

Manejo y diseño de lagunas de estabilización

Caso de una laguna anaerobia - facultativa - maduración

Gaspar López Ocaña
Víctor Ortíz Alcocer
Nancy Estrada Pérez
Carlos Alberto Torres Balcázar
Rudy Solís Silván



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

*Manejo y diseño de lagunas de
estabilización*

*Caso de una laguna
anaerobia - facultativa - maduración*


COLECCIÓN
JOSÉ N. ROVIROSA
Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo

Guillermo Narváez Osorio

Rector

Arturo Garrido Mora

Director de la División Académica de
Ciencias Biológicas



*Manejo y diseño de lagunas de
estabilización*

*Caso de una laguna
anaerobia - facultativa - maduración*

Gaspar López Ocaña
Víctor Ortíz Alcocer
Nancy Estrada Pérez
Carlos Alberto Torres Balcázar
Rudy Solís Silván



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

Primera edición, 2026



© Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

www.ujat.mx

Para su publicación esta obra ha sido dictaminada por el sistema académico de “doble ciego”. Los juicios expresados son responsabilidad del autor o autores. El contenido de esta obra no podrá utilizarse para entrenar modelos de Inteligencia Artificial sin el consentimiento expreso de sus autores (o herederos) y de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

ISBN: 978-607-606-752-9

Diseño de portada y maquetación: Jazmín Zapata de la Cruz

Cuidado de la edición: Diana Espinoza y autores

Corrección: Colectivo editorial Bosque de Palabras

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México

*Agradecemos a nuestra Alma Mater,
la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
por formarnos y brindarnos cobijo.*



Contenido

Presentación	12
CAPÍTULO 1	
MANEJO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	14
1.1. Introducción	15
1.2. Objetivo y alcances	15
1.2.1. Objetivo	15
1.2.2. Alcances.....	16
1.3. Descripción del sistema de tratamiento	16
1.3.1. Lagunas anaerobias	17
1.3.2. Lagunas facultativas	18
1.3.3. Planta de tratamiento de aguas residuales	18
1.4. Previsiones anteriores a la puesta en marcha.....	21
1.4.1. Verificación de la instalación y funcionamiento	21
1.4.2. Análisis de las aguas residuales	22
1.4.3. Elementos de la planta y entrenamiento.....	22
1.5. Puesta en marcha	24
1.5.1. Arranque.....	24
1.5.2. Control del proceso.....	26
1.5.3. Problemas típicos durante la puesta en marcha	26
1.6. Control operacional.....	28
1.6.1. Revisión del gasto de alimentación.....	29
1.6.2. Control del proceso.....	29
1.7. Muestreo y análisis de las aguas.....	30
1.7.1. Programa de muestreo.....	33
1.8. Fallas en la planta y su control	34
1.8.1. Corrección de fallas.....	34

1.8.2. Problemas típicos de operación.....	35
1.9. Mantenimiento	37
1.9.1. Mantenimiento preventivo	38
1.9.1.1. Seguridad	39
1.9.1.2. Almacenamiento	40
1.9.2. Programa de mantenimiento.....	41
1.9.2.1. Objetivos de un programa de mantenimiento	41
1.9.2.2. Control de inventarios.....	43
1.9.2.3. Coordinación entre operación y mantenimiento	44
1.9.3. Mantenimiento de equipo electromecánico	44
1.9.3.1. Mantenimiento preventivo.....	45
1.9.3.2. Mantenimiento correctivo	46
1.10. Personal de operación	46
1.10.1. Requerimientos de personal.....	46
1.10.2. Actividades generales del personal.....	47
1.10.3. Organigrama	49
1.10.4. Perfil del personal requerido	49
1.11. Seguridad e higiene.....	51
1.11.1. Seguridad e higiene en el sistema de tratamiento	51
1.11.2. Pretratamiento	53
1.11.2.1. Cribado	53
1.11.2.2. Desarenación.....	53
1.11.3. Sistema de lagunas	54
1.11.4. Tanques de contacto con cloro.....	54
1.11.5. Edificio de cloración	54
1.11.6. Subestación eléctrica.....	57
1.11.7. Laboratorio	57
1.11.8. Instalaciones generales	57
1.11.8.1. Condiciones inseguras frecuentes.....	58
1.11.8.2. Jefes o responsables del sistema de tratamiento.....	58
1.11.8.3. Trabajadores del sistema de tratamiento	59
1.11.9. Condiciones de seguridad	60
1.11.9.1. Edificaciones	60



1.11.9.2. Prevención, protección y combate de incendios.....	60
1.11.9.3. Operación y mantenimiento de maquinaria y equipo.	61
1.11.9.4. Instalaciones eléctricas	62
1.11.9.5. Herramientas	62
1.11.9.6. Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas.....	62
1.11.9.7. Ruido y vibraciones.....	64
1.11.9.8. Agentes contaminantes biológicos	64
1.11.9.9. Equipo de protección.....	64
1.11.9.10. Servicios para el personal.....	65
1.11.9.11. Orden y limpieza.....	65
1.11.9.12. Recomendaciones referentes a la seguridad e higiene	66
1.12. Tablas de seguridad e higiene	67

CAPÍTULO 2

INGENIERÍA BÁSICA DE LA PTAR 74

2.1. Población de proyecto y gastos de diseño76

2.1.1. Población histórica de la localidad.....	76
2.1.1.1. Método aritmético.....	77
2.1.1.2. Método de Malthus	78
2.1.1.3. Método del INEGI	79
2.1.1.4. Método de lotificación.....	80
2.1.2. Gastos de proyecto	81

2.2. Rejillas y canal de entrada al sistema.....82

2.2.1. Criterios de diseño del canal y la rejilla	82
2.2.2. Ajuste de rejillas	83
2.2.3. Ajuste del canal	83
2.2.4. Total de solera para la construcción de rejilla.....	83
2.2.5. Velocidad de escurrimiento y pendiente en el canal	84

2.3. Desarenador hidráulico85

2.3.1. Cálculo de la longitud del desarenador	85
2.3.2. Volumen de arena generada	85
2.3.3. Área del desarenador	86
2.3.4. Profundidad del desarenador	86



2.3.5. Pérdida de carga por rejilla	86
2.4. Vertedor rectangular	87
2.4.1. Ajuste de las dimensiones en el vertedor	89
2.5. Dimensiones de las lagunas	89
2.5.1. Laguna anaerobia (1 módulo)	89
2.5.1.1. Corte transversal de LAn	90
2.5.1.2. Corte longitudinal de LAn	90
2.5.1.3. Volumen dimensionado LAn	90
2.5.2. Laguna facultativa LFc (1 módulo)	90
2.5.2.1. Corte transversal de LFc	91
2.5.2.2. Volumen dimensionado LFc	92
2.5.3. Laguna de maduración LMd	92
2.5.3.1. Corte transversal de LMd	93
2.5.3.2. Volumen dimensionado	93
2.6. Tubería de la caja entrada, caja de cambio de nivel y caja de salida.....	94
2.7. Condiciones de volumen de agua en la laguna	94
2.7.1. Condiciones de los tanques a nivel mínimo (mayo) y a nivel máximo (diciembre)	94
2.8. Temperatura del agua en las lagunas	95
2.9. Coeficientes cinéticos de degradación	96
2.10. Estimación de la carga orgánica total	96
2.10.1. Carga orgánica o flujos máxicos	97
2.10.2. Concentración de salida de la laguna anaerobia	97
2.10.3. Concentración de salida de la laguna facultativa	98
2.10.4. Concentración de salida de la laguna de maduración	98
2.11. Periodo de desazolve (θ_L) de los sistemas lagunares.....	99
2.12. Segunda etapa del proyecto	99
2.12.1. Cálculo de equipo de aireación	99
2.12.2. Cloración	100



2.12.2.1. Tanque de contacto de cloro	100
2.12.2.2. Sistema de cloración	101
2.12.2.3. Gasto y potencia de bombeo.....	101
2.13. Conclusiones y recomendaciones	102
Referencias	103
ANEXO 1	
DIAGRAMAS Y PLANOS DE PROCESOS	106
ANEXO 2	
GLOSARIO DE TÉRMINOS ESPECIALIZADOS	117
Semblanzas	123



Presentación

El presente libro se desarrolla como caso de estudio en Tabasco. En este se presenta la ingeniería básica del tratamiento de las aguas residuales, el cual es un sistema natural de lagunas anaerobio-facultativo-pulimento, donde se plasman criterios de operación y mantenimiento. Cabe mencionar que para el desarrollo de un proyecto ejecutivo se realizan actividades de campo y de gabinete, como la estimación de datos de proyecto, los gastos de diseño, la caracterización fisicoquímica, la topografía, la geotécnica, el cálculo estructural, el cálculo electromecánico, el cálculo hidráulico funcional, el análisis económico financiero, el estudio de impacto ambiental, en otros requisitos que se establecen por las dependencias gubernamentales. Los alcances de un sistema de tratamiento están enfocados en asegurar la salud pública, proteger la flora, la fauna y los ecosistemas del entorno que se ven afectados por la descarga de aguas residuales, dando la posibilidad de reutilizar las aguas tratadas en procesos diversos que se desarrollan en el municipio.

Desde el punto de vista académico este es un material de apoyo y referencia básica para los alumnos de Ingeniería Ambiental y de posgrados afines, teniendo como objetivo principal involucrar a los estudiantes en la aplicación de conocimientos básicos y específicos de la ingeniería básica de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tecnologías naturales, siendo este documento una herramienta de trabajo auxiliar en asignaturas como, diseño de plantas de tratamiento para aguas residuales industriales y municipales de los programas vigentes de la licenciatura y posgrado de la DACBiol-UJAT.

El objetivo es que el estudiante fundamente el diseño de las lagunas de estabilización, desde unidades de pretratamiento, como son rejillas, desarenador hidráulico, unidades de tratamiento primario, unidades de tratamiento secundario biológicos naturales. También que conozca el orden de reacción y cinética de degradación de las aguas residuales y las normas básicas de seguridad dentro instalaciones de una planta de tratamiento natural. Para la ingeniería ambiental es muy importante formar expertos en los procedimientos

aquí presentados para poder diseñar unidades de control y saneamiento de las aguas residuales. Es indispensable que los interesados en este proceso de aprendizaje cuenten con conocimientos básicos sobre los siguientes temas:

1. Normas oficiales mexicanas e internacionales en materia de descarga de aguas residuales.
2. Procedimientos en muestreo y aforo de las aguas residuales (normas MNX y SCFI).
3. Balance de materia y energía en sistemas con reacción y sin reacción.
4. Operaciones y procesos unitarios.
5. Criterios nacionales e internacionales de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Todos los procedimientos deben realizarse poniendo la mayor atención en ello, tomando nota de todos los resultados parciales y finales. En cualquier procedimiento, una equivocación conduce a resultados erróneos. Por ello, es recomendable que antes de iniciar cálculos memorice y priorice, estructurando la base en una memoria de cálculo en Excel y los dibujos de ingeniería básica y de detalle con el software AutoCAD versión 2021 o superior.

CAPÍTULO 1

MANEJO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

1.1. Introducción

Entre los principales problemas que se presentan durante la operación y mantenimiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está la falta de material didáctico de apoyo. Por ello se presenta este libro, como una herramienta de consulta rutinaria para los operadores del sistema de tratamiento. Por otra parte, es importante que el personal de nuevo ingreso se familiarice con los conceptos, términos, parámetros, así como con las unidades que integran el sistema de tratamiento, además de las técnicas y procedimientos operativos. La operación eficiente se logrará si el encargado conoce perfectamente lo que está haciendo, por qué lo hace y cuándo debe de hacerlo; esto se logra proporcionando a los operadores capacitación y entrenamiento continuo, así como recursos y herramientas indispensables para realizar sus actividades. Debe entenderse que el mantenimiento es una etapa básica que permite conservar las unidades, dispositivos y equipo en condiciones operativas óptimas para evitar desequilibrios en el proceso de descarga y reutilización de aguas tratadas. Cabe mencionar que algunos de los problemas que se presenten en la planta serán resueltos con el aprendizaje y experiencia que se vayan obteniendo durante la operación, pero también éstos pueden ser solucionados por las habilidades que el operador tenga para resolverlos. Por lo anterior, se presenta esta guía de trabajo que le permitirá al operador contar con los elementos básicos para poner en marcha, operar y dar mantenimiento oportuno y eficiente a la planta.

1.2. Objetivo y alcances

1.2.1. Objetivo

Describir de la forma más sencilla posible el proceso de tratamiento y el método para operar una PTAR de lagunas de estabilización anaerobia-facultativa-pulimento. El agua cruda que ingresa para ser tratada debe cumplir en su descarga final con la calidad especificada en las normas vigentes o las condiciones particulares de descarga a un cuerpo receptor tipo C.

1.2.2. Alcances

- Proporcionar una herramienta para resolver los problemas que se puedan presentar durante el arranque y operación de la planta, después de que esta haya sido construida.
- Proporcionar ejemplos de aplicación para adecuarlos a las condiciones reales de la operación.
- Proporcionar rutinas de trabajo en cada una de las unidades, además de describir las actividades de laboratorio que se deben realizar para el control de calidad del agua producida.

1.3. Descripción del sistema de tratamiento

El diseño conceptual de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se basa en un proceso de lagunas anaerobias-facultativas-pulimento, que consiste en poner el agua sanitaria en contacto con una población microbiana anaerobia en primera instancia, luego en un sistema facultativo o mixto, con biomasa depositada y en suspensión en un sistema aireado naturalmente, que va vertiéndose en el reactor en forma lenta y distribuyéndose en toda el área del reactor.

Las lagunas se clasifican dentro de los procesos naturales de depuración, la remoción de la materia orgánica es mediante asimilación biológica en el estanque de estabilización. Generalmente, no requieren de recirculación, a diferencia de otros sistemas donde ésta es determinante para mantener los microorganismos en el reactor (CONAGUA, 2019a). Sin embargo, ambos sistemas o procesos dependen de la oxidación biológica de la materia orgánica presente en el agua residual, produciendo CO_2 y energía, la cual es usada como sustento y promotor para el crecimiento de la biomasa (Crites y Tchobanoglous, 2000).

El sistema de lagunas opera de acuerdo con su contenido de O_2 y, en el caso de las anaerobias, operan con ausencia de O_2 , en estas últimas los microorganismos que trabajan son de índole anaerobio o facultativo. En el sistema facultativo solo se contempla la presencia de O_2 en la masa líquida, y ésta depende de la temperatura del agua; es decir que el incremento de la temperatura en la columna del agua

disminuye la concentración de oxígeno disuelto (OD), teniendo en el fondo del tanque la ausencia de O₂, donde los microorganismos presentes son aerobios, anaerobios y facultativos. Estos sistemas también se clasifican por la remoción de carga orgánica y de sólidos suspendidos y, en el caso de la laguna de maduración, por la remoción de patógenos. En este caso, este sistema de lagunas fue desarrollado para reducir carga orgánica, controlar sólidos suspendidos y pulir el efluente (Metcalf y Eddy, 2000; Crites y Tchobanoglous, 2000).

1.3.1. Lagunas anaerobias

Una vez que el sistema anaerobio se encuentra operando, la superficie del agua limita la difusión del O₂ de la atmósfera y la carencia de algas y procesos fotosintéticos que liberan O₂. Los sólidos suspendidos de mayor densidad que el agua se depositan, por sedimentación, en el fondo de la laguna anaerobia por largos periodos. Las altas concentraciones de materia orgánica y la carencia de fuentes externas de O₂ hacen que los microorganismos procesen la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas, tanto en el lodo depositado en el fondo, como en aquella que se encuentra en suspensión coloidal y disuelta en la masa del líquido (Noyola et al., 2013).

La digestión anaerobia degrada biológicamente sustancias orgánicas complejas en ausencia de OD, este proceso lo realizan dos clases de bacterias. En la primera fase, las bacterias acidofólicas se alimentan de materia orgánica cruda y multiplican su número generando ácidos orgánicos volátiles, CO₂ y agua, para estabilizar la materia orgánica. Los ácidos orgánicos, formados a partir de la materia orgánica, son convertidos en CH₄, por lo que su concentración es baja y el pH se mantiene casi neutro. Sin embargo, las bacterias metanogénicas son más lentas en crecimiento y multiplicación y pueden ser afectadas por variaciones de pH, temperatura y carga orgánica. Cuando la laguna trabaja correctamente las dos fases de digestión se dan en equilibrio dinámico. Cuando los ácidos orgánicos volátiles se acumulan y el pH baja, se inhiben las bacterias metanogénicas y el proceso falla, a menos que se tomen medidas correctivas como elevar artificialmente el pH o reducir la carga orgánica en el afluente (Noyola et al., 2013; CONAGUA, 2019a).

1.3.2. Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas presentan condiciones aerobias en la capa superior del agua, disminuyendo la concentración de OD en el fondo que es, normalmente, anaerobio. En este tipo de lagunas, la estabilización del agua residual se alcanza por una combinación de microorganismos anaerobios, aerobios y una superioridad de microorganismos facultativos que prosperan bajo condiciones anaerobias-aerobias. Estas lagunas permiten la acumulación de sólidos sedimentables en el fondo del tanque donde son descompuestos anaeróticamente. Como resultado de esa descomposición, se liberan sólidos coloidales y sustancias disueltas que sirven de alimento a los microorganismos facultativos y aerobios que se encuentran en la etapa superior de la laguna (Noyola et al., 2013; CONAGUA, 2019a).

1.3.3. Planta de tratamiento de aguas residuales

El proceso inicia cuando las descargas de la localidad se conectan con el canal de la PTAR de lagunas anaerobias (LAn) - facultativas (LFC) - maduración (LMd). El agua residual se divide en dos módulos de tratamiento gemelos, iniciando por un pretratamiento (rejilla y desarenador con vertedor rectangular). En la primera fase (10 años) el sistema tiene como tratamiento primario dos lagunas anaerobias, posteriormente, como tratamiento secundario, dos lagunas facultativas y una laguna de maduración que conjunta los dos módulos anteriores.

El sistema de cribas (rejillas) finas se encuentra sobre un canal (1.1 m de ancho, 0.6 m de tirante, 0.2 m de bordo libre, velocidad de 0.6 m/s y pendiente de 0.0002). La criba consta de 25 barras con ángulo de 45°, separación de 3.5 cm y espesor de ¼ de pulgada con limpieza manual. El $Q_{\text{máxinst}}$ en cada rejilla será de 194 L/s y el Q_{min} de 24 L/s. Las concentraciones de entrada serán de 233 mg/L de DBO_5 y 180 mg/L de SST. Se estima que la criba renueve alrededor del 6 % de DBO_5 , es decir, 116 Kg/día de DBO_5 .

Después del pretratamiento, comienza un tratamiento biológico anaeróbico (dos lagunas anaerobias, LAn), donde se eliminan partículas sólidas discretas y cierta fracción de no discretas por arrastre. Las LAn tendrán un área de 2592 m² cada una, un tirante de 4.5 m, un tiempo de retención (Tr) de dos días, ocupando un volumen de 8320 m³. La remoción de DBO_5 de LAn va del 21 al 50 %, obteniendo

un efluente de 109 a 182 mg/L de DBO₅. El paso del agua será por cajas de interconexión a la laguna facultativa (LFC), con una velocidad de 0.6 m/s y tubería de 50" de diámetro. Las LFC trabajan en paralelo, con un tirante de 2.2 m, Tr de 7 días, ocupando un área de 14,938 m² y un volumen de 29,190 m³, con una remoción de 77 a 80 % de DBO₅.

