensuales. | 67 |

Gráfico 9. Temperatura máxima y mínima promedio de Toluca de Lerdo en 2018. 67

Lista de Anexos

| | Página |
|--|--------|
| Anexo A. Tabla de acrónimos, unidades, siglas y abreviaturas utilizadas. | 82 |
| Anexo B. NOM-001-SEMARNAT-1996 | 84 |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ayers, R. S. y D. W. Westcot. (1987). *La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje* No. 29, Rev. 1.
2. Cisneros E. O.X., Zatarain M.F., González M.J. Pulido M.L y Díaz Magaña J.A. (2008). *Diagnóstico del uso de las aguas residuales en la agricultura en México*. Informe de Proyecto Interno RD-0802.1. IMTA-SEMARNAT. 157 P.
3. Corona, R.H (1991). *Manual de aguas*. México. Ed. Limusa.
4. Díaz, R.R. (2013). *Causas y soluciones del problema de olores en las plantas de tratamiento de aguas residuales*. (Tesis de pregrado). UNAM- Facultad de Ingeniería. Ciudad De México.
5. Fair, G. (2008). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. Tomo II, Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. México. Ed. Limusa.
6. Franco, L.R. (2015). *Propuesta de modificación de la planta de tratamiento de agua residual de una terminal de almacenamiento y reparto de PEMEX refinación para dar cumplimiento a la nom-003-semarnat-1997*. (Tesis de pregrado). UNAM-Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Ciudad de México.
7. Hernández, M. A (1992). *Depuración de aguas residuales*. Madrid España, Ed. Paraninfo. S. A.
8. Mara Duncan y Cairncross S. (1990). *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura: Medidas de protección a la salud pública*. OMS-PNUMA. Ginebra, Ch. 213 P.
9. Metcalf & Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización*. Ed. Mc. Graw-Hill: México.
10. MMayA (2013). Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. Editores: PROAGRO, PERIAGUA y el Proyecto "Apoyo en la mejora del reúso y tratamiento de aguas residuales y protección de cuerpos de agua con enfoque de adaptación al cambio climático" llevado a cabo por la Cooperación Triangular México- Bolivia-Alemania. Estado Plurinominal de Bolivia. 337 pp.
11. Moscoso O.y Romero A M. (2002). *Uso de las Aguas Residuales tratadas en Riego*. Caso de Estudio de Bolivia. En Reporte de Investigación No. 5. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. 36 pp.
12. Ramalho, R.S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. New York. Ed. Reverte.
13. Rigola, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Madrid, España Ed. Boixareu Editoriales.
14. Ronzano, E. Y Dapena, J.L. (2002). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Madrid, España: Grupo Iberdrola PRIDESA.
15. Sierra Plazas, Julia (2001). *Determinación experimental de la curva de la DBO y el valor de las constantes K y Lo en una muestra de agua contaminada del rio Bogotá*. <http://www.w3.org/1999/xhtml>>Ciencia e Ingeniería Neogranadina, </i>(11), undefined-undefined. [fecha de Consulta 12 de Noviembre de 2019]. ISSN: 0124-8170. Disponible en: <a xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" target="_blank" href="
16. Sugiura, Y. (2016). *La cuenca del Alto Lerma: ayer y hoy*. Estado de México: Secretaría de Educación-CEAPE.
17. Tebbutt, T.H.Y (2007). *Fundamentos de control de la calidad del agua. México*. Ed. Limusa.
18. Vázquez-Mejía, Guadalupe, & Ortega-Aguilar, Rosa Elena, & Esparza-Soto, Mario, & Fall, Cheikh (2013). *Fraccionamiento de DQO del agua residual de Toluca por el protocolo STOWA*. Tecnología y Ciencias del Agua, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3535/353531982002>>

Referencias de sitios web

19. (<https://www.who.int/es>) <https://www.who.int/es>, consultado el 18 de agosto de 2019. (11: 23 am)
20. (<https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/>) <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/>, consultado el 23 de mayo de 2019. (15:30 pm)
21. (<https://www.gob.mx/conagua>) <https://www.gob.mx/conagua>, consultado el 14 junio de 2019. (18:44 pm)

22. (http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/10_Contaminaci%C3%B3n_agua_v2015_resumen.pdf)http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/10_Contaminaci%C3%B3n_agua_v2015_resumen.pdf, consultado el 19 de junio de 2019. (14:12 pm)
23. (<https://www.inegi.org.mx/>)<https://www.inegi.org.mx/>, consultado el 24 de junio de 2019. (17:46 pm)
24. (<https://www.google.com.mx/maps>)<https://www.google.com.mx/maps>, consultado el 1 de julio de 2019. (09:30 am)
25. <http://desarrolloeconomico.edomex.gob.mx/pib>, consultado el 1 de julio de 2019. (17:10 am)
26. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>, consultado el 5 de julio de 2019. (18:19 pm)
27. <http://cuencalerma.edomex.gob.mx/sites/cuencalerma.edomex.gob.mx/files/files/Atlas%20PDF/Tomo%20VII%20Urbano.pdf>, consultado el 12 de julio de 2019. (14:46 pm)
28. <http://cuencalerma.edomex.gob.mx/atlas>, consultado el 25 de mayo de 2019. (16:29 pm)
29. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018825032008000100003&script=sci_arttext&tlng=p, consultado el 17 de julio de 2019. (10:14 am)
30. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20927/capitulo1.pdf>, consultado el 23 de agosto de 2019. (19:33 pm)
31. http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf, consultado el 22 de agosto de 2019. (09:45 am)
32. <https://agua.org.mx/actualidad/aguas-residuales-contaminacion-en-mexico/>, consultado el 3 de septiembre de 2019. (16:20 pm)
33. <https://www.who.int/search?query=Desarrollo+hist%C3%B3rico+del+tratamiento+de+las+aguas+residuales>, consultado el 10 de septiembre de 2019. (13:12 pm)
34. http://caem.edomex.gob.mx/acerca_de_la_caem, consultado el 29 de mayo de 2019. (20:41 pm)
35. <http://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/TramitesServicios/MejorasRegulatorias/48EspecifiGralesConstrucObrasAPyAlcantaCAEM.pdf>, consultado el 4 de septiembre de 2019. (21:50 pm)
36. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22664/Capitulo9.pdf>, consultado el 2 de septiembre de 2019. (10:18 am)
37. <https://agua.org.mx/agua-contaminacion-en-mexico/#aguas-residuales-y-contaminacion>, consultado el 21 de agosto de 2019. (18:42 pm)
38. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37783778>, consultado el 28 de agosto de 2019. (17:23 pm)
39. <https://weatherspark.com/>, consultado el 5 de septiembre de 2019. (19:12 pm)

ANEXO

Anexo A. Tabla de acrónimos, unidades, siglas y abreviaturas utilizadas

| Abreviatura | Significado |
|-------------|---|
| C.V | Capital variable |
| COT | Carbono orgánico total |
| DBO | La demanda bioquímica de oxígeno |
| DOT | Demanda total de oxígeno |
| DQO | La demanda química de oxígeno |
| DteO | La demanda teórica de oxígeno |
| EPCCA | Empresa para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental |
| E.U.A | Estados Unidos Americanos |
| FODA | Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas |
| MLSSV | Sólidos suspendidos volátiles en licor mezclado |
| NMX | Norma mexicana |
| PNH | Programa Nacional Hidráulico |
| PTAR | Planta de tratamiento de aguas residuales |
| RH | Región hidrológica |
| S.A | Sociedad anónima |
| S.S.T | Sólidos sedimentables totales |
| SBR | Reactor secuencial por tandas |
| SSV | Sólidos suspendidos volátiles |
| UIPPE | Unidad de Información, Planeación, Programación y Evaluación |
| Acrónimo | Significado |
| CEPIS | Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente |
| CONAGUA | Comisión Nacional del Agua |
| EDOMÉX | Gobierno del Estado de México (acrónimo se su página web) |

| | |
|-------------------|---|
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística y Geografía |
| PHIEM | Programa Hídrico Integral del Estado de México |
| SACMEX | Sistema de Aguas de la Ciudad de México |
| SEDECO | Secretaría de Desarrollo Económico |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| Siglas | Significado |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo |
| GEM | Gobierno del Estado de México |
| NOM | Norma Oficial Mexicana |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| SARH | Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos |
| Unidades | Significado |
| H.H | Huevos de Helmintos |
| H.H/L | Huevos de Helmintos por litro |
| HA | Hectárea |
| Km | Kilómetro |
| L/s | Litros por segundo |
| m ³ /d | Metro cúbico día |
| m ³ /s | Metro cúbico por segundo |
| Mm ³ | Millones de metros cúbicos |
| nmp | número más probable |
| pH | Potencial de hidrógeno |