La laguna de pulimento o maduración (LMd) que elimina los patógenos del agua, cuenta con un tirante de 1.8 m, un Tr de 7 días, con un área de 34,303 m² y un volumen de 58,455 m³. La remoción de DBO₅ va del 76 al 80 %, y la concentración de salida es de 4 a 10 mg/L de DBO₅.

Para la segunda etapa las lagunas anaerobias (LAN) operarán como lagunas aireadas (LAir), con cuatro aireadores superficiales (150 HP) y un módulo de cloración. Tratarán un Qmed de 96.3 L/s y sistema de cloración que estará integrado por dos canales (12 m de largo, 2 m de ancho y 2 m de alto), con un Tr de 40 minutos, dosificando de 66 kg/d a 268 kg/d de gas cloro.

Tabla 1

Generalidades de las unidades de tratamiento

Op. y proc. Unitario	L (m) sup.	A (m) sup.	Ti (m)	Tr (días)	Vol (m ³)	Especificaciones
Rejillas		1.085	0.61			25 barras de 1.50 de largo, espesor de 0.25", separación de 3.54 cm, inclinación de 45°
Desarenador	11.5	1.082	0.823			Lodo de 1.5 m ³ de arena cada 3 días
Laguna Anaerobia (1 módulo)	55.91	46.36	4.5	2	8320	Tubería de entrada y salida de 50" de Ø. Temperaturas de 21-27 °C y kt de 0.38-0.63 d ⁻¹
Laguna facultativa (1 módulo)	256.85	58.16	2.2	7	29190	Tubería de salida de 50" de Ø. Temperaturas de 22-28.5 °C y kt de 0.42-0.70 d ⁻¹
Laguna de maduración	304.11	112.8	1.8	7	58455	Tubería de salida de 50" de Ø. Temperaturas de 23-29.5 °C y kt de 0.45-0.74 d ⁻¹
L = Longitud; A = Anchura; Ti = Tirante; Tr = Tiempo de retención y Vol = Volumen						

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2*Eficiencia máxima teórica de remoción de DBO*

Operación o proceso unitario	Entrada (kg/día)	Salida (kg/día)	Remoción (kg/día)	Eficiencia (%)	Concentración de salida (mg/L)
Rejillas y desarenador	1939	1,822	116	6	219
Laguna anaerobia	1822	911	911	50	110
Laguna facultativa	911	182	729	80	22
Laguna de maduración	182	36	146	80	4.4
Materia removida = 1903 Kg/día			Eficiencia = 98.12 %		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3*Eficiencia mínima teórica de remoción de DBO*

Operación o proceso Unitario	Entrada (kg/día)	Salida (kg/día)	Remoción (kg/día)	Eficiencia (%)	Concentración de salida (mg/L)
Rejillas y desarenador	1939	1939	0	0	233
Laguna anaerobia	1938	1521	417	22	183
Laguna facultativa	1521	349	1172	77	42
Laguna de maduración	345	84	265	76	10
Materia removida = 1854 Kg/día			Eficiencia = 95.66 %		

Nota. Elaboración propia.

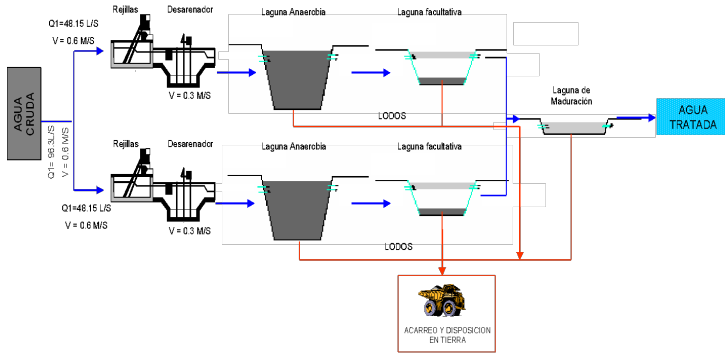


Figura 1. Diagrama de la PTAR de aguas residuales, primera etapa.

Nota. Elaboración propia.

1.4. Previsiones anteriores a la puesta en marcha

Previo al arranque de la PTAR se debe realizar un chequeo de estructuras, equipos, cajas de entradas y salidas, así como de instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias. Esta revisión debe realizarse por el grupo integral además de los operadores, el ingeniero que diseñó la planta y los fabricantes de los equipos, puesto que éstos deben saber cómo funcionan los equipos instalados, de qué manera se opera y en qué forma darles servicio correctamente.

1.4.1. Verificación de la instalación y funcionamiento

Todo el equipo, los dispositivos de medición, válvulas y materiales deben ser completamente revisados para asegurarse de que operen adecuadamente y que estén bien colocados.

Todas las tuberías deben estar limpias de materiales extraños y voluminosos (tierra, arena, madera, materiales de construcción).

Todos los estanques que se empleen en los procesos deberán haberse probado hidráulicamente y estar listos para recibir el flujo de las aguas residuales.

Verificar la operación de las válvulas de control de los pasos, en el fondo de los tanques no debe haber escombros o algo que obstruya el funcionamiento de los tubos de conducción.

Verificar la nivelación de los vertedores y el funcionamiento correcto de los desvíos de agua de emergencia.

1.4.2. Análisis de las aguas residuales

Se debe proporcionar suficiente información analítica para estimar las cargas de inicio de la operación, requerimientos químicos, etc. La información analítica que debe incluirse es: concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), pH y análisis de coliformes (NOM-001-SEMARNAT-2021, 2022). Además, con los dispositivos existentes para este fin se debe medir el gasto del afluente y del efluente final (medidores de flujo) (Briones Sánchez y García Casillas, 2014). El pH del agua residual que será tratada en LAn debe tener de 6.5 a 8.5, si no cuenta con estos valores se debe neutralizar para iniciar la operación. Asimismo, es necesario conocer el contenido de NT y PT para ver si las concentraciones favorecen la degradación de materia orgánica (Noyola et al., 2013; CONAGUA, 2019a).

1.4.3. Elementos de la planta y entrenamiento

El personal de la planta debe conocer los parámetros de diseño, las instalaciones y el equipamiento antes del arranque. Se requiere que el personal ya esté contratado y en el sitio antes de que la planta esté funcionando, debe estar capacitándose para operaciones normales durante el periodo preparatorio de arranque.

Para garantizar una operación eficiente y segura en las actividades de laboratorio, es fundamental proporcionar al personal una orientación integral sobre los procesos y los equipos. Esta capacitación debe ser continua, no solo durante la puesta en marcha de la planta, sino también a lo largo de la operación diaria. El personal debe dominar los parámetros clave de diseño de los procesos, incluyendo:

- *Gastos y cargas orgánicas.* Comprender el manejo de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

- *Volúmenes de tanques y tiempos de retención.* Conocer la capacidad de los tanques y el tiempo que el material permanece en ellos para optimizar los tratamientos.
- *Capacidad y flexibilidad de las unidades.* Estar familiarizado con las capacidades operativas de las diferentes unidades y su adaptabilidad a diversas situaciones.
- *Sistemas de bombeo.* Entender el funcionamiento y la flexibilidad del sistema de bombeo para el envío de materiales.
- *Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST).* Saber cómo monitorear y controlar las concentraciones de SST para asegurar la calidad.
- *Dosificación de productos químicos.* Conocer las cantidades adecuadas y seguras de productos químicos a utilizar, como el gas cloro para la segunda etapa de tratamiento.

Este conocimiento básico servirá como criterio de referencia para comparar la información operativa de los procesos, lo que permitirá tomar decisiones informadas y ajustar las operaciones según sea necesario.

Durante el periodo inicial, es crucial que los representantes de los fabricantes o proveedores operen los equipos, trabajando codo a codo con el personal responsable de las instalaciones. Esto garantiza una transición fluida y un conocimiento profundo de la maquinaria. Para asegurar que todo el personal se familiarice completamente con los componentes de la planta, se implementará un entrenamiento formal en dos etapas antes de la puesta en marcha:

- a) *Capacitación teórica en aula.* La primera etapa se llevará a cabo en un salón de clases acondicionado dentro de las instalaciones de la planta. Personal especializado, con un profundo conocimiento de las características particulares de la planta, impartirá esta formación. Aquí se sentarán las bases teóricas de todos los procesos y sistemas.
- b) *Entrenamiento práctico con fabricantes.* La segunda etapa será dirigida por los fabricantes o distribuidores de los equipos clave. Ellos se encargarán de desglosar los detalles y particularidades de las partes principales de cada equipo, brindando una comprensión práctica y detallada de su funcionamiento.

Este enfoque dual asegura que el personal adquiera, tanto el conocimiento teórico necesario, como la experiencia práctica indispensable para operar la planta de manera eficiente y segura.

1.5. Puesta en marcha

1.5.1. Arranque

Los programas de puesta en marcha de las PTAR se dividen en dos fases principales: la puesta en operación hidráulica y la puesta en marcha del proceso. Esta última abarca el periodo de aclimatación y estabilización de la planta. Las funciones principales de una PTAR son:

- a) *Remoción de materia orgánica*. Convertir la materia orgánica disuelta en el agua residual a una forma insoluble (materia celular).
- b) *Separación de insoluble*. Separar la materia insoluble del agua residual para lograr una mayor remoción de contaminantes, especialmente en la laguna anaerobia.

La puesta en marcha se considera completa cuando las funciones de la planta se han establecido y normalizado, permitiendo así su transición a la etapa de operación normal. Una vez que la planta ha sido revisada y sus parámetros cumplen con las previsiones, el proceso de puesta en marcha es relativamente sencillo, básicamente consiste en hacer circular el agua a través de los tanques. El objetivo principal de estos sistemas es fomentar el crecimiento de una población heterogénea de microorganismos. Esto se logra proporcionando la máxima cantidad de aire posible para que los microorganismos presentes en el agua residual tengan la oportunidad óptima de crecer y multiplicarse, lo cual es esencial para el tratamiento efectivo (Horan, 1990; WPCF, 1990).

A continuación, se dan a conocer los pasos principales para la puesta en marcha de la PTAR: en los anaerobios facultativos se necesitarán 12 semanas como mínimo para que empiece a desarrollarse el cultivo biológico en cantidad suficiente para lograr la relación enzima-sustrato ideal, dependiendo de la época del año, condiciones del tiempo y concentración de las aguas negras. Durante este período de desarrollo del crecimiento, se producirá un efluente inestable con alta DBO₅, sin embargo, por el tiempo de retención en

los sistemas, que es de 16 días, se logra la estabilización de patógenos y no se necesita agregar cloro en grandes cantidades como en otros sistemas. Una vez que el crecimiento se ha establecido y la planta trabaja normalmente, se requiere muy poco control de operación, aunque es necesario verificar diariamente algunas cuestiones:

- Cualquier indicación de filtración de los estanques.
- Presencia de materiales gruesos.
- Olores desagradables.
- Obstrucción de los pasos de agua.
- Fugas en los sellos de la geomembrana.
- Después de haber pasado el agua por el sistema anaerobio se inicia la alimentación y llenado del sistema de facultativo.
- Estando el nivel del agua del tanque facultativo a la mitad del tirante normal, se tomará tiempo de tres días y se revisará el depósito de lodos.
- Cuando la caja del tanque facultativo empiece a derramar y el efluente comience a salir hacia el tanque de pulimento, se deberá monitorear que se esté produciendo un efluente de buena calidad.
- La estabilización del proceso durará más de treinta días, por lo tanto, el operador deberá estar atento para tomar las medidas necesarias.
- Después del arranque será necesario reajustar las válvulas de los interconectores una por una. También se deberán verificar los equipos del cárcamo de bombeo de envío del agua residual, incluyendo la revisión de las tuberías de entrada y salida, así como válvulas y accesorios complementarios. El tiempo de estabilización durará algunas semanas o por lo menos tres meses. Conseguídos estos pasos y habiendo llegado aproximadamente al día 90 de operación, se considera que la PTAR ha conseguido su estabilización y que pasa a la operación normal, donde se tendrán que hacer varios ajustes de diferente índole.

1.5.2. Control del proceso

El control del proceso se basará en la revisión de los datos de operación y de laboratorio que se generen con el fin de seleccionar los parámetros operacionales o de control.

- El OD en las lagunas anaerobias debe ser menor a 1 mg/L, y para las facultativas en la masa líquida de entre 1 y 2 mg/L. Se recomienda monitorear el OD diariamente para hacer los ajustes apropiados.
- El pH en el efluente de la laguna anaerobia debe encontrarse en un rango de 6.5 a 8.5.
- Temperatura del afluente.
- DBO₅ (determinación diaria).
- SST (determinación diaria).
- Coliformes - (determinación semanal) efluente: 1000-2000 NMP o UFC/100 ml.

Las determinaciones analíticas son indispensables para controlar el proceso. Cuando el operador relaciona los análisis del laboratorio con la operación de su planta, puede seleccionar los parámetros operacionales más efectivos, determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento e identificar cuando un problema se está desarrollando antes de que pueda afectar la calidad del efluente. Los resultados obtenidos se deberán registrar para definir las condiciones de operación de la PTAR y hacer las modificaciones correspondientes.

1.5.3. Problemas típicos durante la puesta en marcha

Independientemente de la buena planeación que se haya hecho para la fase de puesta en marcha, siempre se presentarán algunos problemas. A continuación, se comentarán los problemas más característicos desde el punto de vista de proceso (Hammer, 1977; WPCF, 1990; Crites y Tchobanoglous, 2000).

A. Olores

Con la operación de las lagunas anaerobias persistirán problemas de olores. La presencia de olores desagradables indica que se han desarrollado condiciones anaerobias, esto se puede combatir exter-

namente sembrando una barrera de árboles como Sauce (*Salix chilensis*), zapote de agua (*Paquira acuática*), entre otros.

B. Moscas

La aparición de moscas (*Psychoda*) e insectos es una de las molestias más comunes en sistemas convencionales, sin embargo, en estos sistemas naturales es muy difícil la proliferación ya que son eliminados en el pulimento (cuando aún son larvas). Su control puede lograrse con los procedimientos siguientes:

- Aumento del gasto de alimentación.
- Aplicar insecticidas aprobados teniendo precaución con plantas y otras estructuras.
- Las plantas y pastos altos proporcionan un hábitat para las moscas, por lo que deben podarse frecuentemente en las zonas aledañas al sistema anaerobio facultativo.

C. Problemas con las condiciones ambientales

El caso de estudio es peculiar ya que se desarrolló para un sitio lluvioso rebasando los 3000 mm/año (INEGI, 2000), lo cual incrementa los volúmenes de agua en el sistema. Esto se soluciona con el bordo libre de 0.9 m y con un sistema de desvío por casos extraordinarios. La erosión hídrica se combate con la forestación de pasto en los taludes externos y en el caso de los internos con el zampeado que protege del oleaje.

D. Problemas de sedimentación o cortos circuitos

Los problemas que comúnmente se presentan en los sistemas lagunares son los siguientes:

- Arrastre de sólidos. Algunas causas probables del arrastre son:
 - Sistema mal operado.
 - Sistema sobrecargado hidráulicamente.
 - Sistema sobrecargado de sólidos.
 - Corrientes de temperatura.
- Algunas medidas de control y solución a los problemas señalados son:

- Parar el equipo mal operado.
- Verificar la carga hidráulica del afluente y distribuir el flujo uniformemente.
- Colocar mamparas para romper las corrientes de temperatura y parar la turbulencia. Las mamparas deben colocarse de tal manera que se distribuya el afluente lo más uniformemente posible.

E. Baja remoción de DBO₅

Al sistema biológico le toma tiempo lograr la eficiencia de remoción de DBO₅ establecida en el proyecto, que depende del crecimiento y diversidad de biomasa que se va logrando. Por lo tanto, es de esperarse baja eficiencia en la remoción de DBO₅ durante los primeros días de la puesta en marcha. Sin embargo, la baja remoción de DBO₅ puede resultar de otros factores, que muchas veces son menos esperados. Las altas cargas orgánicas de choque en el sistema pueden producir una concentración alta de DBO₅ en el efluente y, por tanto, una baja eficiencia de remoción. La eficiencia de remoción de DBO₅ en cierta forma es dependiente de la temperatura, la actividad biológica decrece con temperaturas bajas, por tanto, tomará un mayor tiempo alcanzar la eficiencia deseada de remoción de DBO₅ durante una época fría que en una caliente.

1.6. Control operacional

La evaluación del sistema de tratamiento es una medida esencial para controlar la calidad de la operación y determinar cambios en esta. En los sistemas de lagunas, la evaluación del proceso se realiza con la revisión de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) (por más rápido), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT), determinando la eficiencia de remoción de estos parámetros de acuerdo con el modo de operación de la planta, como, por ejemplo, el caudal de alimentación. El proceso de control es afectado por factores tales como: características físicas del medio, ventilación, características del agua residual a tratar (temperatura, pH, sustancias tóxicas, etc.) y cargas hidráulicas.

1.6.1. Revisión del gasto de alimentación

En la evaluación del tratamiento y en la corrección de algunos problemas específicos, el gasto de alimentación juega un papel importante. Frecuentemente el gasto o caudal aplicado causa una sobrecarga hidráulica u orgánica en el proceso de tratamiento. Algunas observaciones que deben de tomarse en cuenta para controlar el proceso son las siguientes:

- Suministrar un flujo constante durante la noche o cuando se presenten los gastos mínimos para mantener la carga hidráulica.
- Controlar la eficiencia del proceso por medio del flujo de alimentación.

1.6.2. Control del proceso

Controlar un proceso de tratamiento con este sistema de lagunas implica seleccionar apropiadamente los parámetros operacionales tales como gastos de alimentación y cargas hidráulicas por manejar, así como el rendimiento esperado. La alimentación continua del caudal al sistema es fundamental ya que es importante mantener una carga hidráulica y orgánica constante. La alimentación continua se utiliza para minimizar problemas operacionales y tiene como ventajas:

- Mantener el crecimiento biológico.
- Diluir los desechos tóxicos haciéndolos más fáciles de tratar.
- Minimizar las variaciones de cargas hidráulicas y orgánicas.
- Minimizar olores, taponamientos y formación de moscas al aumentar la carga hidráulica.

Las desventajas que se presentan durante una mala alimentación de agua son:

- Se reduce la temperatura del agua de desecho, lo cual disminuye la actividad biológica.
- Con gastos mayores aumenta la carga hidráulica pudiendo disminuir la eficiencia de los sólidos sedimentados si se sobrepasan las condiciones de diseño.

1.7. Muestreo y análisis de las aguas

Un buen procedimiento de muestreo es la clave para realizar los análisis de laboratorio. Una muestra debe tomarse de tal manera que revele las condiciones representativas que imperan en ese momento. Existen dos tipos de muestras que deben ser recolectadas dependiendo de su propósito: el *muestreo simple* consiste en tomar una porción de agua en un determinado momento. El *muestreo compuesto* consiste en tomar muestras a diferentes intervalos de tiempo y posteriormente combinarlas en volumen proporcionalmente al gasto observado en el momento del muestreo. Esta muestra compuesta representa las condiciones medias de calidad del agua durante el periodo de muestreo (NOM-001-SEMARNAT-2021, 2022).