Anexo C. NOM-001-SEMARNAT-1996

PROYECTO de Modificación de la 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 para quedar como proyecto de modificación de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CUAUHTÉMOC OCHOA FERNÁNDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis, fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o., fracciones V y XI; 36, fracciones I y II; 37, 37 TER, 117, fracciones I, IV y V, 118, fracciones I y II; 119 y 123 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 1, 2, 7, fracciones V y VII, 85, 86, fracciones I, III, IV y V; 88, 88 Bis, 92, fracciones II y IV; 113 y 119, fracciones I y II de la Ley de Aguas Nacionales; 38, fracción II, 40, fracción X 45, 46, fracción II, 47, fracción I y 51 primer párrafo de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 33 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 133, 134, 135 y 139 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, 8, fracciones III, IV y V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y:

CONSIDERANDO

Que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4 establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la Ley de la materia. Asimismo, establece que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

Que la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su artículo 117 establece como criterios: que la prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país, que las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo y que la participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua. Asimismo, en su artículo 118 fracciones I y II se establece que los criterios referidos serán considerados en la expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.

Que la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su artículo 123 establece que todas las descargas en las redes colectoras, ríos, acuíferos, cuencas, cauces, vasos,

aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

Que la Ley de Aguas Nacionales, prevé en su Artículo 85 que las personas físicas o morales, incluyendo las dependencias, organismos y entidades de los tres órdenes de gobierno, que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier uso o actividad, serán responsables de realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso, para reintegrar las aguas referidas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior y mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales. En consecuencia, establece en su Artículo 88 BIS fracción II que dichas personas deben tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando sea necesario para cumplir con lo dispuesto en el permiso de descarga correspondiente y en las normas oficiales mexicanas.

Que el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, en la Meta Nacional México Próspero, objetivo 4.4, señala como líneas de acción de estrategia 4.4.2 "Implementar un manejo sustentable del agua, haciendo posible que todos los mexicanos tengan acceso a ese recurso", el asegurar agua suficiente y de calidad adecuada para garantizar el consumo humano y la seguridad alimentaria; el sanear las aguas residuales con un enfoque integral de cuenca que incorpore a los ecosistemas costeros y marinos, así como el fortalecer el marco jurídico para el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Que el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018, reconoce que gran parte del territorio mexicano es vulnerable al estrés hídrico, situación que podría agravarse por el cambio climático,

y que dada la importancia de este recurso para las actividades humanas, así como para mantener la integridad de los ecosistemas (fuente de los bienes y servicios ambientales de los cuales dependemos), el manejo adecuado del agua es un tema capital para el país, señalando que el no emprender acciones para solucionar los problemas de disponibilidad y calidad del recurso hídrico, se traducirá en el corto y mediano plazo, en un freno para el desarrollo económico y el bienestar de la sociedad mexicana. Razón por la que se estableció el Objetivo 3 Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas, cuya estrategia 3.2, consiste en fortalecer el abastecimiento de agua y acceso a servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, así como para la agricultura y cuyas líneas de acción 3.2.6 y 3.2.7 son: revisar el marco jurídico para el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento y vigilar el cumplimiento de los términos de las condiciones particulares de descarga y la normatividad aplicable.

Que el Programa Nacional Hídrico 2014-2018, establece el Objetivo 1 Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, cuya estrategia 1.4 es mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos, entre otras acciones mediante la línea de acción 1.4.7 que refiere a la modificación a la normatividad sobre descargas de aguas residuales para contribuir a un marco de sustentabilidad de la calidad de dicho recurso.

Que con fecha 6 de enero de 1997, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana "NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales"., misma que

cambió de nomenclatura de conformidad con el "ACUERDO por el cual se reforma la nomenclatura de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como la ratificación de las mismas para su revisión quinquenal", que fue publicado el 23 de abril de 2003 en el Diario Oficial de la Federación, para quedar como "NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales".

Que la NOM-001-SEMARNAT-1996 estableció un cumplimiento gradual y progresivo conforme a los rangos de población para las descargas municipales y conforme a la carga contaminante expresada como demanda bioquímica de oxígeno⁵ (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST) para las descargas no municipales, cuyas fechas límite de cumplimiento vencieron para todos los casos el 1 de enero de 2010.

Que se requiere actualizar el listado de las Normas Mexicanas para el muestreo y análisis de los parámetros que se establecen como referencia para la aplicación de la presente norma, en virtud de que varias de las señaladas en la norma vigente han sido canceladas o modificadas.

Que se requiere modificar la clasificación de los cuerpos receptores y el enfoque de usos posteriores, señalados en las tablas 2 y 3 de la norma vigente para mejorar la gestión y la protección de los cuerpos de agua.

Que con base en los resultados de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RNMCA) se ha identificado la presencia de contaminantes en las descargas de agua residuales en cuerpos receptores del país, medidos a través de los parámetros de demanda química de oxígeno, toxicidad y color, entre otros, por lo que es necesario regular los mismos para controlar y reducir la contaminación en las aguas y bienes nacionales.

Que el volumen y la concentración de las cargas contaminantes en los cuerpos receptores han aumentado derivado del crecimiento poblacional y de las actividades económicas, por lo que hace necesaria la modificación de los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores para su conservación.

Que los humedales son un eslabón básico e insustituible del ciclo del agua y estratégicos para nuestro país por su riqueza biológica y los servicios ambientales que proveen. Son vulnerables a la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales, la cual causa pérdida de hábitat, erosión, sedimentación e introducción de especies exóticas. Los humedales son aguas superficiales o de poca profundidad y baja capacidad de dilución por lo que requieren condiciones particulares de descarga.

Que los ecosistemas cársticos tienen un elevado valor de uso por su contribución en el abastecimiento de agua, por sus formaciones naturales características que los hacen atractivos para la actividad turística proveyendo empleo e ingresos para la población local y por constituir un hábitat de flora y fauna endémicas. Sin embargo, la característica permeable y de rápida filtración de sus rocas hace que este ecosistema sea muy vulnerable a la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales y a la contaminación directa de los acuíferos.

Que para medir la carga orgánica contaminante en aguas con una concentración mayor a 1000 mg/L de

cloruros, se debe utilizar el parámetro de Carbón Orgánico Total en sustitución de la Demanda Química de Oxígeno, ya que permite obtener resultados más confiables y que caracterizan mejor a la descarga de aguas residuales.

Que a efecto de que los responsables de las descargas de aguas residuales estén en condiciones de determinar la frecuencia de muestreo y análisis, así como del informe de resultados, para estar en concordancia con la Tabla 1 del presente proyecto de modificación, en la que se incorporó el parámetro Carbón Orgánico Total aplicable en su análisis para aquellas descargas que presenten concentraciones mayores a 1000 mg/l de cloruros, es que se prevé este parámetro en la Tabla 4 como elemento para realizar dicha determinación.

Que a fin de facilitar el cálculo del valor promedio diario del parámetro grasas y aceites por cualquier persona, se conserva la manera correcta de determinar este valor, independientemente de que la fórmula matemática para realizar un promedio ponderado es universalmente conocida y aceptada, especificándose el procedimiento que debe realizarse para obtener el promedio ponderado en función del caudal y poder calcular el valor promedio diario.

Que a fin de dar mayor claridad y separar las especificaciones respecto a la metodología para el cálculo de promedio diario y mensual contenidas en el apartado de definiciones en la norma vigente, se reubican las mismas en el apartado de muestreo del presente proyecto de modificación. Asimismo, se incluye la especificación para el cálculo de promedio diario de los parámetros *Escherichia coli* y *Enterococos* fecales.

Que se requieren especificaciones para cumplir con lo establecido en el Art. 88 bis fracción IV de la Ley de Aguas Nacionales, respecto a los accesos para el muestreo necesarios para la determinación de las concentraciones de los parámetros previstos en los permisos de descarga, a fin de estar en posibilidades de tomar muestras significativas de la calidad del agua residual, salvaguardar la seguridad de las personas autorizadas para la toma de la muestra y vigilar el cumplimiento de la norma.

Que se requiere establecer un procedimiento para la evaluación de la conformidad de la presente norma cuando para fines oficiales se requiera comprobar el cumplimiento de la misma, de conformidad con el Artículo 73 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que el Anteproyecto de Modificación de la 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 para quedar como Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación" se sometió al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, quien en sesión celebrada el día 19 de diciembre de 2017 lo aprobó como proyecto de norma oficial mexicana y ordenó su publicación para consulta pública, de conformidad con el artículo 47, fracción I, de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, a efecto de que los interesados, dentro de los 60 días naturales siguientes a la fecha de su publicación en el Diario Oficial de la Federación, presenten comentarios ante el citado Comité, sito en Av. Ejército Nacional No. 223, Piso 16, Colonia Anáhuac, C.P. 11320, Del. Miguel Hidalgo, Ciudad de México, o al correo electrónico aguas.residuales@semarnat.gob.mx

Que durante el plazo de consulta pública, los documentos que sirvieron de base para la elaboración del citado Proyecto de Modificación de la Norma, así como la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estarán a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité antes señalado.

Por lo expuesto, he tenido a bien expedir para consulta pública el siguiente:

PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA 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 PARA QUEDAR COMO PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS RECEPTORES PROPIEDAD DE LA NACIÓN

PREFACIO

En la elaboración del presente proyecto de modificación participaron los siguientes organismos:

1. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

- Subdirección General de Administración del Agua
- Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento
- Subdirección General Jurídica
- Subdirección General Técnica
- Coordinación General de Recaudación y Fiscalización

2. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)

- Comisión de Evidencia y Manejo de Riesgos

3. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)

- Coordinación de tratamiento y calidad del agua

4. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

- Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de los Ecosistemas

5. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)

- Subprocuraduría de Auditoría Ambiental
- Subprocuraduría de Inspección Industrial
- Subprocuraduría Jurídica
- Dirección General de Asistencia Técnica Industrial
- Dirección General de Control de Procedimientos Administrativos y Consulta
- Dirección General de Impacto Ambiental y Zona Federal Marítimo Terrestre
- Dirección General de Inspección de Fuentes de Contaminación

6. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

ÍNDICE

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN
 2. REFERENCIAS NORMATIVAS
 3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES
 4. ESPECIFICACIONES
 5. MÉTODOS DE PRUEBA
 6. MUESTREO
 7. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD
 8. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES
 9. BIBLIOGRAFÍA
 10. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA
- TRANSITORIOS
- APÉNDICE NORMATIVO: PUERTOS DE MUESTREO

1. Objetivo y campo de aplicación

La Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales.

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

La Norma no aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes destinados exclusivamente para

aguas pluviales ni a las descargas que se vierten directamente a sistemas de drenaje y alcantarillado municipales.

2. Referencias normativas

2.1. Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Aguas residuales-Muestreo (cancela a la NMX-AA-003-1975). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

2.2. Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013, Análisis de agua-Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de abril de 2014.

2.3. Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013, Análisis de agua-Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-007-SCFI-2000). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de enero de 2014.

2.4. Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011, Análisis de agua-Determinación del pH-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2000). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de octubre de 2011.

2.5. Norma Mexicana NMX-AA-017-1980, Aguas-Determinación de color (cancela a la NMX-AA-017-1975). Declaratoria de vigencia publicada en Diario Oficial de la Federación el 11 de julio de 1980.

2.6. Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010, Análisis de agua-Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-026-SCFI-2001). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 2011.

2.7. Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001, Análisis de aguas-Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-029-1981). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2001.

2.8. Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012, Análisis de Agua-Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.-Método de prueba-parte 1-Método de reflujo abierto (cancela a la NMX-AA-030-SCFI-2001). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de mayo del 2013.

2.9. Norma Mexicana 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. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de junio de 2013.

2.10. Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015, Análisis de agua-Medición de sólidos y sales disueltas en agua naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-034-SCFI-2001). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de abril de 2016.

2.11. Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015, Análisis de agua-Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *escherichia coli*-Método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la NMX-AA-42-1987). Declaratoria de vigencia publicada en Diario Oficial de la Federación el 18 de abril de 2016.

2.12. Norma Mexicana 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 (cancela a la NMX-AA-051-1981). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2001.

2.13. Norma Mexicana NMX-AA-058-SCFI-2001, Análisis de aguas-Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-058-1982). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2001.

2.14. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001, Análisis de aguas-Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-

AA-079-1986). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación del 13 de agosto de 2001.

2.15. Norma Mexicana NMX-AA-087-SCFI-2010, Análisis de agua-Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, Straus (Crustácea-Cladocera)-Método de Prueba (cancela a la NMX-AA-087-SCFI-1995). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 2011.

2.16. Norma Mexicana NMX-AA-102-SCFI-2006, Calidad del agua- Detección y enumeración de organismos Coliformes, Organismos Coliformes Termotolerantes y *Escherichia Coli* presuntiva-Método de Filtración en Membrana (cancela a la NMX-AA-102-1987). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de agosto del 2006.

2.17. Norma Mexicana NMX-AA-110-1995-SCFI, Análisis de agua-Evaluación de toxicidad aguda con *Artemia franciscana* Kellogg (Crustácea-Anostraca)-Método de Prueba. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de abril de 1996.

2.18. Norma Mexicana NMX-AA-112-1995-SCFI, Análisis del agua y sedimentos-Evaluación de toxicidad aguda con *Photobacterium phosphoreum*.-Método de prueba. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de abril de 1996.

2.19. Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI-2012, Análisis de agua- Medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-113-SCFI-1999). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de abril de 2013.

2.20. Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006, Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. Apéndice normativo II, Método de prueba *Enterococos fecales*. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 2006.

2.21. Norma Mexicana NMX-AA-154-SCFI-2011, Análisis de Agua-Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas-Método de prueba. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de octubre de 2011.

3. Términos y definiciones

Para los efectos de esta Norma se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, la Ley Federal de Derechos y la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, así como las siguientes:

3.1. Acta Circunstanciada:

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

3.2. Aguas pluviales: Aquellas que provienen de lluvias, nieve y/o granizo.

3.3. Cianuros: Suma de las concentraciones de todas las formas químicas simples y complejas que contengan el ion cianuro.

3.4. Comisión: Comisión Nacional del Agua.

3.5. Concentración Efectiva Media (CE50): Concentración en la que una sustancia química genera efectos adversos no letales en el 50% de los organismos expuestos.

3.6. Contaminantes básicos: En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes: grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, carbón orgánico total, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, color verdadero, toxicidad aguda, temperatura y pH.

3.7. Contaminantes patógenos y parasitarios: Son aquellos 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 *Escherichia coli*, *Enterococos fecales* y los huevos de helmintos.

3.8. Coordenadas geográficas: Sistema de referencia que permite localizar un punto en la superficie de la tierra que emplea la Latitud (Lat) y Longitud (Long), que para este caso se expresarán en Grados (°), minutos (′) y segundos (″), utilizando el sistema de referencia que determine para tal efecto el Instituto Nacional de Estadística y Geografía o entidad que lo sustituya y que se adquieren con un aparato de Geoposicionamiento global (GPS).

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

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

3.11. Embalse: Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos, o por agua subterránea o pluvial.

3.12. Emergencia hidroecológica: Es un evento súbito e inesperado de evolución rápida que altera la calidad de un cuerpo de agua nacional y que pone en peligro la salud o la vida en el ecosistema acuático.

3.13. Entidad de acreditación: Persona moral autorizada en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para reconocer la competencia técnica y confiabilidad de los organismos de certificación, de los laboratorios de prueba, de los laboratorios de calibración y de las unidades de verificación para evaluar la conformidad.

3.14. Estuario: Es el tramo del curso o corriente de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es igual o mayor a 250 mg/l.

3.15. Fósforo Total: Suma de las concentraciones de fosfatos, ortofosfatos, polifosfatos, fósforo inorgánico y fosfatos orgánicos.

3.16. Grasas y Aceites: Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como solvente.

3.17. Infiltración: Acción de introducir aguas residuales tratadas a través del suelo, siempre y cuando su fin no sea la recarga del acuífero de manera directa.

3.18. Informe de resultados de muestreo y análisis: Aquél que realiza un laboratorio en sistema electrónico que para tal efecto determine la Comisión, en el cual informará el resultado de los análisis realizados en las descargas de aguas residuales.