- *Muestreo simple*. El muestreo simple presenta las características instantáneas del agua residual. Este muestreo debe de realizarse cuando se presentan las condiciones máximas de gasto (gasto pico). La toma de muestras debe hacerse en diferentes puntos, localizados estratégicamente a lo largo del proceso, de tal manera que sigan la secuencia del recorrido del agua. Los tiempos de muestreos deberán de ser tales, que tomen en cuenta el tiempo de retención del agua cruda en cada estructura o equipo. La idea, a grandes rasgos, consiste en seguir las modificaciones de calidad que sufre una partícula de agua a lo largo de su recorrido en la planta.
- *Muestreo compuesto*. El muestreo compuesto presenta las características del agua residual durante un periodo de tiempo (lo ideal es que este periodo de tiempo sea de un día). El procedimiento consiste en tomar muestras simples, por ejemplo, cada hora durante las veinticuatro horas del día y posteriormente formar una muestra compuesta. El día de muestreo puede tomarse al azar o bien prefijarse según los días de la semana para un determinado mes. Por lo general se toma el afluente a la planta y los efluentes de cada estructura de la línea de agua.

Las muestras simples deben ser debidamente refrigeradas y preservadas para que la compuesta sea representativa. Un volumen aproximadamente de 3 L de muestra compuesta es suficiente para realizar los análisis de laboratorio. En la tabla 4 se indica una lista de parámetros, donde se especifican la cantidad de muestra que se

necesita tomar, el tiempo de almacenamiento y de conservación, si se requiere. Asimismo, en la tabla 1.5 (ver página 39) se muestra la lista de los parámetros comunes para monitorear el proceso de tratamiento.

Se indica a continuación el procedimiento de cálculo para determinar la cantidad de muestras a tomar en cada muestreo simple y formar, posteriormente, la muestra compuesta:

Ejemplo:

A. Datos requeridos

Gasto al momento del muestreo = 80 L/s

Volumen de muestra compuesta requerida = 3 L = 3000 ml

Número de muestras simples que formaran la muestra compuesta
= 8 (por ejemplo)

Gasto promedio diario = 90 L/s

B. Determine la cantidad de muestra a tomar para formar la muestra compuesta.

Tabla 4

Tiempo de almacenamiento, conservación y volumen de muestras para análisis de laboratorio

Parámetro	T. máx. de almacenamiento	Tipo de envase	Conservador	Volumen requerido
Temperatura	---	Polietileno o vidrio	Determinar en el sitio	Si es necesario extraer una muestra de 1 L
Temperatura ambiente	---	---	Determinar en el sitio	---
Oxígeno disuelto	8 hrs.	Botella tipo Winkler	Determinar en el sitio o fijar con 2 ml de sulfato manganoso y refrigerar a 4 °C.	300 ml
DBO ₅	24 hrs.	Polietileno o vidrio	Refrigeración a 4 °C.	1000 ml, puede utilizarse muestras simples o compuestas
Sólidos sedimentables	24 hrs.	Polietileno o vidrio	Refrigeración a 4 °C.	1,200 ml
Sólidos suspendidos totales	7 días	Polietileno o vidrio	Refrigeración a 4 °C.	500 ml
Nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos	7 días	Polietileno o vidrio	H ₂ SO ₄ a pH de 1.5 a 2.0 y Refrigeración a 4 °C.	2,000 ml
DQO	28 días	Polietileno o vidrio	H ₂ SO ₄ hasta pH menor que 2 y refrigeración a 4 °C.	1,000 ml
pH	2 hrs.	Polietileno o vidrio	Determinar en el sitio Si es necesario refrigerar a 4 °C.	100 ml
Fósforo total	28 días	Polietileno o vidrio	Refrigerar a 4 °C.	500 ml
Cloro residual	Determinar inmediatamente	Polietileno o vidrio	----	500 ml
Coliformes	6 hrs.	Frascos de vidrio esterilizado	Refrigerar a 4 °C. 0.1 ml de tiosulfato de sodio, para inhibir la acción del cloro que pueda contener la muestra	500 ml

Nota. Fuente: Normas Oficiales Mexicanas de Análisis (SCFI). Arce (2004), Gómez y Sánchez (2004) y Tomasini (2004).

1.7.1. Programa de muestreo

La frecuencia con que debe tomarse una muestra y la determinación de los lugares de muestreo varía de acuerdo con la complejidad del sistema, con la capacidad de laboratorio que se tenga y el cuidado que se deba de dar al efluente para su uso posterior.

Tabla 5

Monitoreo de los parámetros básicos en el proceso de tratamiento

Parámetro	* Punto de Muestreo	Frecuencia	Rango
Flujo (L/s)	Afluente	Diario	48.15 - 388 L/s
	Efluente final		
Temperatura C	Afluente	Diario	Variable
	Efluente final		No mayor de 40 °C
Grasas y aceites	Afluente	Diario	Variable
	Efluente final		No mayor de 25 mg/L
Sólidos sedimentables	Afluente	Diario	Variable
	Efluente lagunas	Variable	-
	Efluente final	Diario	No mayor de 2 ml/L
Sólidos suspendidos totales	Afluente	Diario	Variable
	Efluente lag. anaerobia	Variable	-
	Laguna facultativa	Variable	1000 - 4500 mg/L
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Efluente final	Diario	No mayor de 125 mg/L
	Afluente	Diario	Variable
	Efluente lag. anaerobia	Variable	-
Demanda química de Oxígeno (DQO)	Laguna facultativa	Variable	-
	Efluente final	Diario	No mayor de 150 mg/L
	Afluente	Diario	Variable
Nitrógeno total	Efluente lag. anaerobia	Variable	-
	Laguna facultativa	Variable	-
	Efluente final	Diario	No mayor de 100 mg/L
Nitrógeno total	Afluente	Diario	Variable
	Efluente filtro rociador	Variable	-
	Efluente final	Diario	No mayor de 60 mg/L

Parámetro	* Punto de Muestreo	Frecuencia	Rango
Fósforo total	Afluente	Diario	Variable
	Laguna facultativa	Variable	-
	Efluente final	Diario	No mayor de 30 mg/L
Oxígeno disuelto	Afluente	Diario	Variable
	Laguna anaerobia	Variable	2-4 mg/L
	Laguna facultativa	Variable	Mayor de 1 mg/L
	Efluente final	Diario	2-6 mg/L
pH	Afluente	Diario	Variable
	Laguna anaerobia	Variable	6.5 - 8.5 unidades
	Efluente final	Diario	5-10 unidades
Organismos coliformes	Efluente final	Diario	1000 - 2000 UFC/100 ml

Nota. La determinación de los organismos coliformes se deberá realizar cuando el proceso de la planta se encuentre estable. Una vez que el proceso esté estabilizado, la determinación de los parámetros puede llevarse a cabo diariamente, a excepción de las decisiones del organismo operador (ver los puntos de muestreo en el diagrama de flujo que se encuentra en el anexo de este libro). Fuentes: Normas Oficiales Mexicanas de Análisis (SCFI). Arce (2004), Gómez y Sánchez (2004) y Tomasini (2004).

1.8. Fallas en la planta y su control

Lo primero que debe hacerse cuando inician los síntomas de una falla en alguno de los procesos de la planta es identificar la causa del problema. Solo después de identificar su verdadera causa, se puede formular la mejor solución. Los síntomas deben servir de guía para determinar el origen del problema (Hammer, 1977; WPCF, 1990; Crites y Tchobanoglous, 2000).

1.8.1. Corrección de fallas

Se debe tener en cuenta que usualmente las causas de los problemas que se presentan súbitamente son fáciles de identificar, mientras que los problemas persistentes se han desarrollado gradualmente y, muchas veces, sus causas son difíciles de determinar. Una vez que se ha notado el problema, se debe caracterizar, para lo cual se recaba la mayor cantidad de información posible que esté relacionada con el

caso. Una vez hecho esto, la causa se puede identificar basándose en la interpretación de los datos compilados, experiencias de operación y si hay varias causas posibles, a través de un proceso de prueba y eliminación. Una vez definida la causa se pueden desarrollar e implementar las acciones correctivas para resolver el problema. En resumen, los pasos a seguir son:

- a) Anotar y describir el problema.
- b) Caracterizar los síntomas del problema y sus efectos secundarios.
- c) Comparar las características del problema con probables causas asociadas.
- d) Si son varias las causas posibles del problema, desarrollar un enfoque que permita probar las causas y eliminar aquellas que no sean factibles.
- e) Desarrollar e implementar las medidas correctivas para resolver el problema.

1.8.2. Problemas típicos de operación

A. Baja remoción de DBO₅ soluble

Antes de confirmar un problema de baja remoción de DBO₅ soluble, se deben satisfacer dos condiciones: 1) todos los análisis de DBO₅ que se realicen para verificar tal condición deben emplear muestras filtradas de acuerdo con los métodos estándares; 2) la DBO₅ soluble efluente debe ser más alta que las concentraciones de operación normal o de diseño. La baja remoción de DBO₅ soluble puede ser causada por varios factores. Considerando que el diseño del sistema es adecuado y que el equipamiento es funcional, el motivo de la baja remoción de DBO₅ puede deberse a diferentes factores que se exponen a continuación.

B. Cargas orgánicas

Las cargas en el afluente pueden causar baja remoción de DBO soluble en dos casos: la carga orgánica es variable en concentración y carácter. La primera condición es relativamente fácil de confirmar a partir de los análisis del agua y las mediciones de gasto. El segundo caso está relacionado con cargas orgánicas de choque, éstas se pueden determinar con un estudio de muestreo que dé como resultado

un panorama representativo de la variabilidad de las características del agua residual que recibe el sistema. La variabilidad experimentada con la mayoría de los sistemas está más relacionada con las operaciones industriales-comerciales, dadas las características de las descargas de estos sectores, que generalmente están sujetas a cambios debidos a los calendarios de producción variable. Por tanto, el programa de muestreo debe considerar a los usuarios industriales-comerciales y sus calendarios de operación. En el caso de que se presenten variaciones severas en las cargas orgánicas (cambios del 25 % o mayores), puede requerirse una regularización del afluente o pretratamiento industrial. Es decir, con mayor carga se reducirá el gasto de alimentación de la planta, o será necesario dar un pretratamiento al agua de origen industrial antes de que entre a la PTAR.

C. Sustancias tóxicas o inhibitorias

Cuando se presenta una condición tóxica aguda, que se caracteriza por una destrucción masiva de la población biológica del sistema, lo más probable es que se deba a una descarga ilegal al sistema de tratamiento. La acción correctiva consiste en alimentar la masa biológica activa remanente para retornar a las condiciones saludables, estableciendo un medio ambiente óptimo y, de ser necesario, suministrando al sistema una siembra biológica de una fuente externa. Los efectos de la toxicidad crónica son típicamente causados por sustancias que gradualmente vienen a estar más concentradas dentro de las células biológicas, debido a la recirculación continua de microorganismos al proceso central de tratamiento. Las principales sustancias que producen tal efecto son los metales pesados.

D. Bajas temperaturas extremas

La actividad microbiana presente en las lagunas desciende durante los meses muy fríos. Esto puede dar como resultado una reducción en la eficiencia de remoción de la DBO_5 . Sin embargo, este tipo de problemas no es probable que se presenten en el proceso de tratamiento, ya que en la región la temperatura promedio es superior a 25 °C.

E. pH fuera del rango óptimo

La mayoría de los sistemas biológicos tienen un buen funcionamiento cuando operan en un rango de 6.5 a 8.5. Cualquier operación

prolongada fuera de este rango puede causar un efecto tóxico en los microorganismos y una baja en la eficiencia del tratamiento. Por tanto, cuando se note que la eficiencia se reduce, uno de los primeros parámetros a verificar por el operador es el pH. Si está fuera del rango, se debe tomar acción inmediata para ajustar el pH mediante la dosificación de un ácido o un álcali. En el caso que el pH del agua residual esté fuera de rango de forma prolongada, se debe instalar un sistema permanente para ajustarlo, o implantar una estrategia de control para monitorear y regular la fuente que genera el alto o bajo pH.

1.9. Mantenimiento

Es necesario mantener en buen estado los equipos e instalaciones auxiliares que forman parte del proceso de la PTAR. Un rendimiento óptimo se mantendrá siempre y cuando se sigan las precauciones y procedimientos establecidos en este documento, el cual deberá ser complementado por todos y cada uno de los manuales de los equipos que están instalados, de tal manera que puedan ser correctamente realizadas las actividades de instalación, operación y mantenimiento. Para tener un equipo en operación continua y satisfactoria, debe seguirse un procedimiento de inspección regular para reemplazar partes gastadas o dañadas antes de que se vuelvan inseguras. Los intervalos de inspección deben determinarse de forma individual para cada equipo, y ser coherentes con el tipo de trabajo al que se somete el equipo y el grado de su exposición al desgaste, deterioro y fallas de los componentes críticos. En caso de que existan dudas sobre las características de los equipos, su instalación, ajustes, proceso de arranque y operación normal, deberán comunicarse a los fabricantes para solicitar información precisa y confiable. Con el objeto de identificar y poder consultar cada uno de los manuales proporcionados por los proveedores, se debe contar con una relación de los equipos e instalaciones auxiliares, indicando la marca correspondiente. Los sistemas naturales como las lagunas deben ser verificados periódicamente para asegurar que el agua fluya a través de los estanques, que el aumento de residuos no bloquee los pasos de flujo, y que no se desarrollen áreas de estancamiento que promuevan la existencia de mosquitos. Deben verificarse regularmente los flujos y niveles de agua.

1.9.1. Mantenimiento preventivo

Conservar un ambiente saludable para los microorganismos. Los sistemas deben controlarse periódicamente para observar las condiciones generales del sitio y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable. Las lagunas están sujetas a cambios graduales de año en año. Puede haber tendencia a que algunas especies de microorganismos mueran y sean reemplazadas por otras. Debido a los cambios de los microorganismos, es necesario conocer el mecanismo de su regeneración después de cambios bruscos de pH y temperatura. El aumento de los sedimentos acumulados, así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad de almacenamiento de agua, afectando la profundidad de ésta con el tiempo y posiblemente alterando las velocidades de flujo. Los sedimentos, la capa de residuos, y la profundidad del agua deben verificarse de vez en cuando.

A. Vegetación

El manejo del nivel del agua es la clave para que no se establezcan especies de vegetación enraizadas, pues existen plantas de humedal que al establecerse pueden tolerar cambios temporales en la profundidad del agua, debe tenerse cuidado de no exceder los límites de tolerancia (disminuir la profundidad) ya que las especies podrían establecerse en el sistema lagunar. La profundidad del agua puede aumentarse durante los meses fríos, incrementando así el tiempo de retención y previniendo las bajas temperaturas. La cubierta vegetal en los diques debe mantenerse para desarrollar una capa de tierra buena con sistemas de raíz extensos que resistan a la erosión. La vegetación debe ser inspeccionada regularmente y deben quitarse las especies invasoras. No deben utilizarse herbicidas, excepto en circunstancias extremas y con cuidado extremo.

B. Control de fauna nociva

Los roedores pueden dañar los diques y la impermeabilización, por tanto, deben tomarse las medidas necesarias para evitar que esto ocurra, inclusive atrapar y retirar estos animales hasta que pueda instalarse una cerca de alambre. Las madrigueras también pueden ser selladas poniendo bentonita en la entrada. Los mosquitos son comunes en los sistemas naturales y son de esperarse en lagunas de estas índoles, la mejor manera de evitarlos es crear condiciones

poco atractivas para los mosquitos y que no promuevan el desarrollo de larvas. Los lugares abiertos con agua estancada son un excelente hábitat y los nutrientes son ideales para el desarrollo larval, pero cuando el agua está en movimiento se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos.

C. Control de algas

El brote de algas se propicia por la presencia de luz solar y nutrientes como nitrógeno y fósforo. Debido a la gran incidencia de luz solar en las celdas purificadoras, se puede observar durante el verano un florecimiento vigoroso de algas. Para controlar esta situación recomienda la introducción de “lentejilla”, *Lemna*, que es una planta con la ventaja de cubrir la superficie libre del agua eliminando el florecimiento de algas, aunque posteriormente es necesario removerla.

D. Las instalaciones

Deben inspeccionarse diques, vertederos, y estructuras de control de agua de forma regular e inmediatamente después de cualquier anomalía en el flujo. Los humedales deben verificarse después de incrementos importantes de caudal, ya que pueden afectar el sustrato, particularmente a las estructuras de salida. Cualquier daño, corrosión u obstrucción, debe corregirse lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones que podrían ser costosos.

1.9.1.1. Seguridad

Es de gran importancia establecer normas que permitan crear una cultura de seguridad y calidad en el trabajo, que resguarden la integridad física de las instalaciones así como la del personal que tiene acceso a éstas, por lo tanto se sugiere que se exija al personal el uso obligatorio de equipo de seguridad, como: cascos, gafas protectoras, guantes, caretas, petos, mangas, calzado industrial, tapones auditivos, ropa de trabajo adecuada, fajas, etc. De igual forma, es recomendable tener siempre cargados los extintores de incendio en los puntos estratégicos: subestaciones eléctricas, edificio de cloración para la segunda etapa, edificio administrativo, laboratorio y centros de control de motores. Asimismo, es importante señalar las áreas de acceso restringido: subestaciones, centros de control de motores, laboratorios, edificio de cloración, etc.; a los cuales únicamente el personal autorizado tiene permitido el acceso, además

de que se deben mantener estas áreas siempre cerradas o cercadas, limpias, libres de obstáculos y en condiciones óptimas para evitar accidentes. Se recomienda que las trincheras se mantengan siempre con las tapas colocadas, limpias, con los soportes en buen estado, manteniendo los ductos eléctricos sellados, y sobre todo no pintar las placas de datos de los equipos, sino protegerlas con un buen barniz marino. Se recomienda que el personal que integre la operación y mantenimiento de la PTAR organice de forma voluntaria brigadas de protección civil: brigadas contra incendios, evacuación, primeros auxilios, rescate, etc. (IMSS, 1987; OIT, 1990; OIT, 1997; STPS, 1995; STPS, 1997; Asfahl, 2000).

1.9.1.2. Almacenamiento

Se deben tomar todo tipo de precauciones al momento de recibir equipos, refacciones, y materiales, los cuales deben ser revisados minuciosamente, verificando cada pieza y/o unidad del embarque para evitar faltantes y daños a los mismos. En caso de detectar alguna anomalía se deberá notificar de inmediato al proveedor de cualquier faltante o daño sufrido. Durante el transporte de refacciones, equipos o materiales del almacén hacia su lugar operativo se deberá evitar sostenerlos o alzarlos de manera tal que se impongan esfuerzos indebidos sobre cualquier parte que no ha sido diseñada para resistir el peso total de la unidad. Se debe usar el equipo apropiado para alzar los equipos, refacciones o materiales durante la remoción o instalación de estos. Se sugiere recurrir al fabricante para verificar el correcto izaje, instalación, anclaje y/o transporte de los equipos o partes requeridas. A continuación, se indican las precauciones que deben tomarse:

- Usar ropa adecuada, herramientas y métodos apropiados para manejar los equipos, refacciones y materiales, de otra manera pueden ocurrir accidentes serios.
- Jamás se deberá arrastrar el equipo, ya que esto causa daños a las superficies maquinadas y a la capa protectora de las superficies, y puede forzar la unidad, deteriorando de alguna manera su ensamble.
- Al momento de instalar un equipo, después de darle mantenimiento, se debe verificar que las superficies estén libres de piedras, residuos de material de construcción, herramientas, fierros, etc. Y que dicha superficie cuente con los accesorios

suficientes y correctos para instalar el equipo (anclas, pernos, tornillos de nivelación, juntas, etc.).