3.19. Interesado: Persona física o moral legalmente establecida quien solicita voluntariamente la evaluación de la conformidad de su descarga de aguas residuales con respecto a la presente Norma.

3.20. Laboratorio: Laboratorio de ensayo o prueba acreditado por una entidad de acreditación y aprobado por la Comisión para la realización de muestreos y análisis a que se refiere esta Norma.

3.21. Lago y laguna: Vaso de formación natural o cualquier otro tipo de embalse natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial. En este concepto no se incluye a las lagunas que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

3.22. Ley: Ley de Aguas Nacionales (LAN).

3.23. Límite permisible: Valor o intervalo de valores asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

3.24. Metales pesados: Es la suma de las concentraciones de los metales en solución o disueltos y en suspensión. Para fines de esta norma se consideran los siguientes: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc.

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

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

3.27. Muestreo: Es el procedimiento mediante el cual un signatario autorizado colecta un volumen de agua residual descargado por el responsable de la descarga a un cuerpo receptor propiedad de la Nación necesario para poder realizar los análisis ya sea en campo o en laboratorio según corresponda a los parámetros contenidos en esta Norma Oficial Mexicana.

3.28. Nitrógeno Total: Suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, nitritos y nitratos.

3.29. Parámetro: Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y/o biológica del agua.

3.30. pH: Concentración de iones Hidrógeno expresada como logaritmo negativo que representa la acidez o alcalinidad del agua.

3.31. Procuraduría: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

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

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

3.34. Riego de Áreas Verdes: Es la utilización del agua residual destinada a la superficie de terrenos de esparcimiento o circulación peatonal, conformada por pastos, arbustos y otros elementos complementarios, exceptuando aquellos supuestos considerados en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

3.35. Secretaría: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

3.36. Signatario Autorizado: Es la persona autorizada por una Entidad de Acreditación, para realizar el muestreo, firmar y aprobar los informes de ensayo, emitido por el laboratorio.

3.37. Sólidos Suspendidos Totales: 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.

3.38. Suelo: Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales por riego o infiltración.

3.39. Suelo cárstico: Aquel de formación caliza, caracterizado por rocas carbonatadas y sulfatadas (calizas, dolomitas y yesos) con oquedades o conductos de disolución producidos por el agua subterránea al circular a través de ella.

3.40. Toxicidad: Potencial inherente o capacidad de una sustancia para causar efectos adversos en organismos vivos.

3.41. Toxicidad aguda: Es el efecto adverso que se manifiesta en los organismos de prueba, luego de exponerlos a las muestras problema por una sola vez durante un periodo de tiempo.

3.42. Trimestre: Es el periodo comprendido por tres meses calendario en el orden siguiente:

| Trimestre | Periodo |
|-----------|--------------------------------|
| Primero | Enero, febrero y marzo |
| Segundo | Abril, mayo y junio |
| Tercero | Julio, agosto y septiembre |
| Cuarto | Octubre, noviembre y diciembre |

3.43. Unidad de Toxicidad (UT):

Forma de expresar el grado de toxicidad de una muestra de la cual no se conoce la concentración de las sustancias que contiene. Es aplicable a descargas y mezclas de agua residual complejas. Se calcula: $UT = 100 / CE50$. En donde 100 es la concentración inicial de la muestra referida en porcentaje.

3.44. Unidades de Verificación:

La persona física o moral que realiza actos de verificación, acreditada ante una entidad de acreditación y aprobada por la Comisión.

3.45. Valor Instantáneo (V.I.):

Es el resultado obtenido del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual colectada en la descarga, con motivo de una verificación realizada por la Comisión o la Procuraduría.

3.46. Visita de verificación:

La que se efectúe con el objeto de comprobar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana por la Procuraduría, la Comisión, o una Unidad de Verificación.

3.47. Zonas marinas mexicanas:

Son las aguas de los mares territoriales, las aguas marinas interiores, la zona contigua, la zona económica exclusiva, en la extensión y términos que fija la Ley Federal del Mar; así como las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

4. Especificaciones

4.1. La concentración de contaminantes básicos, así como de contaminantes patógenos y parasitarios, toxicidad aguda y color verdadero, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, no debe exceder el valor indicado como límite permisible de acuerdo al tipo de cuerpo receptor en las Tablas 1 y 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

En caso de que existan condiciones particulares de descarga emitidas conforme a una Declaratoria de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales publicada en el Diario Oficial de la Federación o cuyos límites permisibles sean más estrictos o con parámetros adicionales en comparación con los previstos en esta Norma Oficial Mexicana, los parámetros y límites permisibles que se deberán cumplir serán los que establezcan las citadas condiciones particulares de descarga.

Los responsables de la descarga deberán comprobar de manera ordinaria en términos de lo dispuesto en el numeral 6.2, el cumplimiento de los límites permisibles establecidos para Promedio Diario y Promedio Mensual en las Tablas 1 y 2 según corresponda al tipo de cuerpo receptor. El valor instantáneo será verificado y sea por la Comisión o la Procuraduría.

TABLA 1
Límites Permisibles

| Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | Ríos, arroyos, canales, drenes | | | Embalses, lagos y lagunas | | | Zonas marinas mexicanas y estuarios | | | Suelo | | | | | |
|---|--------------------------------------|----------|----------|------------------------------|----------|----------|---|----------|----------|--------------------------|----------|----------|--------------------------------|----------|----------|
| | | | | | | | | | | Riego de áreas verdes | | | Infiltración y otros riegos | | |
| | P.M | P.D. | V.I. | P.M | P.D. | V.I. | P.M | P.D. | V.I. | P.M | P.D. | V.I. | P.M | P.D. | V.I. |
| Temperatura (°C) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 40 | 40 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Grasas y Aceites | 15 | 18 | 21 | 15 | 18 | 21 | 15 | 18 | 21 | 15 | 18 | 21 | 15 | 18 | 21 |
| | | | | | | | | | | 30 | 36 | 42 | 100 | 120 | 140 |
| | | | | 100 | 120 | 140 | 85 | 100 | 120 | 60 | 72 | 84 | 150 | 180 | 210 |
| | | | | 25 | 30 | 35 | 21 | 25 | 30 | 15 | 18 | 21 | 38 | 45 | 53 |
| | | | | | | | | | | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| | | | | | | | 15 | 18 | 21 | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Huevos de Helminthos (huevos/litro) | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | | | | | |
| <i>Escherichia coli</i> , (NMP/100 ml) | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 |
| <i>Enterococos faecales*</i> (NMP/100 ml) | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 | 100 0 | 120 0 | 140 0 |
| pH (UpH) | 6.5 - 8.5 | | | | | | | | | | | | | | |
| Color verdadero | Pureza del 15% | | | | | | | | | | | | | | |
| Toxicidad aguda (UT) | Menor o igual a 5 | | | | | | | | | | | | | | |

N.A: No Aplica
 P.M: Promedio Mensual
 P.D: Promedio Diario
 V.I: Valor Instantáneo
 NMP: Número más probable
 UpH: Unidades de pH
 UT: Unidades de Toxicidad
 * Carbón Orgánico Total y *Enterococos fecales* sólo se analizarán en lugar de Demanda Química de Oxígeno y *Escherichia coli* para aquellas descargas de aguas residuales que presenten concentraciones mayores a 1000 mg/l de cloruros.

TABLA 2
Límites Permisibles para Metales Pesados y Cianuros

| Parámetros (miligramos por litro) | Ríos, arroyos, canales, drenes | | | Embalses, lagos y lagunas | | | Zonas marinas mexicanas y estuarios | | | Suelo | | | | | |
|---|--|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | Riego de áreas verdes | | | Infiltración y otros riegos | | |
| | P. M. | P.D . | V.I . | P. M. | P.D . | V.I . | P. M. | P.D . | V.I . | P. M. | P.D . | V.I . | P. M. | P.D . | V.I . |
| | | | | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.1 | 0.15 | 0.2 |
| | | | 0.4 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.05 | 0.075 | 0.1 | 0.1 | 0.15 | 0.2 |
| | | | 3 | 1 | 1.5 | 2 | 2 | 2.5 | 3 | 2 | 2.5 | 3 | 1 | 1.5 | 2 |
| | | | 6 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 |
| | | | 1.5 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1 | 1.25 | 1.5 | 0.5 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.75 | 1 |
| | | | 0.02 | 0.005 | 0.008 | 0.01 | 0.01 | 0.015 | 0.02 | 0.005 | 0.008 | 0.01 | 0.005 | 0.008 | 0.01 |
| | | | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 |
| | | | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.75 | 1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| | | | 20 | 10 | 15 | 20 | 10 | 15 | 20 | 10 | 15 | 20 | 10 | 15 | 20 |
| Parámetros medidos de manera total | P.M: Promedio Mensual P.D: Promedio Diario V.I: Valor Instantáneo | | | | | | | | | | | | | | |

4.2. El responsable de las descargas de aguas residuales en humedales y suelos cársticos debe cumplir con las condiciones particulares de descarga que establezca la Comisión en términos del numeral 4.1.

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

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

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

5. Métodos de prueba

5.1. Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar las normas mexicanas según corresponda, indicadas en el capítulo 2.

5.2. Para determinar la toxicidad aguda de las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores, los análisis deberán efectuarse mediante muestras simples. La evaluación se realizará a través de

las siguientes especies: *Daphnia magna* y *Vibrio fischeri* (*Photobacterium phosphoreum*), para aguas residuales en general y se utilizarán las especies *Vibrio fischeri* (*Photobacterium phosphoreum*) y *Artemia sp.* para descargas de elevada conductividad (mayor de 1550 mS/m, 15500 µmhos/cm). El límite permisible es menor o igual a 5 Unidades de Toxicidad (UT). Las Unidades de Toxicidad (UT), se determinan por la fórmula:

$$1 \text{ UT} = 100/\text{CE50}$$

Donde:

CE50 es la concentración que inhibe un proceso vital en el 50% de la población expuesta de organismos de prueba.

5.3. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Secretaría, la aprobación de métodos de prueba alternos conforme a lo establecido en el artículo 49 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 36, 37 y 38 de su Reglamento.

6. Muestreo

6.1. El responsable de la descarga realizará el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y el mensual, con la periodicidad establecida en el numeral 6.2 a través de un laboratorio.

6.2. La periodicidad de los muestreos, análisis e informe de resultados se indican en la Tabla 3 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 4 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión podrá modificar la periodicidad de muestreo, análisis e informe de resultados.

TABLA 3
Descargas municipales

| Rango de población | Frecuencia de muestreo y análisis | Frecuencia de Informe de resultados de muestreo y análisis |
|-------------------------------|--|---|
| Mayor de 50, 000 habitantes | MENSUAL | TRIMESTRAL |
| de 10 001 a 50 000 habitantes | TRIMESTRAL | TRIMESTRAL |
| de 2 501 a 10 000 habitantes | SEMESTRAL | TRIMESTRAL |

TABLA 4
Descargas no municipales

| Demanda Química de Oxígeno (toneladas/día) | Carbón Orgánico Total* (toneladas/día) | Sólidos Suspendidos Totales (toneladas/día) | Frecuencia de muestreo y análisis | Frecuencia de Informe de resultados de muestreo y análisis |
|---|---|--|--|---|
| Mayor a 3.0 | Mayor a 0.75 | Mayor a 3.0 | MENSUAL | TRIMESTRAL |
| De 1.2 a 3.0 | De 0.3 a 0.75 | De 1.2 a 3.0 | TRIMESTRAL | TRIMESTRAL |
| Menor a 1.2 | Menor a 0.3 | Menor a 1.2 | SEMESTRAL | TRIMESTRAL |

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

Todo informe de resultados de muestreo y análisis deberá registrarse y firmarse en el sistema electrónico que para tal efecto la Comisión pondrá a disposición de los laboratorios, mismo que deberá firmarse a más tardar el décimo día hábil posterior a que haya concluido el trimestre en cuestión. Para el caso de la frecuencia de muestreo e informe de resultados con carácter semestral, el registro y firma a que se refiere este párrafo será en el trimestre en que se haya realizado el muestreo.

El laboratorio deberá coleccionar las muestras simples en el número e intervalo que refiere la Tabla 5 las cuales conformarán una muestra compuesta, debiendo al menos existir dos muestras compuestas Promedio Diario durante el mes calendario para poder determinar el Promedio Mensual.

TABLA 5
Número e intervalo de muestras simples

| Horas por día que opera el proceso generador de la descarga | Número de muestras simples | Intervalo entre colecta de muestras simples (horas) | |
|---|----------------------------|---|--------|
| | | Mínimo | Máximo |
| Menor que 4 | 2 | N. E. | N. E. |
| De 4 y hasta 8 | 4 | 1 | 2 |
| Mayor que 8 y hasta 12 | 4 | 2 | 3 |
| Mayor que 12 y hasta 18 | 6 | 2 | 3 |
| Mayor que 18 y hasta 24 | 6 | 3 | 4 |

N. E. = No especificado

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

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su colecta.

6.3. La muestra simple será la que colecciona un laboratorio en el punto de descarga, en día normal de operación del proceso generador de la descarga, que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que la generan, durante el tiempo necesario y continuo para completar cuando menos un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio en el momento del muestreo.

A efecto de comprobar lo anterior, el laboratorio que colecciona las muestras solicitará al responsable de la descarga el permiso emitido por la Comisión, lo cual se asentará en el informe de resultados de muestreo y análisis, con una descripción de las condiciones o circunstancias de operación al momento de la colecta de las muestras, y la manifestación bajo protesta de decir verdad del responsable de la descarga, del régimen normal de operación del proceso generador. En caso de que la información obtenida evidencie inconsistencias con el caudal observado o condiciones manifestadas, esto se asentará por escrito en el informe de resultados de muestreo y análisis que emita el laboratorio.

La Comisión, la Procuraduría o la Unidad de Verificación, podrán recabar los documentos o la evidencia necesaria que acrediten que efectivamente las muestras simples se realizaron en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga.

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC * (Qi/Qt)$$

Donde:

VMSi = volumen de cada una de las muestras simples "i", en litros.

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

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

Qt = Qi hasta Qn, es decir, la suma de los caudales que corresponden a la colecta de cada muestra simple, en litros por segundo.

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

6.4. Asimismo, el laboratorio deberá tomar las coordenadas geográficas con el Datum cuyas especificaciones se encontrarán en el sistema electrónico a que se refiere el numeral 6.2 y deberán incorporarse en el informe de resultados de muestreo y análisis para su correcta identificación, así como cerciorarse y reportar sí el cuerpo receptor donde efectivamente se descarga el agua residual por el responsable es el autorizado en el permiso de descarga expedido por la Comisión.

6.5. En el caso del parámetro de pH se debe reportar el valor tomado en campo durante la colecta de cada muestra simple.

6.6. En el caso de los parámetros de toxicidad aguda y color verdadero, se deben reportar los valores obtenidos de cada muestra simple.

6.7. En el caso del parámetro temperatura el valor Promedio Diario será el resultado del promedio aritmético de los valores tomados en campo en la colecta de cada una de las muestras simples.

6.8. En el caso del parámetro grasas y aceites el valor Promedio Diario será el resultado del promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples colectadas para conformar la muestra compuesta.

Para determinar el promedio ponderado en función del caudal se deberán obtener las participaciones porcentuales " w_i " del caudal de cada muestra simple " Q_i " respecto de la sumatoria de los caudales de todas las muestras simples, lo cual se expresa de la siguiente forma:

$$w_i = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

Donde

w_i = Ponderador o participación porcentual del caudal de la muestra simple " i "

Q_i = Caudal medido en la descarga en el momento de colectar la muestra simple, en litros por segundo

Una vez obtenido el ponderador del caudal de la muestra simple " i " se deberá multiplicar por el resultado del parámetro grasas y aceites de cada muestra simple que corresponda, para posteriormente sumar todos los productos obtenidos, de acuerdo a lo siguiente:

$$PP = \sum_{i=1}^n w_i \times R_i^x$$

Donde

PP = Promedio ponderado en función del caudal del parámetro " x " expresado en miligramos por litro

w_i = Ponderador o participación porcentual del caudal de la muestra simple " i "

R_i^x = Resultado del parámetro " x " expresado en miligramos por litro

6.9. Para el caso de los parámetros *Escherichia coli* y *Enterococos fecales*, el valor Promedio Diario será el resultado de la media geométrica de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples colectadas para conformar la muestra compuesta.