En caso de que sea necesario demorar la instalación y operación correspondiente de una unidad por más de un mes, se deben tomar precauciones especiales como sea posible, todos los equipos, refacciones o materiales deben ser almacenados en un lugar seco y abrigado, con una temperatura relativamente estable si no se cuenta con almacén interno. La unidad debe ser colocada sobre largueros y cubierta con una capa u otra protección apropiada. Nunca se debe encerrar la unidad y/o sus componentes correspondientes con capas plásticas completamente cerradas, siempre debe preverse una ventilación adecuada para evitar condensación.

1.9.2. Programa de mantenimiento

1.9.2.1. Objetivos de un programa de mantenimiento

El objetivo de una PTAR es entregar un producto de calidad, es decir, agua tratada que cumpla con las condiciones particulares de descarga establecidas. La PTAR necesita de un mantenimiento continuo para funcionar de manera segura, eficiente y rentable. Si una de las unidades del sistema falla, el sistema queda operando en un módulo, el resultado final sería un efluente con calidad inferior a la esperada. Se sabe que una gran cantidad de plantas de tratamiento no cumplen con las condiciones de descarga de DBO₅, SST y otros contaminantes. Una de las principales causas de que no cumplan con estos parámetros es la falta de implementación de un programa de mantenimiento. Un programa de mantenimiento balanceado es aquel donde se llega al equilibrio entre mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. La inspección periódica de equipos e instalaciones puede detectar futuros problemas que son posibles de resolver de forma económica antes de que lleguen a un estado crítico, y no después de que el equipo o sistema haya fallado, lo cual puede repercutir en reparaciones costosas.

El programa integral de mantenimiento debe ser implementado por el personal de alto nivel del organismo operador y de la PTAR. El personal podrá fortalecer el programa apoyando en todo momento para asegurar el cumplimiento de las metas. El programa de mantenimiento debe quedar contemplado en las políticas y procedimientos del organismo operador. Entre las funciones que deben

realizarse en la PTAR para alcanzar sus objetivos, el departamento de mantenimiento generalmente se responsabiliza de lo siguiente:

- Comunicación con el departamento de operación para asegurar el trabajo exitoso de la PTAR y la aplicación adecuada del programa de mantenimiento.
- Cumplimiento de lineamientos, procedimientos y políticas para lograr una comunicación adecuada con el departamento de administración de la PTAR.
- Establecer, implementar y operar el programa de mantenimiento preventivo.
- Planear y programar los presupuestos y finanzas del departamento operador.
- Manejo de inventarios, materiales y proveedores.
- Programas de capacitación y seguridad para el personal de la PTAR.
- Controlar la ejecución de las reparaciones y trabajos, además de asegurarse de que sean de calidad.
- Establecer un plan de emergencias y un manual de procedimientos para la participación del personal durante una situación de emergencia.

Una vez que se han establecido los alcances y responsabilidades del departamento de mantenimiento, se puede estructurar su organigrama, el cual debe mostrar su interrelación con el departamento de operación y administración de la PTAR. Se debe tener un centro de información que conjunte todas las partes del departamento de mantenimiento, esto se ejemplifica en la figura 2.

La programación del mantenimiento permite utilizar al personal, equipos y herramientas y partes de repuesto de la manera más eficiente. El objetivo principal de esta programación es asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y unidades de la PTAR para obtener efluentes de alta calidad.



Figura 2. Centro de información del departamento de mantenimiento.

Nota. Elaboración propia.

1.9.2.2. Control de inventarios

Dentro del departamento de mantenimiento, se deben almacenar partes de repuesto y materiales para hacer reparaciones a tiempo. La mejor forma de clasificar los materiales en el almacén es de la manera en que se explica a continuación.

A. Partes de repuesto

Son piezas especiales de los equipos que el fabricante recomienda o que el operador ya con experiencia en el mantenimiento de equipos puede predecir. Estas piezas se destinan a corregir fallas potenciales en los equipos, partes que son vulnerables o se desgastan, y son difíciles de obtener o con tiempos de entrega muy largos. La decisión de almacenar estas partes se basa en la importancia de cada una para el correcto funcionamiento de la PTAR.

B. Materiales de uso normal

Consiste en piezas o materiales de uso diario en actividades de mantenimiento. Estas piezas integran el volumen mayor del almacén y

son piezas como: válvulas, piezas especiales de tuberías, baleros, bandas, sellos, conductores eléctricos, relevadores, fusibles, etc. Deben ser almacenados para permitir tareas de mantenimiento y minimizar compras de emergencia. Por otra parte, se debe establecer un sistema de control de inventarios ya sea manual o computarizado, para tener controlado al almacén. Los componentes del sistema de inventarios incluyen archivo maestro, facturas recibidas, requisiciones al almacén, identificaciones de materiales y partes, catálogo de partes, manejo de materiales y partes, entrega de materiales, actualización de archivos, órdenes de compra, contabilidad, partes regresadas, reportes, etc.

1.9.2.3. Coordinación entre operación y mantenimiento

Para que la PTAR funcione efectivamente, debe existir una comunicación abierta entre los departamentos de operación y el de mantenimiento. La comunicación es muy importante, puede ser verbal o escrita, la escrita va desde una simple nota hasta un reporte bien detallado de la acción de mantenimiento a ejecutar; la verbal desde pláticas informales hasta juntas periódicas de trabajo de carácter formal. Como regla general, el personal no debe olvidar dos cosas: primero no tener temor de comunicarse y segundo, la comunicación se logra solo cuando ambas partes han entendido de lo que se está hablando. Los principales aspectos que intervienen en la coordinación de ambos departamentos incluyen: el tamaño de la PTAR, los niveles de comunicación, la organización del personal y las directrices en actividades de operación y mantenimiento.

1.9.3. Mantenimiento de equipo electromecánico

La PTAR requiere para su operación continua y eficiente de un mantenimiento adecuado, el cual debe ser programado oportunamente, de acuerdo con los tipos de equipos y las especificaciones de los fabricantes. Existen dos tipos de mantenimiento en la PTAR y estos son: el preventivo y el correctivo. En el primer caso el mantenimiento se realiza, como su nombre lo indica, para prevenir problemas mayores o colapsos en los equipos; el segundo se realiza para corregir un problema mayor en los equipos, originado por no contar con un mantenimiento preventivo adecuado.

1.9.3.1. Mantenimiento preventivo

Es la inspección periódica de equipos y mecanismos para descubrir fallas en desarrollo que lleven a la descompostura o deterioro de los equipos, y realizar acciones para corregir a tiempo dichas fallas. Si queda fuera de servicio una parte de la PTAR esto puede causar que falle todo el proceso al no cumplir con los niveles de descarga, y el volumen de tratamiento de agua residual. El mantenimiento preventivo, cuando se aplica adecuadamente, reduce los costos por mantenimiento correctivo e incrementa la eficiencia y longevidad de los equipos. Una buena planeación del mantenimiento preventivo debe estar bien pensada, bien organizada y apropiadamente manejada, esto consiste básicamente en tres partes:

- a) Programación de inspecciones periódicas, lubricación, ajuste y otros servicios a la maquinaria, equipo y estructuras.
- b) Registro de reparaciones, alteraciones y reemplazos.
- c) Desarrollo de un método de costos contables para las diferentes partes del programa de mantenimiento preventivo.

Cada uno de estos procesos debe ser sencillo, puntual y preciso. Un programa sólido debe elaborarse sin restricciones de tiempo, dinero, reparaciones y reemplazos. La operación y mantenimiento eficiente de la PTAR consiste en:

- Conservar fondos, evitando reemplazos prematuros de equipos.
- Minimizar reparaciones mayores.
- Incrementar el funcionamiento de la PTAR al mantener los equipos en condiciones óptimas.
- Controlar la disponibilidad de partes de repuesto.
- Asegurar que se cuenta con herramienta y equipos necesarios cuando se asignen trabajos de mantenimiento.

El programa de mantenimiento preventivo necesita ser revisado anualmente por el personal directivo del organismo operador de la PTAR, para evaluar si se alcanzarán los objetivos planteados. El propósito de la revisión es encontrar fallas al programa de mantenimiento y realizar acciones correctivas.

1.9.3.2. Mantenimiento correctivo

Es el conjunto de intervenciones no programadas para efectuar reparaciones o cambios de emergencia. Con la finalidad de regresar el equipo o instalación a su inmediato estado operacional que tenía antes de producirse la falla que lo dejó fuera de operación. Realizar un mantenimiento correctivo implica costos extraordinarios y reduce la vida útil de los equipos, ya que, al momento de producirse la falla, se saca inmediatamente de operación el equipo para determinar la causa. En caso de que sea una reparación mayor, se recomienda instalar un equipo nuevo.

Es de suma importancia observar lo siguiente cuando falla un equipo:

- Desconectar el equipo de la corriente (dejar fuera el equipo).
- Registrar por escrito el momento en que se deja fuera de servicio.
- Reemplazar los elementos dañados.
- En caso de falla mayor, cambiar el equipo.
- Checar el sistema antes del reinicio de la operación.
- Restablecer la energía.
- Arrancar el equipo y observar el funcionamiento del elemento cambiado.
- Registrar el momento en que se deja en operación el equipo.

1.10. Personal de operación

1.10.1. Requerimientos de personal

Para garantizar la operación eficiente de la PTAR, es de vital importancia contar con el siguiente personal y realizar actividades en forma continua, ya que el sistema de tratamiento no puede operar de acuerdo con horarios y requerimientos aleatorios. La operación de la planta se debe realizar en forma continua, durante las 24 horas del día y durante los 365 días del año. Para cumplir con lo anteriormente expuesto se recomienda distribuir al personal de acuerdo con la siguiente gráfica, de esta forma la operación continua permite llevar el control de la PTAR. Finalmente, la cantidad de personal

será determinada de acuerdo con la habilidad de los operadores y a las posibilidades del organismo operador.

Tabla 6

Requerimientos de personal para la operación de la PTAR

Personal	Turnos				Total
	Horario Normal	Primero 7-15	Segundo 15-22	Tercero 22-7	
Supervisor	1	---	---	---	1
Técnico eléctrico	---	1	1	---	2
Técnico mecánico	---	1	1	---	2
Operadores	---	1	1	1	3
Ayudantes de operación	---	1	1	1	3
Laboratorista	---	1	1	---	2
Vigilantes	---	1	1	1	3
Total	1	6	6	3	16

Nota. Elaboración propia.

1.10.2. Actividades generales del personal

A. Supervisor de la planta

Sus actividades son las que están relacionadas con la administración en general de la planta, tanto de recursos económicos, humanos, así como la supervisión del funcionamiento del sistema de tratamiento.

B. Supervisor

El supervisor es la persona que se encarga de vigilar que los operadores lleven a cabo las actividades de rutinas para la operación de la planta. Esta persona tendrá la responsabilidad en forma directa del funcionamiento de todo el sistema. El supervisor recibirá órdenes del jefe o subjefe de la planta, y es auxiliar del laboratorio para verificar las condiciones de operación del proceso.

C. Operadores

Estas personas compartirán la responsabilidad que tiene el supervisor con el fin de cubrir a éste en caso de ausencia, o para supervisar

actividades específicas de operación y mantenimiento de la planta. Estos llevarán a cabo todas las actividades que forman parte de la operación de la planta. Las actividades consistirán en hacer limpieza, remover basuras, abrir válvulas para la extracción de lodos, eliminar natas, tomar lecturas para medición de flujo (afluente-efluente), así como dar mantenimiento preventivo o correctivo a los equipos de proceso. Estas personas se auxiliarán del personal de apoyo para realizar las actividades anteriores. Los días de trabajo de los operadores se ajustarán con el fin de cubrir el día de descanso de cada uno de ellos.

D. Técnico eléctrico

Esta persona estará bajo cargo del supervisor y realizará actividades de mantenimiento y reparación del equipo, materiales y accesorios del tipo eléctrico. El técnico se apoyará en el personal de operación para realizar las actividades antes mencionadas.

E. Técnico mecánico

Esta persona estará bajo el cargo del supervisor y realizará actividades de mantenimiento y reparación del equipo, materiales y accesorios del tipo mecánico. El técnico se apoyará con el personal de operación para realizar las actividades antes mencionadas.

F. Técnico laboratorista

Esta persona estará a cargo del monitoreo de calidad del agua, tanto de entrada como de salida. Además de llevar el control del proceso de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento. El laboratorista informará y dará instrucciones al supervisor para realizar los ajustes necesarios para obtener la calidad apropiada en el efluente. Se apoyará en los ayudantes de los operadores para el monitoreo y toma de muestras.

G. Ayudantes de operación

Estas personas ayudarán a los operadores a realizar las actividades encomendadas y cubrir el turno del operador que tenga día de descanso, de acuerdo con las prestaciones del operador.

H. Vigilante

Esta persona estará a cargo de la vigilancia y seguridad dentro de la PTAR. Llevará un control de la entrada y salida del personal y el material dentro de las instalaciones, con el fin de evitar la salida injustificada del personal, e incluso evitar la pérdida de herramientas, material u objetos personales de los operadores.

1.10.3. Organigrama

El personal debe trabajar bajo una cierta jerarquía como se propone en el organigrama siguiente:

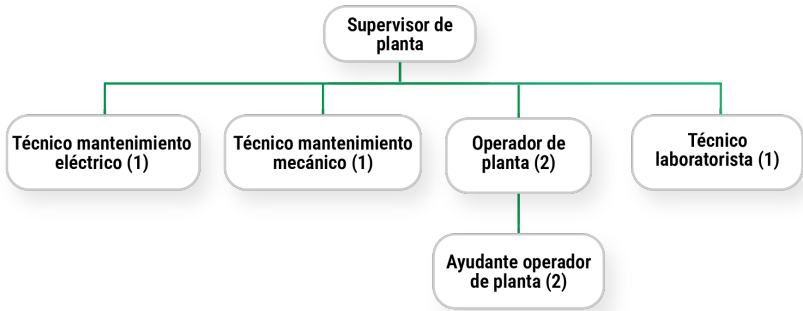


Figura 3. Estructura de la administración de la planta.
Nota. Elaboración propia.

1.10.4. Perfil del personal requerido

a) Supervisor de planta

Escolaridad: profesionista en ingeniería ambiental, química o similar.

Experiencia: en sistemas de tratamiento de aguas residuales, conocimiento de técnicas de análisis de aguas residuales e interpretación de resultados.

Aptitudes: don de mando, buena organización, iniciativa para desarrollar mejoras en el área de trabajo, tanto administrativa como operacional.

b) Operador

Escolaridad: estudios mínimos de secundaria.

Experiencia: conocimientos en operación de plantas de tratamiento de aguas residuales y/o plantas potabilizadoras.

Aptitudes: activo, con iniciativa para proponer cambios y mejoras en su área de trabajo.

c) Técnico en mantenimiento mecánico

Escolaridad: técnica en mecánica industrial.

Experiencia: en mantenimiento industrial, de preferencia en equipo de plantas de tratamiento.

Aptitudes: activo, aptitudes para el trabajo físico.

d) Técnico en mantenimiento eléctrico

Escolaridad: técnica en electricidad industrial.

Experiencia: en mantenimiento industrial, de preferencia en equipo de plantas de tratamiento.

Aptitudes: activo, aptitudes para el trabajo físico.

e) Laboratorista:

Escolaridad: química o técnica en análisis de aguas residuales.

Experiencia: en análisis de aguas residuales.

Aptitudes: activo, con iniciativa, buena organización.

f) Ayudante de operador:

Escolaridad: primaria.

Experiencia: no indispensable.

Aptitudes: activo, aptitudes para el trabajo físico, con deseos de aprender.

1.11. Seguridad e higiene

1.11.1. Seguridad e higiene en el sistema de tratamiento

Para prevenir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, recuperar y/o conservar el equilibrio ecológico y para mantener la sustentabilidad del recurso, a través del reúso y manejo apropiado de las aguas residuales; los sistemas de tratamiento son, por esencia, la herramienta fundamental para el logro de estos objetivos. A través de estos sistemas se mejora la calidad de las aguas residuales y se propicia la liberación de grandes volúmenes de agua de primer uso, mediante su reutilización e intercambio se protege la ecología en los cuerpos receptores y se previenen enfermedades de origen hídrico. Independientemente de los grandes beneficios que representan la construcción, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento, este proyecto demanda cuantiosas inversiones y la necesidad de contar con recursos humanos calificados para asegurar su operación oportuna y eficiente, proteger las inversiones, así como la salud y seguridad del personal.

En México, para el 2023, se reportaron 2,928 PTAR instaladas de diferentes tipos, de las cuales se tenían una capacidad instalada de 196 442.7 L/s, tratando 143 568.2 L/s; es decir, sólo tratan el 73 % del volumen para el cual fueron diseñadas (CONAGUA, 2023). Se reportó que 139 PTAR no funcionaban, estas son generalmente de baja capacidad de tratamiento, se encuentran abandonadas debido al poco presupuesto que se invierte para su operación y mantenimiento por parte del municipio o del organismo responsable de su operación, y por falta de personal técnico que lleve a cabo las funciones operativas de las mismas.

Además de no existir suficiente personal técnico especializado en esta área, otro de los problemas que influye en la mala operatividad de estos sistemas es el hecho de que en varias instalaciones no se llevan a cabo programas de capacitación, no cuentan con manuales de operación y mantenimiento y, se puede afirmar que en muy pocas de ellas existen manuales de seguridad e higiene que aseguren la salud y la integridad de sus operadores.

Ante la problemática que existe en las diferentes instalaciones y con la finalidad de estar a la vanguardia en el control de riesgos, prevención de accidentes de trabajo y en la seguridad e higiene

de los operadores, se elaboró este texto para que las personas que trabajan como operadores de plantas de tratamiento cuenten con una herramienta que les permita realizar y mejorar sus labores en un ambiente de trabajo sano y seguro para ellas, y para la sociedad en general.

Este apartado es sencillo, pero de gran importancia, ya que la seguridad de los trabajadores, de las instalaciones y de la propia comunidad aledaña dependerá de sus conocimientos y de las acciones que el personal lleve a cabo para cumplir eficientemente con su trabajo, manteniendo su integridad y las de los demás en caso de riesgos. El prestador del servicio del tratamiento será el responsable de los accidentes de trabajo y de las enfermedades profesionales de sus empleados sufridas con motivo o en ejercicio de su profesión o del trabajo que ejecuten, por lo tanto, deberán proporcionar un ambiente sano y seguro a sus operadores. Asimismo, el prestador del servicio estará obligado a observar, de acuerdo con la naturaleza de la infraestructura, los preceptos legales sobre higiene y seguridad en las instalaciones, a adoptar medidas para prevenir accidentes en el uso de equipos, instrumentos y materiales de trabajo, así como para organizar las instalaciones de tal manera que se pueda garantizar la salud y salvaguardar vida de los trabajadores.