La media geométrica de los parámetros *Escherichia coli* y *Enterococos fecales* se calcula con la raíz " n " del producto de los " n " resultados del parámetro que corresponda obtenidos en cada muestra simple " i ", lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}$$

Donde

\bar{x} = Media geométrica, como número más probable (NMP) por cada cien mililitros.

x_i = Resultado obtenido en el parámetro que corresponda en cada muestra simple " i ", como número más probable (NMP) por cada cien mililitros.

6.10. El valor Promedio Diario de los parámetros previstos en las Tablas 1 y 2 diferentes a los señalados en los numerales del 6.5 al 6.9 será el resultado del análisis de la muestra compuesta.

6.11. El valor Promedio Mensual de los parámetros contenidos en las Tablas 1 y 2, será el resultado del promedio ponderado en función del caudal de los valores en Promedio Diario que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas colectadas en el mismo mes calendario.

Para determinar el promedio ponderado en función del caudal se deberán obtener las participaciones porcentuales " w_c " del caudal de cada muestra compuesta Promedio Diario " Q_c " respecto de la sumatoria de los caudales de todas las muestras compuestas, lo cual se expresa de la siguiente forma:

$$w_c = \frac{Q_c}{\sum_{c=1}^n Q_c}$$

Donde

w_c = Ponderador o participación porcentual del caudal de la muestra compuesta "c"

Q_c = Caudal promedio aritmético de los caudales medidos en la descarga en el momento de coleccionar cada una de las muestras simples, en litros por segundo

Una vez obtenido el ponderador del caudal de la muestra compuesta "c" se deberá multiplicar por el resultado en Promedio Diario del parámetro que corresponda a la misma muestra compuesta, para posteriormente sumar todos los productos obtenidos, de acuerdo a lo siguiente:

$$PP = \sum_{c=1}^n w_c \times PD_c^x$$

Donde

PP = Promedio ponderado en función del caudal del parámetro "x" expresado en la unidad de medida que le corresponda

w_c = Ponderador o participación porcentual del caudal de la muestra compuesta "c"

PD_c^x = Resultado en Promedio Diario del parámetro "x" expresado en la unidad de medida que le corresponda

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

6.13. Los responsables de la descarga de aguas residuales a cualquier cuerpo receptor deberán prever en el sitio autorizado en el permiso de descarga emitido por la Comisión, la existencia de infraestructura fija, segura y adecuada para que pueda realizarse la colecta de muestras, conforme a lo establecido en el Apéndice Normativo.

7. Procedimiento para la evaluación de la conformidad

7.1. La Comisión, la Procuraduría o las Unidades de Verificación podrán evaluar la conformidad de la presente norma a petición de parte, para fines particulares u oficiales en los términos establecidos por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

7.2. La Secretaría por conducto de la Comisión aprobará los Laboratorios y las Unidades de Verificación, en los términos establecidos en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Los Laboratorios realizarán el muestreo y el análisis de las muestras que se requieran para la evaluación de la conformidad de la presente norma.

7.3. La Comisión mantendrá actualizado en su página electrónica el listado de las Unidades de Verificación y los Laboratorios.

7.4. En caso de que la evaluación de la conformidad se realice a través de una Unidad de Verificación, ésta notificará a la Comisión el inicio de los trabajos, se coordinará con el Laboratorio seleccionado por el interesado, y deberá constatar e informar a la Comisión la siguiente información:

7.4.1 Nombre, denominación o razón social del titular del permiso de descarga y registro federal de contribuyentes (RFC).

7.4.2 En su caso, datos generales de contacto del representante legal (domicilio, teléfonos y correo electrónico).

7.4.3 En el caso de personas morales, acta constitutiva o poder notarial que acredite la personalidad jurídica del representante legal en original y copia.

7.4.4 En el caso de personas físicas, anexar original y copia de identificación oficial con fotografía.

7.4.5 En caso de que el responsable de la descarga realice la solicitud a través de un representante legal, éste debe anexar original y copia tanto de su identificación oficial, así como de la carta poder del responsable de la descarga.

7.4.6 Permiso de Descarga, en original o copia.

7.4.7 Las coordenadas geográficas del punto donde efectivamente se efectúa(n) la(s) descarga(s), en términos del numeral 6.4. Los originales mencionados en este apartado son para cotejar las copias y serán devueltos de inmediato al interesado.

7.5. Los gastos que se originen por los servicios de evaluación de la conformidad, serán a cargo del interesado conforme a lo establecido en el Artículo 91 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

7.6. El proceso de evaluación se realizará mediante una visita de verificación durante la cual se levantará un acta circunstanciada que deberá ser firmada por quienes en ella intervinieron. La negativa del interesado a firmar el acta circunstanciada no afectará su validez.

7.7. El Laboratorio que realice el muestreo emitirá un informe de resultados de muestreo y análisis y al término de la verificación, quien realice la Evaluación de la conformidad emitirá y firmará el Dictamen de Conformidad que integrará todos los datos recabados durante las acciones de verificación y los resultados del análisis de Laboratorio.

7.8. Para emitir el dictamen de conformidad se debe:

7.8.1 Solicitar al Laboratorio que realice los análisis para determinar la calidad del agua conforme a los parámetros de las Tablas 1 y 2 con las normas mexicanas y los métodos de prueba, según corresponda, listados en los capítulos 2 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana para cada una de las muestras. En caso de utilizar algún método de prueba alternativo, se deberá mostrar la autorización que la Comisión emitió para autorizar su uso.

7.8.2 Comparar los resultados con los límites permisibles en sus valores instantáneos o promedio diario o promedio mensual establecidos en las Tablas 1 y 2, según corresponda, a fin de

evaluar el cumplimiento del numeral 4.1. de esta Norma Oficial Mexicana. En ningún día se podrá exceder los límites permisibles promedio diario que se establecen en las Tablas 1 y 2, y para el caso de verificaciones instruidas por la Comisión tampoco podrá exceder los límites permisibles en valor instantáneo.

7.8.3 Constatar si el interesado cuenta con Condiciones Particulares de Descarga a que se refiere el numeral 4.1 y en su caso, deberá asentarse en el acta circunstanciada y se procederá a realizar la verificación conforme a dichas condiciones establecidas para la descarga.

7.8.4 Verificar si existe la autorización expresa de estar exento de realizar los análisis de algún parámetro conforme al numeral 4.3, de lo contrario el verificador analizará todos los parámetros de esta Norma Oficial Mexicana para determinar su cumplimiento.

7.8.5 Comprobar si el interesado demostró a la Comisión la existencia de alguna concentración promedio mensual para cualquiera de los parámetros referidos en esta Norma Oficial Mexicana en el agua clara de abastecimiento numeral 4.4, en cuyo caso se analizará en promedio mensual en cada punto de abastecimiento.

7.8.6 Revisar que los informes de resultados de muestreo y análisis en los últimos 5 años se hayan elaborado por un Laboratorio y registrados en la Comisión con la periodicidad correspondiente, Tablas 3 y 4.

7.8.7 Registrar y emitir el Dictamen de Conformidad en un plazo máximo de 10 días hábiles en el sistema electrónico que para tal fin la Comisión ponga a disposición en su página de internet, una vez realizada la visita de verificación, recibido el informe de laboratorio y verificados los puntos anteriores.

7.8.8 Emitir un dictamen de conformidad favorable cuando se cumpla con las especificaciones establecidas en esta Norma Oficial Mexicana.

7.9. En el caso de que el dictamen de conformidad resulte no favorable, se procederá conforme a las disposiciones jurídicas vigentes.

7.10. El dictamen de conformidad no exime al responsable de efectuar el muestreo y análisis que se estipula en las Tablas 3 y 4 de esta Norma Oficial Mexicana.

7.11. El dictamen de conformidad favorable expedido por una Unidad de Verificación será reconocido por las autoridades competentes.

7.12. El cumplimiento de lo establecido en el capítulo 7 de esta Norma, no sustituye a las visitas de inspección y vigilancia que la autoridad puede realizar en el ejercicio de las atribuciones que le confiere la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales, la Ley Federal de Derechos, y demás ordenamientos jurídicos.

7.13. La Comisión, es la autoridad competente para resolver controversias en la interpretación de este procedimiento de evaluación de la conformidad.

8. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana no es equivalente (NEQ) con ninguna Norma Internacional, por no existir esta última al momento de su elaboración.

9. Bibliografía

9.1. Central Pollution Control Board (n.d.). "Environmental Standards. 32.0 General Standards for Discharge of Environmental Pollutants" (India) (Junta de Control Central de Contaminación, "Estándares de Contaminación. 32.0 Estándares Generales para la descarga de contaminantes del Medio Ambiente", India).

9.2. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de diciembre de 2013.

9.3. D.S. No. 609/98 del Ministerio de Obras Públicas: Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado. D.S. No. 46/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (Chile).

9.4. D.S. No. 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (Chile).

9.5. DECRETO 253/79. Normas para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas (Uruguay).

9.6. DECRETO SUPREMO No. 003-2002-PRODUCE. Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel (Perú).

9.7. Disposición 79179/90: Vertidos industriales y especiales acogidos al régimen de Obras Sanitarias de la Nación (O.S.N.). Norma para los vertidos de establecimientos industriales o especiales alcanzados por el Decreto 674/89, que contengan sustancias peligrosas de naturaleza ecotóxica (Argentina).

9.8. Environmental Guidelines. 318-6. Management of Wastewater Treatment Systems (Canada) (Directrices Ambientales. 318-6. Manejo de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (Canadá)).

9.9. Manual de procedimientos. Evaluación y acreditación de laboratorios de calibración y/o ensayo (pruebas) con base en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 /ISO/IEC 17025:2005. Documento MP-FP002-22 de fecha 18 de diciembre de 2015.

9.10. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Ecuador).

9.11. 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. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998.

9.12. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 2013.

9.13. Procedimiento simplificado de atención de emergencias hidroecológicas, Comisión Nacional del Agua. Noviembre de 2015.

9.14. Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de diciembre de 2013.

9.15. Programa Nacional Hídrico 2013-2018, Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 8 de abril de 2014.

9.16. Protección y Conservación de Suelos Forestales. Manual de Obras y Prácticas. CONAFOR-SEMARNAT, Tercera Edición, Primera Reimpresión, México, 2007.

10. Observancia de esta norma

10.1. La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría, por conducto de la Comisión y la Procuraduría, en el ámbito de sus respectivas competencias.

10.2. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y sus respectivos Reglamentos en la materia, así como demás ordenamientos jurídicos aplicables.

TRANSITORIOS

PRIMERO. La norma oficial mexicana entrará en vigor a los 60 días naturales, posteriores a su publicación en el Diario Oficial de la Federación, con excepción de lo previsto en el Segundo, Tercero, Cuarto y Sexto Transitorios.

SEGUNDO. Los parámetros y límites permisibles previstos en las tablas 1 y 2, así como el Apéndice Normativo entrarán en vigor al inicio del trimestre inmediato al siguiente año de la fecha de su publicación.

TERCERO. Los parámetros y límites permisibles de color verdadero y toxicidad aguda previstos en la Tabla 1, entrarán en vigor al inicio del trimestre inmediato del cuarto año de la fecha de su publicación.

CUARTO. Hasta en tanto entren en vigor los parámetros y límites permisibles a que se refiere el artículo Segundo Transitorio, las descargas de aguas residuales seguirán sujetándose a los numerales 4.1, 4.2, 4.3, Tablas 2 y 3 establecidos en la 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, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 06 de enero de 1997 y su aclaración publicada en el mismo medio de difusión oficial del 30 de abril de 1997.

QUINTO. Esta Norma Oficial Mexicana cancela a la 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, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 06 de enero de 1997, a partir de su entrada en vigor con excepción de lo previsto en el Cuarto Transitorio de esta norma.

SEXTO. A efecto de dar cumplimiento al artículo cuarto del Acuerdo que fija los lineamientos que deberán ser observados por las dependencias y organismos descentralizados de la Administración Pública Federal, en cuanto a la emisión de los actos administrativos de carácter general a los que les resulte aplicable el artículo 69-H de la Ley Federal de Procedimientos Administrativos, publicado el 8 de marzo del 2017, se simplifican las dos obligaciones regulatorias especificadas en la Manifestación de Impacto Regulatorio correspondiente.

Ciudad de México, a los diecinueve días del mes de diciembre de dos mil diecisiete.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Cuauhtémoc**

Ochoa Fernández.- Rúbrica.

APÉNDICE NORMATIVO

PUERTOS DE MUESTREO

A 1 Clasificación de las descargas de aguas residuales.

Para los fines del Apéndice, las descargas de aguas residuales se clasifican en función del caudal máximo registrado en el permiso de descarga correspondiente, definiéndose tres tipos:

- Caudales menores o iguales a 30 l/s.
- Caudales mayores a 30 l/s y menores de 16 000 l/s.
- Caudales iguales o mayores a 16 000 l/s.

A 2 Especificaciones

Componentes y ubicación del puerto de muestreo

Toda descarga de aguas residuales, de acuerdo a la clasificación indicada anteriormente, debe contar con un puerto de muestreo constituido por:

- La infraestructura de conducción
- Los dispositivos de medición
- El sitio de colecta de muestras y
- La infraestructura asociada.

El puerto de muestreo debe ubicarse en el punto más cercano al cuerpo receptor, considerando su factibilidad de construcción y acceso para el equipo y el personal que realiza actividades relacionadas con la descarga de aguas residuales; este sitio debe ser consignado en el permiso de descarga correspondiente.

A 3 Generalidades de diseño

Es de carácter obligatorio que toda obra relacionada con el puerto de muestreo no modifique las características de calidad y cantidad de las aguas descargadas, desde el punto generador de las mismas hasta el punto final de la descarga, en los cuerpos receptores propiedad de la nación y sus bienes públicos inherentes. De igual manera, esta condición define un sitio preciso para el aforo y la colecta de muestras con el objeto de hacer repetible el muestreo y factible el traslado de las muestras obtenidas.

Los materiales y productos utilizados en la obra de construcción deben garantizar su resistencia a posibles fallas estructurales y posibles riesgos de impacto, para lo cual deben considerarse tanto las condiciones normales de operación como situaciones extraordinarias que pueden afectar la obra, tales como accidentes, fenómenos meteorológicos y sismos.

La infraestructura a integrar debe permitir el cumplimiento de la norma mexicana NMX-AA-003-1980 y las condiciones de muestreo y análisis de campo definidos en el presente Apéndice.

A 4 Ubicación del puerto de muestreo

La ubicación del puerto de muestreo debe estar en el punto geográfico en latitud y longitud más cercano al cuerpo receptor. Una vez determinado el punto de ubicación geográfica, en grados, minutos y segundos, esta localización debe presentarse a la Comisión, anexa a la solicitud del permiso de descarga. Su ubicación debe considerar las limitaciones que exigen la ocupación de zonas federales, la presencia de asentamientos urbanos y las condiciones del área en las inmediaciones del cuerpo receptor, sin afectar el paso franco, el control de avenidas, la protección de zonas inundables y el régimen hidráulico e hidrológico de los cauces y vasos de propiedad nacional.

A 5 Infraestructura de conducción

La obra de conducción, ya sea abierta o cerrada, debe cumplir al menos con las siguientes especificaciones:

- Evitar todo contacto entre el suelo y el agua residual y
- Permitir el flujo libre del agua residual

Estas características son obligatorias para la construcción de los registros requeridos e instalados a lo

largo de la obra de conducción y para toda obra estructural que se incluya en el puerto de muestreo y que esté en contacto entre el agua a descargar y el suelo.

A 6 Sitio de instalación

El sitio de instalación del dispositivo de medición debe contar con un área mínima libre de 1.20 m de largo x 1.20 m de ancho que permita la toma de la lectura o aforo y el mantenimiento del dispositivo.

A 7 Sitio de muestreo

El usuario debe instalar en la obra de conducción una estructura que permita tomar muestras de la descarga para su muestreo y análisis procedente, sin interrumpir su incorporación al punto final de la descarga, o bien ubicarse al final de la obra de conducción de manera que permita, en ambos casos, los dispositivos de medición, así como el aforo y el muestreo de la descarga de aguas residuales de acuerdo a la norma mexicana NMX-AA-003-1980; su diseño debe estar en función al caudal descargado definido en apartado A1 de este Apéndice. Una vez definido el tipo de puerto de muestreo, el personal debe poder tener acceso ininterrumpidamente a los andadores, rampas, escaleras, puentes o pasillos de acceso.