Por otro lado, los operadores son los responsables de mantener en funcionamiento la planta de tratamiento, con o sin el apoyo de personal adicional (ayudantes). Estas personas realizan una serie de actividades que, en ciertos momentos, pueden influir en su seguridad e higiene, como: manejo de válvulas, lubricación de equipo, registro de datos, toma de muestras, reemplazo de equipo, cambio de cilindros o depósitos con químicos, manejo de lodos, operación de equipos, conexión de circuitos eléctricos, elaboración y dosificación de compuestos químicos, cuidado de la planta, conservación de jardines y pintura, entre otras actividades. Por lo anterior, en este apartado se describirán los principales procesos y operaciones unitarias que se llevan a cabo, los trabajos que se realizan en cada una unidad, los posibles riesgos de accidentes y las medidas de seguridad e higiene que se deberán aplicar basados en las siguientes recomendaciones (IMSS, 1987; OIT, 1990; OIT, 1997; STPS, 1995; STPS, 1997; Asfahl, 2000).

1.11.2. Pretratamiento

1.11.2.1. Cribado

Durante este proceso se remueven sólidos gruesos, como ramas, plásticos, latas, animales muertos, papeles, hojas, trapos y trozos de madera, entre otros. La remoción se realiza de manera manual en las cribas, donde se utilizan peines y/o cepillos para la remoción de los materiales atrapados y la limpieza. Las cribas tienen una inclinación de 45° con la horizontal, por lo que en el pasillo de acceso o área de labores no deberá haber basura ni materiales o piezas de equipos que puedan ocasionar accidentes. También, para evitar malos olores y proliferación de moscas y otros insectos, el material removido deberá almacenarse en contenedores con tapa para su posterior disposición. Si persisten malos olores se deberá retirar frecuentemente el material removido, o agregar una lechada de cal o cal viva para reducir la descomposición anaerobia del material removido. En la tabla de seguridad e higiene de la unidad de cribado se mencionan algunas de las causas y problemas que ocasionan riesgos y su forma de prevenirlos.

1.11.2.2. Desarenación

En este proceso se requiere la remoción continua de material inerte, la cual, de acuerdo con el diseño, se deberá hacer en forma manual. En este caso y en los demás, las áreas de acceso deberán estar limpias y libres de cables, grasas, aceites, partes de repuesto de equipos, basura y demás materiales que pueden causar riesgos de accidentes, como caídas e infecciones. Dejar que las arenas se acumulen provoca que los operadores tengan que hacer mayores esfuerzos y trabajos más pesados. Los dispositivos que se utilicen deberán ser de materiales ligeros y resistentes a la corrosión para evitar cortaduras que se pueden infectar o dolores musculares, entre otros daños. En la tabla de seguridad e higiene de la unidad de desarenación se mencionan algunas de estas causas y/o problemas que ocasionan riesgos y su forma de prevenirlos.

1.11.3. Sistema de lagunas

En las lagunas se deberá vigilar el funcionamiento de las cajas de cambio de nivel, para ello los operadores tienen que emplear su equipo de protección, inclusive hacer uso de salvavidas ya que muchos de ellos no saben nadar y generalmente trabajan en forma individual. Cuando existan taponamientos o se requieran reparaciones mayores se deben conformar grupos de trabajo y hay que vaciar las unidades, preferentemente. Para descender o introducirse en las unidades se deben utilizar equipos de seguridad para evitar que las escaleras resbalen, caigan los operadores y dañen su integridad física. Se requiere que estas unidades tengan escaleras seguras y libres de objetos que puedan limitar su acceso al momento de revisar el funcionamiento de sus partes móviles y para facilitar la toma de muestras.

1.11.4. Tanques de contacto con cloro

Respecto al tanque de contacto con cloro se debe vigilar que el difusor que suministra el químico funcione apropiadamente, para ello, el operador requiere equipo de protección como mascarilla y gafas protectoras, además del casco que será de uso obligatorio en todos los procesos de la planta. El operador no debe hacer ningún trabajo sin que antes haya parado el suministro de gas cloro en la unidad para evitar intoxicaciones, afectación a las fosas nasales e irritación en ojos y piel. En la tabla de seguridad e higiene del tanque de contacto con cloro se mencionan causas y problemas que ocasionan riesgos y su forma de prevenirlos.

1.11.5. Edificio de cloración

En el edificio de cloración se encuentra instalado un sistema detector de fugas de gas cloro, el cual consta de dos sensores y de un módulo receptor que cuenta con una alarma sonora para llevar a cabo las acciones necesarias de forma inmediata, en caso de fuga del químico. Dicho sistema puede detectar concentraciones en el rango de 0-50 ppm (partes por millón) de gas cloro en el aire, asimismo se fija el rango de detección deseado por medio de su unidad de control.



Figura 4. Sensor detector de fugas de gas cloro (Wallace and Tiernan).
Nota. Elaboración propia.



Figura 5. Módulo receptor con alarma sonora (Acutec 35 Wallace and Tiernan).
Nota. Elaboración propia.

La grúa o polipasto se deberá revisar frecuentemente y recibir mantenimiento oportuno, ya que un cilindro en peligro de caerse podría causar daños, no solamente a los operadores de la planta, sino también a los habitantes que se ubican en la zona aledaña a la planta por una posible fuga del gas cloro. Las tuberías, interconexiones, válvulas y accesorios en general deben ser revisados y mantenidos en condiciones apropiadas de funcionamiento, ya que esta área es de mayor riesgo en la PTAR. Se requieren los siguientes equipos para prever accidentes en el edificio:

- 2 mascarillas tipo canister para utilizarse únicamente cuando se realicen los cambios de los cilindros y la inspección rutinaria de los cabezales de alimentación de gas cloro a presión.
- 2 equipos de aire autónomo de la marca MSA, los cuales cumplen con las normas de seguridad de ANSI/NFPA-1981, 1997 y NIOSH, que cuentan con un cilindro de aire con una duración de 30 minutos. Estos equipos se complementan con los dos trajes totalmente encapsulados que no permiten el contacto del gas cloro con la piel. Los equipos serán utilizados cuando se presente una fuga masiva de gas cloro.
- El kit “B” de herramientas para llevar a cabo reparaciones de emergencia.



Figura 6. Colocación del equipo de aire autónomo.
Nota. Elaboración propia.

Es importante remarcar que las máscaras tipo canister, equipo de aire autónomo y el kit B de emergencia siempre deben mantenerse en condición de uso, lo cual está a cargo de la persona responsable de los equipos. Mas información detallada respecto a la seguridad se puede obtener consultando el Programa de Prevención de Accidentes (PPA) y el *Estudio del análisis de riesgo nivel 2* desarrollado para la PTAR. Por ser un área crítica, el personal debe estar capacitado y adiestrado tanto en la operación y manejo de los equipos como en las acciones a efectuar en caso de emergencia. En la tabla de seguridad e higiene de la caseta de cloración se mencionan causas y problemas que ocasionan riesgos y su forma de prevenirlos.

1.11.6. Subestación eléctrica

La subestación eléctrica debe estar aislada y protegida para evitar que cualquier operador pueda ingresar a ella, también es necesario nombrar a un responsable para que él sea el único encargado de revisar sus condiciones y de solicitar apoyo técnico especializado en caso de paro o deterioro del equipo. En la tabla de seguridad e higiene de la subestación eléctrica, se presentan algunas de las causas y problemas que ocasionan riesgos y su forma de prevenirlos.

1.11.7. Laboratorio

Los laboratoristas, independientemente de que estén ubicados en su área de trabajo deben cumplir con las normas de seguridad e higiene que establezca el responsable de la planta y el comité de seguridad e higiene que se encarga de vigilar que se cumplan dichas normas. Independientemente, las personas que laboran en los laboratorios deben estar protegidas con batas y cumplir con las condiciones de seguridad necesarias para el manejo de químicos y substancias tóxicas e inflamables, así como de aguas residuales y lodos. En la tabla de seguridad e higiene del laboratorio, se muestran algunas de las causas que ocasionan riesgos y su forma de prevenirlos.

1.11.8. Instalaciones generales

Todo el personal que labore en las instalaciones de la PTAR, como se mencionó, debe cumplir lo estipulado en los manuales y normas establecidas. Dependiendo de la función que desempeñe cada miembro del personal, debe contar con la ropa apropiada, calzado y equipo de seguridad reglamentario. En el caso del personal auxiliar o de apoyo, como jardineros e intendentes, administrativos y de vigilancia, éstos no pueden ingresar a las áreas operativas a menos que, en caso de accidentes o de emergencia, estén facultados para proporcionar el apoyo necesario para el resto del personal y las instalaciones.

1.11.8.1. Condiciones inseguras frecuentes

- Estructuras o instalaciones de los edificios y de las áreas diseñadas inadecuadamente, malas instalaciones o deterioradas.
- Falta de medidas de prevención y protección contra accidentes y riesgos en el trabajo.
- Instalaciones en los equipos mal diseñadas, construidas, armadas o en mal estado.
- Protección inadecuada, deficiente o inexistente en los equipos o en las instalaciones.
- Herramientas manuales, eléctricas, neumáticas y portátiles defectuosas o inadecuadas.
- Equipo de personal en estado defectuoso, inadecuado o faltante.
- Falta de orden y limpieza.
- Avisos o señales de seguridad e higiene insuficientes o faltantes.
- Falta de capacitación y adiestramiento del personal.

La seguridad e higiene en el trabajo es responsabilidad tanto de los trabajadores como del jefe de la PTAR.

1.11.8.2. Jefes o responsables del sistema de tratamiento

- Efectuar estudios en materia de seguridad e higiene en el trabajo para identificar las posibles causas de riesgo y accidentes de trabajo, y así poder adoptar medidas adecuadas para prevenirlos conforme a lo dispuesto en las normas y reglamentos respectivos.
- Elaborar el programa de seguridad e higiene, manuales y programas específicos en áreas de mayor riesgo.
- Integrar y operar comisiones de seguridad e higiene, dar facilidades para su óptimo funcionamiento.
- Determinar y conservar dentro de los niveles permisibles las condiciones ambientales dentro del centro de trabajo, empleando los procedimientos que establezcan las normas correspondientes y los resultados de los estudios realizados.

- Colocar avisos o señales de seguridad e higiene en lugares visibles de las diferentes áreas para prevenir riesgos, en función de las actividades que se desarrollen.
- Capacitar y adiestrar a los trabajadores sobre la prevención de riesgos y atención de emergencias, de acuerdo con las actividades que se desarrollan en la PTAR.
- Realizar vigilancia e inspecciones continuas, internas y externas, para verificar el cumplimiento de las medidas de seguridad e higiene.
- Proporcionar documentación a los trabajadores de la PTAR e informarles sobre los riesgos a los que están expuestos.
- Practicar exámenes periódicos y especiales a aquellos trabajadores que se encuentren en las áreas de mayor riesgo.
- Instalar y mantener en condiciones de funcionamiento equipos y dispositivos permanentes para los casos de emergencia y actividades peligrosas con el objetivo de salvaguardar la vida y salud de los trabajadores y proteger las instalaciones y el centro de trabajo.
- Realizar periódicamente simulacros de emergencia y riesgos.
- Cumplir con las disposiciones del manual, así como con las normas y reglamentos en materia.

1.11.8.3. Trabajadores del sistema de tratamiento

- Atender las medidas preventivas de seguridad e higiene que establece el manual, las normas y reglamentos en materia.
- Designar algunos miembros para participar en la integración y funcionamiento de la comisión de seguridad e higiene de la PTAR.
- Notificar inmediatamente al responsable de la PTAR y a la comisión de seguridad e higiene sobre las condiciones o actos inseguros que observen, y de los accidentes que ocurran en el interior de la PTAR, además de colaborar en la investigación de estos.
- Participar en los cursos de capacitación y adiestramiento en materia de prevención de riesgos y atención de emergencias que se impartan en la PTAR.

- Comportarse en el centro de trabajo con seriedad y tener los cuidados necesarios para evitar al máximo cualquier riesgo.
- Someterse a los exámenes médicos que determine el responsable de la PTAR y la comisión de seguridad e higiene.
- Utilizar el equipo de protección personal proporcionado por el responsable de la PTAR y cumplir con las demás medidas de control establecidas por éste para prevenir riesgos en el trabajo.

1.11.9. Condiciones de seguridad

1.11.9.1. Edificaciones

- Las edificaciones que se ubican en las plantas de tratamiento deberán estar diseñadas y construidas de acuerdo con las disposiciones de los reglamentos locales y normas aplicables.
- Las áreas de recepción de materiales y químicos, almacenamiento, de proceso, operación, mantenimiento, tránsito de operadores y vehículos, salidas, áreas de emergencia y demás áreas del centro de trabajo, deberán estar delimitadas de acuerdo con las normas correspondientes.
- En el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones de las plantas de trabajo, deberán observarse las condiciones de seguridad e higiene necesarias de acuerdo con la actividad que realicen; así deberán incluirse las protecciones y dispositivos de seguridad recomendados por las normas correspondientes.
- Las instalaciones deberán contar con drenajes pluviales y de agua de servicio independientes, de acuerdo con la naturaleza de la descarga.

1.11.9.2. Prevención, protección y combate de incendios

En la planta de trabajo se debe contar con medidas de prevención y protección, así como con sistemas y equipos para el combate de incendios, en función del tipo y grado de riesgo que implican las

actividades que se realicen. Para la prevención, protección y combate de incendios se necesita:

- Elaborar un estudio para determinar el grado de riesgo de incendio y explosión, de acuerdo con las materias primas que se utilizan, productos y subproductos.
- Contar con sistemas para la detección y extinción de incendios.
- Contar con señalización visual y audible.
- Organizar brigadas para prevenir y combatir incendios.
- Practicar simulacros, cuando menos una vez al año.

1.11.9.3. Operación y mantenimiento de maquinaria y equipo

- La maquinaria y equipo debe contar con las condiciones de seguridad e higiene de acuerdo con las normas correspondientes.
- Todas las partes móviles de la maquinaria, el equipo y su protección, así como las unidades de proceso, deberán revisarse y someterse a mantenimiento preventivo y, en su caso, al correctivo, de acuerdo con las especificaciones de cada maquinaria y equipo.
- Contar con un programa de seguridad e higiene, para la operación y mantenimiento de los equipos, y darlo a conocer al personal operativo de dicho equipo.
- Llevar a cabo una bitácora con todas las reparaciones, modificaciones, condiciones de operación y mantenimiento de los equipos, durante su vida útil.
- Contar con el personal, materiales y procedimientos necesarios para la atención de emergencias relacionadas con la maquinaria y los equipos.
- Contar con personal especializado para la operación de la maquinaria y equipos, cuya operación sea delicada y pueda ocasionar daños a terceras personas o a ellos mismos.

1.11.9.4. Instalaciones eléctricas

- Las instalaciones eléctricas permanentes o provisionales en los centros de trabajo deberán diseñarse e instalarse con dispositivos y protecciones de seguridad, así como señalizarse de acuerdo con el voltaje y corriente de la carga instalada.
- El servicio de operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en la PTAR, solo debe realizarse por personal capacitado y autorizado.
- Los circuitos de los tableros de distribución de energía eléctrica deben estar señalizados e identificados de acuerdo con la norma correspondiente.
- Los centros de trabajo que estén instalados en terrenos con descargas eléctricas atmosféricas frecuentes, deben contar con pararrayos, el cual será independiente del sistema de tierras.

1.11.9.5. Herramientas

- Seleccionar las herramientas de acuerdo con las características técnicas y considerando la actividad y tipo de trabajo que va a desarrollar el trabajador.
- Verificar el funcionamiento de las herramientas periódicamente, a fin de proporcionarles mantenimiento adecuado y, en su caso, sustituir aquellas que hayan perdido sus características técnicas.
- Proporcionar al trabajador, de acuerdo con la naturaleza del trabajo, cinturones portaherramientas, bolsas o cajas para el transporte y almacenamiento de éstas.
- Proporcionar a los trabajadores instrucciones por escrito para la utilización y control de las herramientas, las cuales contendrán como mínimo indicaciones para su uso, conservación, mantenimiento, lugar de almacenamiento y transporte seguro.

1.11.9.6. Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas

- El manejo, transporte y almacenamiento en general de materiales o sustancias químicas peligrosas (cloro) debe realizarse

en condiciones técnicas de seguridad para prevenir daños a la vida y salud de los trabajadores, de acuerdo con las normas y reglamentos respectivos.

- Los requerimientos de seguridad e higiene para el manejo, transporte, proceso y almacenamiento de materiales o sustancias peligrosas en las plantas de tratamiento deben estar incluidos en el programa de seguridad e higiene y es responsabilidad del jefe de la planta hacerlos del conocimiento de los trabajadores por escrito.
- Para el manejo, transporte y almacenamiento de materiales y sustancias peligrosas, el responsable de la planta deberá establecer las medidas preventivas y los sistemas para atender emergencias de acuerdo con las normas en materia.
- Cuando el manejo, transporte y almacenamiento de materiales y sustancias peligrosas se realice en forma automática o semiautomática, los sistemas y equipos deberán contar con los requisitos establecidos en la normatividad y, en especial, con dispositivos de paro y seguridad, aviso de la capacidad máxima de carga, señalización audible o visible y las condiciones de seguridad e higiene.
- El jefe de la planta es el responsable de que los materiales y sustancias químicas peligrosas se identifiquen en función de su tipo y grado de riesgo, y está obligado a comunicar a los trabajadores las medidas preventivas y correctivas que deben considerarse para su manejo, transporte y almacenamiento, de acuerdo con la normatividad correspondiente.
- El responsable de la planta debe elaborar y difundir entre los trabajadores, de acuerdo con la norma, las hojas de datos de seguridad de los materiales y sustancias químicas peligrosas que se manejan en las instalaciones.
- El responsable de la planta debe proporcionar el equipo y la vestimenta adecuada para la protección personal de los trabajadores.
- Las maniobras de montaje y desmontaje, entrega y recepción de tanques (como los de cloro) deben planearse y realizarse bajo condiciones de seguridad e higiene de acuerdo con las normas aplicables.

1.11.9.7. Ruido y vibraciones

- El responsable de la planta debe elaborar el programa de seguridad e higiene, conforme a las normas aplicables, referente al manejo de aquellos espacios en las instalaciones en donde, debido a los procesos y operaciones de trabajo se generan ruido y vibraciones que, como es el caso de la caseta de los sopladores, por sus características, niveles y tiempo de exposición sean capaces de alterar la salud de los trabajadores.
- El jefe de la planta es el responsable de instrumentar en las instalaciones los controles necesarios en las fuentes de emisión, para no exceder los niveles máximos permisibles del nivel de ruido y de vibraciones, de acuerdo con la norma aplicable.
- Es responsabilidad del jefe de planta aplicar los exámenes médicos específicos a los trabajadores expuestos a ruido y vibraciones, así como adoptar medidas pertinentes para proteger la salud, en los términos y condiciones que señalen las normas correspondientes.