El área de muestreo debe estar permanentemente libre de obstáculos y estructuras que pongan en riesgo u obstaculicen las actividades del personal relacionadas con el puerto de muestreo.

A 8 Puerto de muestreo para descargas de aguas residuales con caudales menores o iguales a 30 l/s (2600 m³/día).

El puerto de muestreo debe ser construido de manera paralela a la corriente del agua residual vertida al cuerpo receptor, de tal forma que el personal que efectúe la colecta de muestras pueda realizar sus actividades sin riesgo y de acuerdo a la norma mexicana NMX-AA-003-1980; su construcción debe cumplir con los lineamientos básicos indicados en la Tabla A1.

Tabla A1.

| Puerto de muestreo para usuarios menores cuya descarga tiene un gasto máximo, menor o igual a 30 l/s (2600 m³/día). | |
|---|--|
| Ancho mínimo | 2,00 m |
| Área mínima | 5,50 m ² |
| Horizontalidad | - 5,0% perpendicular a la corriente; el lado más alto debe ser el lado adyacente a la corriente. |
| Superficie | Antiderrapante con drenes para evitar encharcamientos. |
| Nivel del puerto en caso de canales | El nivel del piso del puerto debe estar a $0,30 \pm 0,05$ m por encima del nivel máximo de la corriente. |

Asimismo, se debe contar con infraestructura que permita acceso libre y seguro hacia el dispositivo de medición y el sitio de colecta de las muestras durante las 24 horas del día.

Debe contemplarse un área para el acceso a un vehículo que permita trasladar las muestras obtenidas a un laboratorio para su análisis correspondiente. La distancia del sitio de colecta al vehículo no debe ser mayor a 25 metros.

El área asignada al vehículo o instalación donde sean recibidas las muestras obtenidas para su traslado o análisis correspondiente, debe contar con un espacio mínimo de 2,0 m de ancho por 2,75 m de largo para la manipulación y embalaje de las muestras obtenidas y del equipo e instrumentos utilizados.

A 9 Puerto de muestreo para descargas de aguas residuales con caudales mayores a 30 l/s (2600 m³/día) y menores a 16 000 l/s (1 382,400 m³/día).

El puerto de muestreo debe construirse cumpliendo con las especificaciones del apartado A8, la Tabla A1 y los lineamientos indicados en la Tabla A2.

Tabla A2.

| Puerto de muestreo para usuarios mayores cuya descarga tiene un gasto máximo, mayor a 30 l/s (2600 m³/día) y menor a 16 000 l/s (1 382 400 m³/día). | |
|--|--|
| Barandales | Se requerirán barandales en los siguientes casos: Cuando la velocidad de la descarga sea mayor o igual a 1,0 m/s Cuando el nivel del piso del puerto se encuentre a más de 0,50 m por encima del nivel mínimo de la corriente El barandal debe cubrir la mitad de la longitud del puerto $\pm 10\%$ de tolerancia |

A 10 Puerto de muestreo para descargas de aguas residuales con caudales iguales o mayores a 16 000 l/s (1 382 400 m³/día).

Para este volumen de descarga, el puerto de muestreo debe cumplir con los requisitos necesarios que garanticen la seguridad del personal que realice actividades en dicho puerto de muestreo y

cumplir con lo establecido en el numeral A9, o en su caso, cualquier otro diseño, siempre y cuando, garantice la toma de muestra y la seguridad del personal que participa en el muestreo.

Asimismo, para descargas de aguas residuales con caudales mayores a 30 l/s se debe contar con infraestructura que permita un acceso libre, seguro y franco, tanto para el personal como para el vehículo utilizado en las actividades de muestreo y aforo durante las 24 horas del día. Los accesos deben permitir la comunicación continua entre el puerto de muestreo, el sitio de aforo y el vehículo a través de andadores, rampas, escaleras, puentes o pasillos de acceso.

Para ascenso o descenso vertical se deben instalar escaleras fijas con las especificaciones de uso de acuerdo a la Tabla A3.

Tabla A3

| ACCESO PEATONAL AL PUERTO DE MUESTREO | |
|--|---|
| Para distancias menores de 25 m | |
| Andadores, rampas, puentes o pasillos de acceso peatonal | Ancho mínimo de 1,20 m Superficie antiderrapante Drenes para evitar encharcamientos |

Dadas las condiciones topográficas de la ubicación del puerto de muestreo, en el caso de encontrarse éstas a profundidades o alturas mayores a 4,0 m o con pendientes mayores a 30 °, donde la manipulación del material y equipo requerido para llevar a cabo las mediciones de aforo y muestreo ponga en riesgo la integridad física del personal que lo lleve a cabo, se debe considerar:

- a) La instalación de un sistema de poleas, con la resistencia suficiente para cargas mínimas de 25 kg.
- b) La instalación de ganchos de seguridad para el personal, la manipulación y traslado del material.
- c) La instalación de montacargas alternativamente a escaleras.
- d) El barandal debe estar a una altura de 90 cm \pm 10 cm;
- e) Las barandas deben estar colocadas a una distancia intermedia entre el barandal y la paralela formada con la altura media del peralte de los escalones. Los balaustres deben estar colocados, en este caso, cada cuatro escalones.

Cuando la distancia al puerto de muestreo se cubra por vía terrestre y sea mayor a 25 m, el usuario debe contar con la infraestructura necesaria para la circulación libre y segura de un vehículo con el personal, equipo e instrumentos de muestreo.

Si la ubicación del puerto de muestreo requiere de otro medio de transporte que no sea el terrestre, el usuario debe contar con la infraestructura necesaria que permita el acceso y transporte del personal y equipo en forma segura.

A 11 Señalizaciones

Se deben instalar en el puerto de muestreo señalizaciones de localización e información, así como de advertencia sobre las medidas de seguridad que debe seguir el personal que realiza la colecta de muestras. La información básica que debe incluir este señalamiento se encuentra definida en la Tabla A4.

Tabla A4

| IDENTIFICACIÓN DEL PUERTO DE MUESTREO |
|--|
|--|

| | |
|--------------------------|---|
| En el puerto de muestreo | Ubicación a una distancia máxima de ± 5 m del sitio de colecta de muestra Nombre usuario Número de permiso de descarga Denominación de acuerdo al permiso de descarga Nombre del cuerpo receptor Tipo de cuerpo receptor (según la Ley Federal de Derechos) Volumen autorizado anual y diario en m ³ /año y m ³ /día y Localización geográfica en coordenadas del punto de la descarga: latitud y longitud en grados (°), minutos (¢) y segundos (¢ ¢). |
|--------------------------|---|

GLOSARIO

| | |
|--|---|
| Aguas residuales | Son las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. |
| Carga contaminante | Cantidad de contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales. |
| Contaminantes básicos | Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En esta norma solo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno, nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH. |
| Contaminantes patógenos y parasitarios | Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo para la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta norma sólo se consideran coliformes fecales y los huevos de helminto. |
| Muestra compuesta | La que resulta de mezclar el número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simple deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma. |
| 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 procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo requerido para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo. |
| Efluente | Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias. |
| Influente | Se refiere al caudal que ingresa a la primera unidad de tratamiento. |

| | |
|--|--|
| Oligoelemento | Elemento químico que se halla en muy pequeñas cantidades en las células de los seres vivos y es indispensable para el desarrollo normal del metabolismo. |
| Demanda teórica de oxígeno (DTeO) | Materia orgánica medida como la demanda teórica de oxígeno (DTeO) corresponde a la cantidad estequiométrica de oxígeno requerida para oxidar completamente un determinado compuesto. Se expresa en gramos de oxígeno requerido por litro de solución, sin embargo este sólo se puede emplear si se dispone de un análisis químico completo del agua residual |
| La demanda química de oxígeno (DQO) | Materia orgánica medida la demanda química de oxígeno (DQO) corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. Traduciéndolo de otra manera, es una oxidación química pero no una oxidación biológica. |
| La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | Se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. |
| Carbono orgánico total (COT) | La muestra con oxígeno en presencia de un catalizador en una cámara de combustión. El dióxido de carbono producido se mide con un analizador de infrarrojos no dispersivo y se deduce de éste el carbono presente. |
| Demanda total de oxígeno (DOT) | Para esta medida la muestra se oxida con oxígeno en un horno a alta temperatura. Todos los compuestos de carbono, nitrógeno y azufre quedan oxidados. |