1.11.9.8. Agentes contaminantes biológicos

- En las instalaciones en donde existan agentes biológicos capaces de alterar la salud de los trabajadores, como es el caso de la PTAR, el jefe de la planta debe identificar, evaluar y controlar la exposición a los mismos, por medio de los métodos establecidos en las normas correspondientes.
- Es responsabilidad del jefe de la PTAR difundir entre los trabajadores el programa de seguridad e higiene para el uso, manejo, transporte, almacenamiento y desecho de los materiales contaminados por microorganismos (como las aguas residuales crudas) el cual debe contener las medidas de desinfección y limpieza del equipo y de su persona.
- El responsable de la planta debe dotar a los trabajadores del equipo de protección específico para el manejo de los materiales que pueden causar infecciones u otro daño.

1.11.9.9. Equipo de protección

- El responsable de la planta debe proporcionar a los trabajadores el equipo de protección personal, conforme a la norma

correspondiente, para trabajar en las instalaciones donde existan riesgos en el ambiente laboral que puedan alterar la salud, provocar accidentes y poner en riesgo la vida de los trabajadores, y que por razones de carácter técnico no sea posible aplicar las medidas de prevención y control.

- Para la selección del equipo de protección que utilizarán los trabajadores, el jefe de la planta debe realizar un análisis de los riesgos a los que se exponen.

1.11.9.10. Servicios para el personal

- En función de las actividades que se realizan en la PTAR, el responsable de la planta está obligado a establecer sistemas higiénicos de agua potable, lavabos, regaderas, vestidores y casilleros, así como excusados y mingitorios dotados de agua corriente para uso de los trabajadores. El número de éstos se determinará en función de la cantidad de trabajadores por turno de trabajo, de acuerdo con la norma correspondiente.
- En las instalaciones de la planta, el jefe debe establecer lugares higiénicos para el consumo de alimentos y para la ubicación de las tomas de agua.

1.11.9.11. Orden y limpieza

- El responsable de la planta debe establecer un programa para el orden y la limpieza de las diversas áreas de la planta, de los equipos, unidades e instalaciones, de acuerdo con las actividades que se desempeñan y de lo que dispone la norma correspondiente. La limpieza se hará por lo menos al término de cada turno de trabajo.
- La basura, materiales y desperdicios que se generen en la planta, deberán identificarse, clasificarse, manejarse y, en su caso, controlarse, de manera que no afecten la salud de los trabajadores y las instalaciones.
- Los instrumentos y sustancias químicas que se utilicen para el aseo de las instalaciones deben ser adecuados para el tipo de limpieza que se requiera. El responsable de la planta está obligado a capacitar y adiestrar al personal que efectúe dichas

labores, así como hacer de su conocimiento los posibles riesgos a la salud.

1.11.9.12. Recomendaciones referentes a la seguridad e higiene

- Proporcionar capacitación y adiestramiento a los operadores y encargados del mantenimiento, a todos los niveles de especialización para prevenir riesgos en el trabajo.
- Elaborar instructivos y manuales de observancia general donde se establezcan las medidas necesarias para prevenir riesgos de trabajo y lograr que éste se realice en condiciones que aseguren la vida y salud de los trabajadores.
- Formar una Comisión de Seguridad e Higiene en el Trabajo, que estudie y proponga la adopción de acciones preventivas para reducir riesgos en los centros de trabajo.
- Cumplir con el Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, así como con las normas correspondientes.
- Llevar a cabo campañas de inspección y vigilancia, por parte de la Comisión de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Identificar y señalar cada una de las unidades de tratamiento, colocar tarjetas con su objetivo y con las medidas de seguridad e higiene específicas.

Los principales factores que pueden poner en riesgo al personal y las instalaciones son:

- Falta de capacitación y adiestramiento para el puesto de trabajo, el desconocimiento de las medidas preventivas de accidentes laborales y la carencia de hábitos de seguridad en el trabajo.
- Características personales: confianza excesiva, actitud de incumplimiento de normas y procedimientos de trabajo establecidos como seguros, atavismos y creencias erróneas acerca de los accidentes, irresponsabilidad, fatiga y disminución, por cualquier motivo, de la habilidad en el trabajo.

Las Comisiones de seguridad e higiene son de gran importancia para prevenir riesgos y accidentes en el trabajo, por lo que deben vigilar:

- Que se seleccione el equipo de protección personal apropiado, de acuerdo con el riesgo.
- Que el equipo sea facilitado siempre que se requiera y sea necesario.
- Que el equipo sea mantenido en óptimas condiciones higiénicas y de funcionamiento.
- Que el equipo sea utilizado por los trabajadores adecuada y correctamente.
- Que los trabajadores respeten los señalamientos e indicaciones establecidas en el reglamento, manual y normas correspondientes.

1.12. Tablas de seguridad e higiene

Tabla 7

Seguridad e higiene en la unidad de cribado

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Derrames de grasas y aceites	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Partes de equipos y materiales depositados en la zona de maniobras	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Basura / desperdicios / materiales removidos	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto. • Generación de olores e insectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Peines o cepillos pesados	<ul style="list-style-type: none"> • Dolores de espalda / ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar equipo ligero y resistente
Inclinación inadecuada de la criba	<ul style="list-style-type: none"> • Caídas / limpieza inapropiada / asentamiento de arenas / malos olores 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión continua de la estructura / supervisión continua
Disposición inadecuada de los sólidos removidos	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores e insectos • Mal aspecto • Posibilidad de enfermedades y accidentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar contenedores con tapa • Disposición frecuente de los sólidos removidos

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Peines o cepillos de material inapropiado	<ul style="list-style-type: none"> • Cortaduras / infecciones / corrosión del metal 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar materiales apropiados, (anticorrosivos y de bajo peso) • Supervisión continua
Taponamiento en las cribas / pérdida de carga	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores e insectos • Mal aspecto • Mantenimiento mayor 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza
Desperfectos en los mecanismos (acumulación de sólidos)	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores e insectos • Mal aspecto • Mantenimiento mayor 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8
Seguridad e higiene en la unidad de desarenación

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Acumulación de arenas en la unidad	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores / posibles enfermedades • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Sedimentación de materia orgánica (falta de control de velocidad del agua).	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores / posibles enfermedades • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar proceso • Supervisión continua • Limpieza / orden
Basura / desperdicios / materiales removidos	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto • Generación de olores e insectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Cucharones o draga pesados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dolores de espalda / ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar equipo ligero y resistente
Arrastre de arenas por falta de control de la velocidad	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición a trabajadores a ambientes agresivos • Daño a equipos y unidades subsecuentes • Mayor mano de obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar continuamente el proceso • Supervisión continua
Disposición inadecuada de los sólidos removidos	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores e insectos • Mal aspecto • Posibilidad de enfermedades y accidentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar contenedores con tapa • Disposición frecuente de las arenas removidas

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Cucharones o dragas de material inapropiado	Cortaduras / infecciones / corrosión del metal	Seleccionar materiales apropiados (anticorrosivos y de bajo peso) Supervisión continua

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

Seguridad e higiene en el cárcamo de bombeo de agua cruda

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Acumulación de sólidos y arenas en la unidad	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores / posibles enfermedades • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar operación de unidades antecedentes • Supervisión continua • Limpieza / orden
Sedimentación de materia orgánica	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores / posibles enfermedades • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar operación de las bombas (definir frecuencia) • Supervisión continua • Limpieza / orden
Exposición prolongada a equipo con un nivel alto de ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Sordera, ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar equipo de protección, reducir exposición, revisar niveles de ruido
Conexiones provisionales	<ul style="list-style-type: none"> • Electroshock, descargas eléctricas, lesiones quemaduras y ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que las conexiones estén perfectamente aisladas, incluyendo tapas y accesorios
Equipo sin protección eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Electroshock, descargas eléctricas, lesiones quemaduras y ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar el aterrizado del equipo. Desconectar equipo de fuentes de energía, aterrizo de terminales de motor
Contacto con partes giratorias	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones, fracturas, ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar paro total, colocar tarjeta de seguridad, conocimiento de los procedimientos de seguridad, retirar herramienta y partes ajenas al equipo, colocar guardas de equipos
Partes de equipos / basura / desperdicios / materiales removidos	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto • Generación de olores e insectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Mantenimiento inapropiado a equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Paro de los equipos. • Mantenimiento mayor 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Incorporar equipo y herramientas necesarias • Utilizar equipo de seguridad
No seguir las normas de seguridad e higiene en el trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de enfermedades y accidentes / ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar al personal de mantenimiento • Supervisión continua

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10
Seguridad e higiene en los sistemas de lagunas

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Accesos inapropiados a las unidades	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Ausentismo laboral 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar escaleras de fácil acceso y seguras • Supervisión continua
Inexistencia de equipo de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Ausentismo laboral 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar equipo de seguridad • Supervisión continua en el uso del equipo
Basura / partes de equipos y materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Ruptura del zampeado	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores • Operación deficiente • Posibilidad de enfermedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar prácticas de operación • Supervisión continua • Disposición frecuente de los lodos sedimentados
Rupturas de <i>lyners</i> (membranas)	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto • Cortaduras / 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar materiales apropiados, (anticorrosivos) • Supervisión continua

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11
Seguridad e higiene en los tanques de contacto con cloro

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Accesos inapropiados a las unidades	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Ausentismo laboral 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar escaleras de fácil acceso y seguras • Supervisión continua

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Partes de equipos y materiales depositados en la zona de maniobras	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Inexistencia de equipo de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Ausentismo laboral 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar equipo de seguridad • Supervisión continua en el uso del equipo
Presencia de material flotante y espumas	<ul style="list-style-type: none"> • Remoción de natas y posibilidad de accidentes • Mal aspecto • Posibilidad de enfermedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar procesos anteriores • Remoción frecuente de los materiales suspendidos • Supervisión continua
Dosificación inapropiada de cloro	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de enfermedades. Agua con altos contenidos de coliformes 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar sistema completo de dosificación • Supervisión continua
Desperfectos en los mecanismos	<ul style="list-style-type: none"> • Posible generación de olores y algas en las aguas • Mal aspecto • Mantenimiento mayor • Paro de los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12
Seguridad e higiene en el edificio de cloración

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Accesos inapropiados a las instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / lesiones / desalojo lento del personal en caso de fugas de gas cloro • Ausentismo laboral 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y adecuar accesos • Supervisión continua
Partes de equipos y materiales depositados en la zona de maniobras	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Inexistencia de equipo de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: intoxicaciones / lesiones • Ausentismo laboral 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar equipo de seguridad • Supervisión continua en el uso del equipo • Equipos de seguridad siempre deben estar en condiciones de uso
Exposición a concentraciones altas de cloro	<ul style="list-style-type: none"> • Produce intoxicación en sistema respiratorio y piel 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar equipo de protección • Recibir entrenamiento de los procedimientos de emergencia

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Ventilación inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de gases y posibilidad de intoxicaciones • Posibilidad de enfermedades y ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y adecuar áreas con ventilación • Supervisión continua
Instalaciones eléctricas provisionales	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: lesiones por descargas eléctricas • Ausentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar instalaciones • Supervisión continua
Contacto directo con cloro líquido	<ul style="list-style-type: none"> • Quemaduras y/o irritación en la piel u ojos respectivamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar exposición • Tener conocimiento de los procedimientos de emergencia • Verificación de fugas con ayuda de detectores de gas cloro
Desperfectos en los equipos y mecanismos para movimiento de contenedores de gas cloro	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de desinfección del agua tratada • Mantenimiento mayor • Posibilidad de paro total del sistema de cloración 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de la operación • Supervisión continua • Limpieza • Mantenimiento preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 13
Seguridad e higiene en la subestación eléctrica

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Derrames de grasas y aceites	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Equipo inadecuado/ defectuoso	<ul style="list-style-type: none"> • Electroshock, descarga eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua de equipo y herramientas de seguridad
Desperfectos en los mecanismos de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Electroshock, descarga eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua de los dispositivos
Partes de equipos y materiales colocados en la zona de maniobra	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden

Nota. Elaboración propia.

Tabla 14
Seguridad e higiene en el laboratorio

Causa / problema	Riesgo	Acciones preventivas
Derrames de agua, reactivos, grasas y aceites	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones, quemaduras • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Material y cristalería depositados en la zona de maniobras	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Basura / desperdicios / materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes: caídas / fracturas / lesiones • Mal aspecto • Generación de olores e insectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión continua • Limpieza / orden
Levantamiento de equipos pesados	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de lesiones / acentismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar equipo auxiliar o personal de apoyo

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO 2

INGENIERÍA BÁSICA DE LA PTAR

DATOS DE PROYECTO

Población actual	20800	hab.
Población de proyecto	34668	hab.
Qmed.	96.3	L/s
Qmin.	48	L/s
Qmaxinst.	233	L/s
Qmaxext.	338	L/s
Carga orgánica unitaria	56	g/Hab/d
Carga orgánica total	1941	Kg/d
Concentración	233	mg/L

Laguna anaerobia (1 Módulo)

Tiempo de retención	2	d
Volumen del tanque	7746	m ³
Concentración de entrada	233	mg/L
Concentración de salida	183	mg/L
Eficiencia mínima	22	%
Eficiencia máxima	50	%
Tirante	4.5	m

Laguna facultativa (1 Módulo)

Tiempo de retención	7	d
Volumen del tanque	29186	m ³
Concentración de entrada	183	mg/L
Concentración de salida	42	mg/L
Eficiencia mínima	77	%
Eficiencia máxima	80	%
Tirante	2.2	m

Laguna de maduración

Tiempo de retención	7	d
---------------------	---	---

Volumen del tanque	58,455	m ³
Concentración de entrada	42	mg/L
Concentración de salida	10	mg/L
Eficiencia mínima	76	%
Eficiencia máxima	80	%
Tirante	1.8	m
Eficiencia requerida	74 - 87	%
Eficiencia total del proceso	96 - 98	%

El desarrollo de esta ingeniería básica y de detalle del sistema de lagunas presente se basa en los trabajos de Ortíz-Alcocer (2006) y López et al. (2014). En este sentido este capítulo muestra el desarrollo de la memoria de cálculo con fines educativos y académicos para los futuros tecnólogos del agua, aplicando tecnologías de sistemas naturales, eficientes y sustentables, para comunidades que disponen de áreas para la instalación de estos sistemas.

Durante la primera etapa (10 años), el sistema propuesto trabajará con rejillas-desarenador, dos LAn, dos LFc y una LMd. En la segunda etapa (20 años), en caso de presentarse cargas y crecimientos extraordinarios, se cambiarán las LAn a dos lagunas aireadas y se incluirá al final una unidad de cloración para la eliminación de patógenos. A continuación, se presenta el análisis de población de proyecto y gastos de diseño.

2.1. Población de proyecto y gastos de diseño

2.1.1. Población histórica de la localidad

Para hacer este cálculo, es necesario consultar las bases de datos del INEGI, CONAPO, ayuntamientos y centros de salud locales. Para este caso, se tomó como ejemplo la población urbana histórica de Tenosique, Tabasco, de 1930 al año 2000, considerando que los proyectos tienen una vida útil de 25 años, para estos cálculos

la proyección de población se realiza hasta el 2025, con diversos métodos presentados más adelante.

Tabla 15

Datos de población urbana de Tenosique, Tabasco, de 1930-2000 (INEGI)

Año	Población urbana
1930	2828
1940	3545
1950	4748
1960	6517
1970	11393
1980	16206
1990	23562
1995	29105
2000	30042

Nota. Fuente: Cuaderno estadístico municipal de Tenosique, Tabasco (INEGI, 2000; Ortiz-Alcocer, 2006).

A continuación, se presentan los métodos de proyección de población recomendados para la estimación de poblaciones de proyecto y, posteriormente, para estimar los gastos del proyecto.

2.1.1.1. Método aritmético

Este método se basa en el supuesto de un crecimiento poblacional constante. Consiste en calcular el promedio anual de crecimiento, a partir del comportamiento poblacional de años anteriores, y aplicar este valor para proyecciones futuras (López et al., 2008).

Tabla 16

Proyección de población mediante el método aritmético

Año	Población urbana	Incremento de habitantes	Incremento de años
1930	2828		
1940	3545	717	10
1950	4748	1203	10
1960	6517	1769	10

Año	Población urbana	Incremento de habitantes	Incremento de años
1970	11393	4876	10
1980	16206	4813	10
1990	23562	7356	10
1995	29105	5543	5
2000	30042	937	5
		$\Sigma 27214$	$\Sigma 70$

Nota. Elaboración propia.

A continuación, describimos el método aritmético o lineal (López et al., 2008).

$$Pf = Pa + Pe Ta$$

Pf = Población futura

Pa = Población actual

Pe = Periodo económico (años futuros)

Ta = Tasa de crecimiento media anual

Inc. Pob: 27214

Inc. años: 70

Pe = 20 años

Pf (2005) = 31986 hab.

$$Ta = \frac{\Sigma (Inc. pob)}{(Inc. Años)} = 388.8$$

Pf (2025) = 39762 hab.

2.1.1.2. Método de Malthus

El método de proyección de población propuesto por Thomas Malthus en 1798, sostiene que la población humana crece a un ritmo exponencial (geométrico), mientras que la producción de alimentos aumenta solo de forma lineal (aritmética). Esta discrepancia conduce inevitablemente a una “catástrofe malthusiana”, donde la falta de recursos limita el crecimiento poblacional a través del hambre, enfermedades o guerras. A continuación, describimos el método de proyección poblacional de Malthus (López et al., 2008).

$$Pf = Pa (1 + D)^n$$

Donde:

$$D = \left(\frac{\text{Pob. Inicial}}{\text{Pob. Final}} \right)^{\frac{1}{N}} - 1$$

N = Años entre censos de población inicial y final

n = Años del periodo en decenas

Pa = Población último censo

Tasa de crecimiento anual $D = 0.034$

$Pf(2005) = 30553$ habitantes

$Pf(2025) = 32685$ habitantes

2.1.1.3. Método del INEGI

El método de proyección de población exponencial, comúnmente referenciado en estudios demográficos en México (INEGI y CONAPO), asume que la población crece a una tasa constante a lo largo del tiempo, donde la adición absoluta aumenta cada vez más rápido conforme la base poblacional es mayor. A continuación, describimos el método de proyección poblacional del INEGI (CONAGUA, 2019).

Proyección de población

$$Pf = P' \left[\frac{TCMA \%}{100} + 1 \right]^n$$

Donde:

P' = Pob. del último censo

n = Años a proyectar

$TCMA \% = 3.43$

$Pf(2002) = 35565$ habitantes

$Pf(2022) = 69856$ habitantes

Tasa de crecimiento media anual en %

$$TCMA(\%) = \left(\frac{PF}{PI} \right)^{\frac{1}{N}} - 1 \times 100$$

Donde:

PF = Población al final del periodo

PIP = Población al inicio del periodo

N = No. de años entre censos

2.1.1.4. Método de lotificación

La población de proyecto por este método considera la planeación y desarrollo urbano del municipio (Ortíz-Alcocer, 2006). En este se realiza una sección de campo estimando la proyección de población de las colonias del municipio a través de la lotificación de los terrenos, para los cuales se contempla teóricamente 6.5 hab/lote como tasa promedio de habitantes en las colonias. Por tanto, se seccionan o lotifican las colonias actuales y futuras a proyectar conforme al plan de desarrollo municipal, estimando la población actual y la población de proyecto. La fracción de los lotes por cada colonia es de 10 m de frente por 20 m de largo.

Tabla 17

Lotificación de las colonias de Tenosique, en el área de estudio

Colonia o fraccionamiento	Número de lotes
Pueblo Unido	243
Chivo Negro	400
Héroe de Nacozari	300
Trinchera	480
Maquinaria	180
Lázaro Cárdenas	142
Luis Gómez Zepeda	437
Municipal	608
Carlos Salinas de Gortari	543
Ingenio	142
José María Pino Suárez	300
Estación	150
San Román	400
María Luisa	195

Nota. Elaboración propia.

Lotes = 5200 casas

Población actual: 5200 (4 hab.) = 20800 hab.

Población del proyecto = 5200 (6.5 hab.) = 34668 hab.

La población proyectada por este método contempla el desarrollo urbano de la localidad; este presenta una población de proyecto similar al método aritmético y al método de Malthus ya mencionados. Para el proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales tomaremos como población de proyecto 34668 habitantes para un periodo económico de 20 años.

Tabla 18

Población histórica de 1930 a 2000 y de proyecto en 2025 de la localidad de Tenosique, Tabasco

Año	Población
1930	2828
1940	3545
1950	4748
1960	6517
1970	11393
1980	16206
1990	23562
1995	29105
2000	30042
2025	34668

Nota. Elaboración propia.

Los datos evaluados con el método de proyección del INEGI presentan un rango de error muy amplio, por lo que este método no es útil para el análisis de los datos históricos, sí lo son, en cambio, los métodos de Malthus, lotificación y el aritmético.

2.1.2. Gastos de proyecto

A continuación, se presentan los cálculos de gastos de proyecto (SAHOP, 1981; CONAGUA, 2019b).

Coefficiente de Harmon (M) =	$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{\text{población}}{1000}}}$	2.4
Coefficiente de seguridad (Cseg) =		1.5
Gasto medio	$Q_{med} = \frac{\text{Aport. (Pob. Proy.)}}{86400 \text{ s}}$	96 L/s = 8320 m ³ /d
Gasto mínimo	$Q_{min} = 0.5 (Q_{med})$	48 L/s = 4160 m ³ /d
Gasto máximo instantáneo	$Q_{maxinst} = M (Q_{med})$	233 L/s = 20052 m ³ /d
Gasto máximo extraordinario	$Q_{maxext} = C_{seg} Q_{maxinst}$	338 L/s = 29212 m ³ /d

El Qmed es de 8320 m³/día, lo que indica que es un caudal mediano; y para el pretratamiento utilizaremos el valor del Qmaxext, el cual es de 29212 m³/día.

2.2. Rejillas y canal de entrada al sistema

Las rejillas remueven materiales gruesos, en suspensión, que pueden ser retirados mecánica o manualmente. Después de retirar los sólidos, estos pueden triturarse para incorporarse en las propias aguas residuales. Las rejillas deben mantener cierta inclinación para facilitar la limpieza manual y la que proponemos es de 45° (SAHOP, 1981; CONAGUA, 2019b).

2.2.1. Criterios de diseño del canal y la rejilla

$$Q = AV \quad A = Q/V$$

$$V = 0.6 \text{ m/s}$$

$$Q_{maxext} = 338.1 \text{ L/s}$$

A: área que atravesará el agua

$$A = 0.56 \text{ m}^2$$

b: tirante de agua

a: ancho del canal

$$a = 1.5 b$$

$$b = \left(\frac{\text{área del canal}}{1.5} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$b = 0.61 \text{ m}$$

$$a = 0.92 \text{ m}$$

b' : bordo libre (20-30 cm)

$$b' = 30 \text{ cm}$$

b'' : altura a la que debe sobresalir la rejilla

$$b'' = 15 \text{ cm}$$

Como el criterio de las rejillas nos dice que a gastos mayores debe haber mayor separación entre las aberturas de las barras, tomamos una abertura de 3.5 cm, con un espesor de 1/4" y con una eficiencia de 0.8.

$$\text{No. de separaciones} = a/\text{abertura}$$

$$\text{No. de barras} = \text{No. de separaciones} - 1$$

$$\text{No. de separaciones} = 26.28$$

$$\text{No. de barras} = 25.28$$

2.2.2. Ajuste de rejillas

$$\text{Ajuste} = (\text{Excedente}) (\text{Sep. rejilla}) / (\text{No. separaciones}) + \text{Sep. rejilla} = 0.038 \text{ m}$$

$$\text{Abertura real} = \text{Ajuste} + \text{Sep. rejilla} = 3.54 \text{ cm}$$

2.2.3. Ajuste del canal

$$\text{No. barras} \times \text{espesor de barras} = 16.5 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho del canal ajustado } a = 0.92 + 0.16 = 1.09 \text{ m}$$

2.2.4. Total de solera para la construcción de rejilla

$$\text{Sen } 45^\circ = \frac{H}{\text{Hipotenusa}}$$

Donde:

$$H: \text{Altura desde el fondo del canal a la rejilla} = 1.06 \text{ m}$$

$$\text{Hipotenusa (Hip)} = \text{longitud total de la solera}$$

$$\text{Hip} = H / (\text{Sen. } 45^\circ) = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de solera} = \text{No. de barras (Hip)} = 37.5 \text{ m}$$

$Soportes = 2 \text{ soportes} + \text{empotrado} = 2.3 \text{ m}$

$Total = 39.77 \text{ m} + 10 \% (\text{desperdicios de cortes}) = 43.75 \text{ m}$

Se requiere comprar 44 soleras de 6 m de longitud.

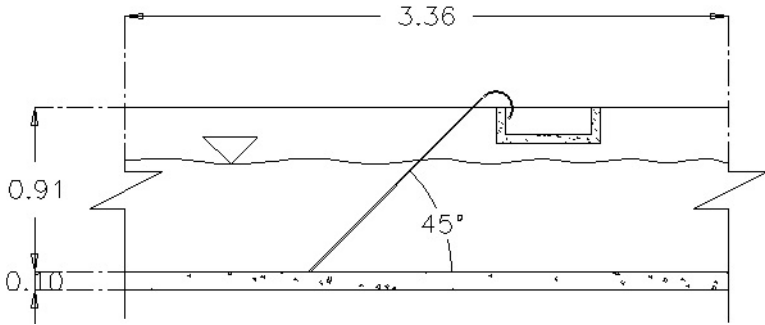


Figura 7. Corte longitudinal del canal con rejillas y recolector de residuos.
Nota. Elaboración propia.

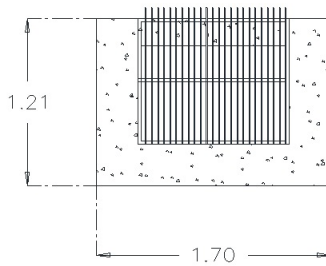


Figura 8. Corte transversal o frontal del canal con la rejilla.
Nota. Elaboración propia.

2.2.5. Velocidad de escurrimiento y pendiente en el canal

Para el cálculo de la velocidad de escurrimiento y pendiente, utilizaremos el criterio de Manning:

$$VC = \left(\frac{1}{n}\right) Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$S = \left[\frac{VC \times n}{\frac{2}{Rh^{\frac{2}{3}}}} \right]^2$$

Rh: radio hidráulico

n = coeficiente de rugosidad del canal (0.013)

S = pendiente de la tubería

VC = velocidad de escurrimiento del agua (0.6 m/s)

Rh = ((área hidráulica) / (perímetro mojado)) = 0.29 m

S = 0.00032

2.3. Desarenador hidráulico

La velocidad del agua en el desarenador es un factor crítico y debe mantenerse alrededor de 0.3 m/s. Es fundamental no desviarse significativamente de este valor: una velocidad inferior a 0.15 m/s provocará la acumulación indeseada de materia orgánica y una velocidad superior a 0.4 m/s permitirá el paso de arena, comprometiéndose la eficiencia del proceso (SAHOP, 1981; CONAGUA, 2019b).

2.3.1. Cálculo de la longitud del desarenador

El desarenador será limpiado de forma manual cada tres días. Estimamos que por cada 1000 m³ de agua residual, se recolectan 0.06 m³ de arena.

$$L = \frac{V}{v} D * (Coef. seg.)$$

Donde:

V: velocidad del agua (0.3 m/s)

v: velocidad de sedimentación de partícula (0.024 m/s)

L: longitud del desarenador en m

D: tirante canal: 0.61 m

Coef. seg = 1.5

La longitud L = 11.5 m

2.3.2. Volumen de arena generada

Dentro de los sólidos sedimentables que se atrapan en el desarenador se reporta que por cada 1000 m³ de agua residual, se recolectan 0.06 m³ de arena.

El flujo volumétrico generado es de:

$$Q_{med} = 8320 \text{ m}^3 / d$$

Con la relación de 0.06 m^3 de arena por cada 1000 L de agua residual, obtenemos que el Volumen de arena generada en tres días (VAG) es:

$$VAG = 1.5 \text{ m}^3 \text{ arena}$$

2.3.3. Área del desarenador

Para calcular el área de depósito de arena se requiere multiplicar la longitud del desarenador por el ancho del canal, definiendo los siguientes conceptos:

$$\text{Área del desarenador (AD)} = (L) (a)$$

L: longitud del desarenador

a: ancho del canal

$$AD = 12.5 \text{ m}^2$$

2.3.4. Profundidad del desarenador

La profundidad del desarenador es un tirante adicional o que se suma al tirante calculado del canal, estimándose este l dividir el volumen de arena generado en tres días entre el área del desarenador:

$$\text{Profundidad del desarenador (PD)} = VAG/AD$$

$$PD = 0.12 \text{ m}$$

2.3.5. Pérdida de carga por rejilla

La pérdida de carga (hidráulica) por la rejilla se estima considerando la diferencia al cuadrado de la velocidad de entrada (0.6 m/s) menos la salida (0.3 m/s) entre dos veces la gravedad multiplicado por el factor hidráulico (Metcalf & Eddy, 2000).

$$h_f = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \left(\frac{1}{0.7} \right)$$

$$h_f = 9.4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Pérdida con área de la rejilla al 50 %:

$$hf(50\%) = 0.09 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad total del desarenador} = 0.12 \text{ m} + 0.09 \text{ m} = 0.21 \text{ m}$$

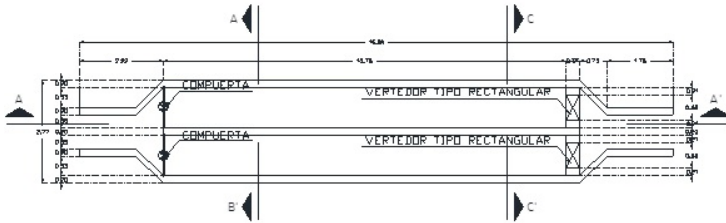


Figura 9. Vista en planta de los desarenadores.
Nota. Elaboración propia.

En la mayoría de las PTAR, se requieren dos desarenadores. Esto se debe a la necesidad de realizar la limpieza de estos equipos mientras el flujo de agua residual es constante e ininterrumpido. Al contar con un sistema dual, cuando uno de los desarenadores está en proceso de limpieza, el otro puede continuar operando, asegurando así un tratamiento continuo del agua.

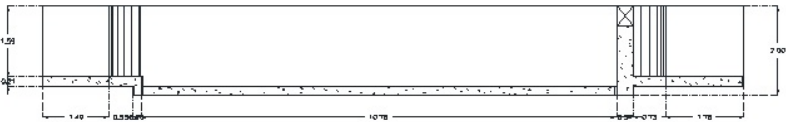


Figura 10. Corte longitudinal del desarenador.
Nota. Elaboración propia.

2.4. Vertedor rectangular

Los vertedores son herramientas esenciales para medir el caudal de agua. Para obtener mediciones precisas, es crucial que se cumplan las siguientes condiciones (Sotelo, 1994):

- Flujo libre: el agua debe fluir libremente sobre el vertedor, sin restricciones.

- Cresta óptima: la parte superior del vertedor (la cresta) debe estar bien definida, sin imperfecciones y perfectamente horizontal.
- Paso total del agua: la totalidad del flujo de agua debe pasar sobre el vertedor.
- Medición de carga (H): la altura del agua sobre la cresta del vertedor (carga H) debe medirse aguas arriba, a una distancia que oscile entre $3H$ y $10H$ desde el vertedor. Sin embargo, esta distancia nunca debe ser inferior a $2.5 H$.

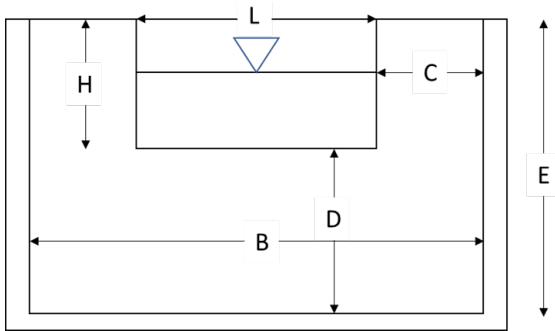


Figura 11. Vertedor rectangular.
Nota. Elaboración propia.

Los vertedores rectangulares con contracción completa son comúnmente utilizados por su fiabilidad. Para lograr una precisión notable en la medición, se pueden adoptar las siguientes dimensiones aproximadas:

- Ancho del canal de acceso (C): al menos el doble de la carga de agua sobre la cresta ($2H$).
- Profundidad del canal de acceso (D): al menos el triple de la carga de agua sobre la cresta ($3H$).

Para el caudal específico que estamos manejando, recomendamos un vertedor con las siguientes dimensiones:

$$H = 45.5 \text{ cm}$$

$$L = 91.5 \text{ cm}$$

$$B = 213.5 \text{ cm}$$

$$E = 122 \text{ cm}$$

$$C = 91 \text{ cm}$$

$$D = 136 \text{ cm}$$

Espesor de los vertedores de pared gruesa $e > 0.66 H$

$$e > 0.66 (45.5) = 30.03 \text{ cm} \quad e > ((30.03 + 45.5))/2 = 37.8 \text{ cm}$$

siendo este valor el espesor de la pared

2.4.1. Ajuste de las dimensiones en el vertedor

$$B = 1.1 \text{ m}$$

$$L < B$$

$$L = 0.6 (1.09) = 0.65 \text{ m}$$

Fórmula para pared gruesa:

$$Q = 1.71 (L) H^{(3/2)}$$

Sustituyendo:

$$0.34 \text{ m}^3/\text{s} = (1.71) (0.65 \text{ m}) H^{(3/2)}$$

$$H = (Q / (1.71 \times L))^{(2/3)} = 0.45 \text{ m}$$

$$B = 1.1 \text{ m}; L = 0.65 \text{ m}; C = 0.22 \text{ m}; D = 1.35 \text{ m}; H = 0.45 \text{ m} \text{ y } E = 2 \text{ m}$$

2.5. Dimensiones de las lagunas

Los criterios de diseño y construcción de lagunas (tirante T_i , tiempo de retención Tr , pendiente S de talud interior y exterior, etc.), se encuentran establecidos en las siguientes referencias SAHOP (1981), Romero Rojas (1999), Vega y Ramos (1996), Serrano (1997), Metcalf & Eddy (2000) y CONAGUA (2019a).

2.5.1. Laguna anaerobia (1 módulo)

$$\text{Tirante } (T_i) = 4.5 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo de retención } (Tr) = 2 \text{ días}$$

$$Q_{med} = 8320 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Vol. de la laguna } (VL) = Q_{med} \times Tr = 16,640 \text{ m}^3$$

$$\text{Dividido en 2 módulos, cada módulo constará de } 8320 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de la laguna } (AL) = VL/T_i = 1848.9 \text{ m}^2$$

Criterios de diseño constructivos. Para el largo de LAn al centro del tirante se propone una distancia de 35.1 m para que se ajuste al terreno que proporcionaron para el proyecto.

2.5.1.1. Corte transversal de LAn

Dist. al centro de tirante = 35.1 m

Dist. en el fondo de la laguna = 23.9 m

Dist. de centro a centro de corona = 53.9 m

Dist. en la superficie del agua = 46.4 m

2.5.1.2. Corte longitudinal de LAn

Dist. al centro de tirante = 46.9 m

Dist. en el fondo de la laguna = 35.7 m

Dist. de centro a centro de corona = 65.7 m

Dist. en la superficie del agua = 55.9 m

2.5.1.3. Volumen dimensionado LAn

$A_1 = (\text{largo de superficie de LAn})^2$

$A_2 = (\text{largo de fondo de LAn})^2$

$\text{Volumen dimensionado (VD)} = ((A_1 + A_2))/2 \times (T_i) = 7746 \text{ m}^3$

Comprobando:

$Tr = VD / Q_{med} = 1.9 \text{ d}$

$((VL - VD))/VL \times 100 = -7.4 \%$

Es posible observar que el Tr no cambia mucho. La dimensión de volumen es un 7 % menor que la capacidad ideal. Esto se compensa con un bordo libre de 0.9 m, que puede manejar los 447 L/día de volumen restante sin problema, ya que protege un volumen excedente de 2,600.49 m³. Esto deja 2,053.5 m³ disponibles.

2.5.2. Laguna facultativa LFc (1 módulo)

$Tr = 7 \text{ d}$

$Q_{med} = 8320 \text{ m}^3/\text{d}$

$$VL \text{ (Total)} = 58240 \text{ m}^3$$

$$VL \text{ (módulo)} = 29120 \text{ m}^3$$

$$Ti = 2.2 \text{ m}$$

$$AL = 13236 \text{ m}^2$$

Proponiendo:

$$\text{Ancho de LFc al centro del } Ti = 52.7 \text{ m}$$

$$\text{Largo al centro de LFc (LCL)} = 251.4 \text{ m}$$

Las dimensiones se estiman de la siguiente manera:

a) *Dist. longitudinal al fondo de la laguna* = 245.9 m

$$LCL - Dpt = 245.9 \text{ m}$$

$$\text{Dist. de pateo de talud (Dpt)} = 1.1 \text{ m} \times 2.5 \times 2 = 5.5 \text{ m}$$

1.1 m: *Dist. del centro de Ti al fondo de LFc*

2.5: *Pendiente talud interior*

2: *Bordos longitudinales de LFc*

b) *Dist. longitudinal de centro a centro de corona* = 264.4 m

$$Dpt = 2 \text{ m} \times 2.5 \times 2 = 10 \text{ m}$$

$$Dpt + 3 \text{ m} + LCL = 264.4 \text{ m}$$

2 m: *Altura de centro de Ti a bordo libre*

3 m: *Dist. de la mitad de la corona en ambos bordos*

c) *Dist. longitudinal en la superficie del agua* = 256.9 m

$$Dpt = 5.5 \text{ m}$$

$$LCL - Dpt = 256.9 \text{ m}$$

2.5.2.1. Corte transversal de LFc

Proponemos que ambas lagunas tengan la misma forma rectangular en planta. Para mantener la uniformidad, utilizaremos la misma distancia de centro a centro de corona del corte transversal de la primera laguna para dimensionar el corte transversal de la segunda. De esta manera, el dimensionamiento de la segunda laguna en el corte C-C' queda establecido así:

$$\text{Dist. transversal de centro a centro de corona} = 65.7 \text{ m}$$

$$\text{Dist. transversal de fondo} = 47.2 \text{ m}$$

Dist. transversal a la mitad del tirante = 52.7 m

Dist. transversal en la superficie = 58.2 m

2.5.2.2. Volumen dimensionado LFc

$$A_1 = 14938 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 11594 \text{ m}^2$$

$$VD = 29186 \text{ m}^3$$

$$Tr = 7 d$$

Como podemos observar, se ajustó adecuadamente el volumen de diseño al volumen dimensionado.

2.5.3. Laguna de maduración LMD

$$Tr = 7 d$$

$$Vd = 8320 \text{ m}^3$$

$$Ti = 1.8 \text{ m}$$

$$VL = 58240 \text{ m}^3$$

$$AL = 32357 \text{ m}^2$$

Proponemos:

$$\text{Ancho al centro } Ti (a) = 108 \text{ m}$$

$$\text{Long. al centro } Ti (b) = 3257 \text{ m}^2 / 108 \text{ m} = 299.6 \text{ m}$$

a) *Dist. longitudinal al fondo de la laguna = 295.1 m*

$$Dpt = 4.5$$

$$b - Dpt = 295.1 \text{ m}$$

0.9 m: Dist. del centro de tirante al fondo de LMD

2.5: Pendiente

2: Bordos de LMD

b) *Distancia longitudinal de centro a centro de corona = 311.6 m*

$$Dpt = 9$$

$$b + Dpt + 3 \text{ m} = 311.6 \text{ m}$$

1.8: Altura del centro de Ti al bordo

3 m: Suma de mitad de la corona en ambos bordos

c) *Distancia longitudinal en la superficie del agua = 304.1 m*

$$Dpt = 4.5 \text{ m}$$

$$b + Dpt = 304.1 \text{ m}$$

2.5.3.1. Corte transversal de LMD

Con el objetivo de que las lagunas compartan la misma configuración rectangular en planta, replicaremos la distancia de centro a centro de corona del corte transversal de la primera laguna en el corte transversal de la segunda. De este modo, el dimensionamiento de la tercera laguna en el corte C-C' queda definido así:

a) *Distancia transversal de centro a centro de corona = 120.3 m*

b) *Distancia transversal de LMD en el fondo = 103.8 m*

$$Dpt = 13.5 \text{ m}$$

$$120.327 \text{ m} - 3 \text{ m} - 13.5 \text{ m} = 103.8 \text{ m}$$

c) *Distancia transversal a la mitad del tirante = 108.3 m*

$$Dpt = 9 \text{ m}$$

$$120.327 \text{ m} - 9 \text{ m} - 3 \text{ m} = 108.3 \text{ m}$$

d) *Distancia transversal en la superficie de la laguna = 112.8 m*

$$Dpt = 4.5 \text{ m}$$

$$108.3 \text{ m} + 4.5 \text{ m} = 112.8 \text{ m}$$

2.5.3.2. Volumen dimensionado

$$A1 = 34311 \text{ m}^2$$

$$A2 = 30639 \text{ m}^2$$

$$VD = 58455 \text{ m}^3$$

$$Tr = 7.02 \text{ d}$$

No se excede el Tr y no sobrepasa el 1 % del volumen dimensionado en la LMD.

2.6. Tubería de la caja entrada, caja de cambio de nivel y caja de salida

$$Q = 0.33 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 0.6 \text{ m/s}$$

$$Q = AV = V * \pi * D^2 / 4$$

$$D = (4 Q / \pi V)^{1/2}$$

$$D = 42'' = 50'' \text{ "Se incrementó hasta } 50'' \text{ con un factor de seguridad (tubo comercial).}$$

2.7. Condiciones de volumen de agua en la laguna

A continuación, se presenta el cálculo para estimar el volumen de evaporación, mismo que se replica para la precipitación e infiltración.

Vol de Evap. = área superficial de la laguna x evaporación

Vol de Evap. = $\text{m}^2 \times \text{mm/mes} \times 1 \text{ mes} / 30 \text{ días} \times 1\text{m}/1000 \text{ mm} = \text{m}^3/\text{d}$

VRA = *Vol tanque* – *Vol de evap.* – *Vol de inf.* + *Vol de Prec.*

VRAT = *VRA* x *No. módulos*

2.7.1. Condiciones de los tanques a nivel mínimo (mayo) y a nivel máximo (diciembre)

Tabla 19

Variables hidrometeorológicas del sitio del proyecto

Variables	Verano	Invierno
Evaporación (mm/mes)	165	65.9
Precipitación (mm/mes)	54.3	53.6
Infiltración (mm/mes)	5	5

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20

Volúmenes de operación de los estanques

Parámetro	Laguna anaerobia		Laguna facultativa		Laguna de pulimento	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
A (m ²)	2480.2		14938.4		35169	
Vol de evap. (m ³ /d)	13.7	5.4	82.32	32.8	77.2	193.7
Vol de prec. (m ³ /d)	4.5	4.4	27.05	26.7	62.8	63.7
Vol de inf. (m ³ /d)	0.4	0.4	2.5	2.5	5.9	5.9
VRA (m ³ /d)	8310.42	8318.57	8336.24	8300.21	8299.72	8184.13
VRAT (m ³ /d)	16620.84	16637.14	58353.68	8311.39	58098.04	57288.91

Nota. Elaboración propia.

2.8. Temperatura del agua en las lagunas

La temperatura es importante para estimar el comportamiento de la carga orgánica (Ortíz-Alcocer, 2006).

$$TOL = \frac{fA Ta + Q Ti}{fA + Q}$$

Donde:

TOL: Temperatura de operación de la laguna (°C)

Ta: Temperatura ambiente °C (invierno y verano)

Ti: Temperatura del afluente (4°C abajo de *Ta*)

f: Factor 0.48 *A*: Área superficial de la laguna (m²)

Q: Gasto en m³/día

Tabla 21

Estimaciones de temperatura en los estanques

Parámetro	Laguna anaerobia		Laguna facultativa		Laguna de pulimento	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
A (m ²)	2480.17		14938.40		35169	
Ta (°C)	30.54	24.41	30.54	24.41	30.54	24.41
Ti (°C)	26.54	20.41	26.54	24.41	26.54	24.41
TL (°C)	27.04	20.91	28.40	22.27	29.22	23.09

Nota. Elaboración propia.

2.9. Coeficientes cinéticos de degradación

Con los valores de la temperatura de las lagunas estimadas en la tabla 21, se calculan los coeficientes cinéticos de degradación de la tabla 22.

$$KT = 1.2 \cdot 1.085^{(35 - TOL)}$$

TOL = Temp. de operación de la laguna

Tabla 22

Coefficientes cinéticos de degradación en los estanques en verano e invierno

Parámetro	KT de Verano	KT de Invierno
Laguna anaerobia	0.63	0.38
Laguna facultativa	0.70	0.42
Laguna de pulimento	0.74	0.45

Nota. Elaboración propia.

2.10. Estimación de la carga orgánica total

$$Q_{med} = 8320 \text{ m}^3/\text{d}$$

Pob. de proyecto = 34668 hab.

Carga orgánica unitaria (COU) = 0.056 Kg/hab./día

Carga orgánica total (COTL) = COU x Pob. Proy. = 1941 Kg /día

Conc. promedio = COT/Q_{med} = 233 mg/L

Vol. real aprox. a nivel máx (VRANMX) = 8312.7 m³/d

Vol. real aprox. a nivel mín. (VRANMI) = 8270.8 m³/d

Conc. real aprox. a nivel máx. = 0.23 Kg/m³ = 234 mg/L

Conc. real aprox. a nivel mín. = 0.23 Kg/m³ = 235 mg /L

2.10.1. Carga orgánica o flujos másicos

$$CO = FM = Si Q$$

Donde:

CO = Carga orgánica (Kg/d)

Si = Concentración de entrada (Kg / m³)

Qmed = Gasto (m³/d)

Tabla 23

Coefficientes cinéticos de degradación en los estanques en verano e invierno

Parámetro	Si (kg/m ³)	CO (kg/d)
Laguna anaerobia	0.233	1938.00
Laguna facultativa	0.183	1521.06
Laguna de pulimento	0.042	348.85

Nota. Elaboración propia.

2.10.2. Concentración de salida de la laguna anaerobia

Conocida la DBO₅ del efluente (*L_o*) y suponiendo una eficiencia del 50 % al proceso anaerobio como normalmente se acostumbra, el tiempo de retención (*R*) se puede deducir de la fórmula anterior.

$$L_p = (L_o - L_p K_n) \left(\frac{L_p}{L_o} \right)^n R$$

L_p = DBO₅ en efluente de LAn (mg/L)

L_o = DBO_u del efluente a 20 °C (mg/L)

R = Tr (mezcla completa)

K_n = Coeficiente = 6

n = Coeficiente experimental = 4.8 (subtropical)

2.10.3. Concentración de salida de la laguna facultativa

$$P1 = \frac{Po}{(KT RT) + 1}$$

Donde:

Po = Conc. de entrada

P1 = Conc. de salida

RT = tiempo de retención

KT = coeficiente cinético

2.10.4. Concentración de salida de la laguna de maduración

$$P2 = \frac{P1}{(KT RT) + 1}$$

Donde:

P1 = Conc. de entrada

P2 = Conc. de salida

RT = tiempo de retención

KT = coeficiente cinético

Tabla 24

Concentraciones de entrada y salida de las lagunas

Sistema	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Eficiencia (%)
Laguna anaerobia	233	183	21.5
Laguna facultativa	183	42	77.1
Laguna de maduración	42	10	75.9
Eficiencia total			95.7

Nota. Elaboración propia.

2.11. Periodo de desazolve (θ_L) de los sistemas lagunares

$$\theta_L = \frac{0.5 V}{T_{ac} P}$$

Donde:

θ_L = Periodo de desazolve (años)

T_{ac} = Tasa de acumulación de lodos (0.03 – 0.04 m³ / hab. año)

P = Habitantes

$P = 34,668$ hab.

Tabla 25

Volumen de agua y taza de azolve de las lagunas

Parámetro	Volumen (m ³)	θ_L (años)
Laguna anaerobia LAn	8320	3.0
Laguna facultativa LFc	29120	10.5
Laguna de pulimento LMd	58445	21.0

Nota. Elaboración propia.

2.12. Segunda etapa del proyecto

2.12.1. Cálculo de equipo de aireación

La potencia mínima requerida para el equipo de aireación, en el caso de un mezclado incompleto, se establece a partir del volumen de la laguna. Para ello, se considera una especificación de 0.0035 HP/m³ (0.1 HP/1000 pies cúbicos) del volumen total de la laguna, garantizando así una concentración uniforme de 500 mg/L de sólidos suspendidos dentro del licor de mezclado.

$$HP = Vol \times 0.0035$$

$$HP = Q_{med} \times 86400 \times Tr \times 0.0035$$

HP = Potencia

Vol = Volumen (m³)

$$Q_{med} = \text{Gasto medio (m}^3/\text{s)}$$

$$Tr = 2 \text{ d}$$

$$86400 = \text{Segundos/d}$$

$$0.0035 = HP / \text{m}^3 \text{ de agua en la laguna}$$

$$HP = 582$$

Se propone la utilización de cinco aireadores de 150 HP. Cuatro de estos se distribuirán equitativamente en las lagunas aireadas. La inclusión de un aireador adicional a la capacidad mínima es una medida de contingencia, que permite un reemplazo rápido en caso de avería o necesidad de mantenimiento.

2.12.2. Cloración

2.12.2.1. Tanque de contacto de cloro

a) *Número de tanques = 1*

b) *Gasto de diseño por tanque*

$$Q_{med} = 96 \text{ L/s}$$

$$Q_{max} = 388 \text{ L/s}$$

c) *Tiempo de contacto recomendado*

$$\text{Para } Q_{med} \text{ } t = 40 \text{ min}$$

$$\text{Para } Q_{max} \text{ } t = 10 \text{ min}$$

d) *Dimensiones y volumen del tanque existente*

$$V = 12 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 240 \text{ m}^3$$

e) *Tiempo de retención*

$$\text{Para } Q_{med} \text{ } t = 41.54 \text{ min}$$

$$\text{Para } Q_{max} \text{ } t = 10.31 \text{ min}$$

f) *Relación Lt / B*

$$\text{Ancho de canales (B)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Número de canales (N)} = 5$$

$$\text{Longitud total (Lt)} = 60 \text{ m}$$

$$Lt/B = 60 \text{ m} / 2 \text{ m} = 30 > 40$$

2.12.2.2. Sistema de cloración

La dosificación de cloro gas en solución fluctúa entre 6 y 10 ppm (mg/L), se propone una dosificación de 8 ppm (mg/L).

Flujo másico de gas cloro = dosis x Q

Para Qmedio

$$Cl = 67 \text{ kg/d}$$

Para Qmáx

$$Cl = 268 \text{ kg/d}$$

Si cada tanque tiene una capacidad total de 908 kg (2000 lb) y su capacidad de aporte aproximada (en condiciones de operación óptima) es del 20 %, es decir 182 kg (400 lb), entonces dividiendo la cantidad de gas cloro requerida entre el aporte estimado:

Para Qmedio = 1 tanque

Para Qmax = 1 tanque

Por lo que la recomendación es instalar 1 cabezal horizontal para dos tanques de gas cloro de 908 kg (2000 lb) cada uno y adquirir 1 tanque para cloro de las mismas características.

2.12.2.3. Gasto y potencia de bombeo

Para este caso se tiene que la dosis promedio de cloro al tanque de contacto está entre 2000 - 3500 mg/L; sabemos que la dosis puede ser obtenida a través de la relación entre el flujo másico y el gasto, esto es:

Flujo másico = dosis x Q

Dosis = flujo másico/Q

Q = flujo másico/dosis

Dosis mínima = 2.0 kg/ m³

Dosis máxima = 3.5 kg/ m³

Para el Q medio y dosis máxima

$$Q \text{ bombeo} = 67 \text{ kg/d} / 3.5 \text{ kg/m}^3 = 19 \text{ m}^3/\text{d}$$

Para el Q max y dosis máxima

$$Q \text{ bombeo} = 268 \text{ kg/d} / 3.5 \text{ kg/m}^3 = 77 \text{ m}^3/\text{d}$$

Para el Q medio y dosis mínima

$$Q_{\text{bombeo}} = 67 \text{ kg/d} / 2 \text{ kg/m}^3 = 33 \text{ m}^3/\text{d}$$

Para el Q max y dosis mínima

$$Q_{\text{bombeo}} = 268 \text{ kg/d} / 2 \text{ kg/m}^3 = 134 \text{ m}^3/\text{d}$$

2.13. Conclusiones y recomendaciones

Este proceso de tratamiento es muy empleado en comunidades descentralizadas, rurales y urbanas por sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento. En condiciones normales, este sistema podrá cumplir satisfactoriamente con los límites máximos permisibles en la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021; sin embargo, podrá aumentar su eficiencia si al final se integra un reactor anaerobio horizontal, cuyo objetivo será remover algas y materia orgánica por el establecimiento de biomasa microbiana mixta.

Después de dos años de operación, el especialista podrá corroborar y corregir, en caso de ser necesario, las formas de operación de válvulas para favorecer tiempos de retención hidráulica y cumplir con la remoción de contaminantes básicos, como es la DQO, parámetro que actualmente regula la eficiencia con la normatividad vigente.

Referencias

- Arce Velázquez, A. L. (2004). *Muestreo y preservación de grasas y aceites, y determinación en campo de materia flotante, pH y temperatura*. Serie autodidáctica de aguas residuales. Subdirección General de Administración del Agua (CNA), Coordinación de Tecnología Hidráulica (IMTA).
- Asfahl, C. (2000). *Seguridad industrial y salud*. Pearson Educación.
- Briones Sánchez, G., y García Casillas, I. (2014). *Aforo del agua en canales y tuberías*. Trillas; UAAAN.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2000). *Datos de la estación meteorológica de Tenosique, Tabasco (1958-2000)*.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019a). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: lagunas de estabilización*. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro27.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019b). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Pretratamiento y tratamiento primario*. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro26.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/968648/Inventario_2023.pdf
- Cortés Díaz, J. M. (2001). *Seguridad e higiene en el trabajo: técnicas de prevención de riesgos laborales*. Alfaomega.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados* (Vols. 1-3). McGraw-Hill.
- Gómez Mendoza, R. F., y Sánchez Zarza, M. (2004). *Muestreo y preservación de parámetros fisicoquímicos*. Serie autodidáctica de aguas residuales. Subdirección General de Administración del Agua (CNA), Coordinación de Tecnología Hidráulica (IMTA).
- Hammer, M. J. (1977). *Water and wastewater technology*. John Wiley & Sons.

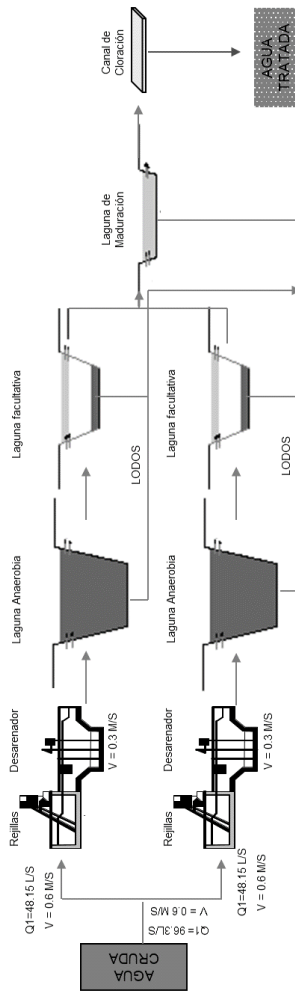
- Horan, N. J. (1990). *Biological wastewater treatment systems*. John Wiley & Sons.
- Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (1987). *Reglamento general de seguridad e higiene en el trabajo e instructivos*. Secretaría del Trabajo y Previsión Social; IMSS.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1995, 1998, 2000). *Cuadernos estadísticos municipales de Tenosique*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=27017#-collapse-Resumen>
- López-Ocaña, G., Hernández Barajas, J.R., Chacón-Nava, J.G., Bautista-Margulis, R. G. (2008). La generación de residuos sólidos urbanos en el Municipio de Centro, Tabasco. *Kuxulcab' . Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT*, 14(26), 55-64.
- López Ocaña, G., Palma Ávalos, S., y Díaz Paz, R. C. (2014). Sistemas naturales aplicados en el tratamiento de las aguas residuales de Tenosique, Tabasco. *Kuxulcab' . Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT*, 17(33). <https://doi.org/10.19136/kuxulcab.a17n33.357>
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021. (2022). *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., y Güereca, L. P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ocaña, G. L., Barajas, J. R. H., Nava, J. G. C., y Margulis, R. G. B. (2008). La generación de residuos sólidos urbanos en el municipio del Centro, Tabasco. *Kuxulcab'*, 14(26). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9492639>
- Oficina Internacional del Trabajo (OIT). (1990). *Control de riesgos de accidentes mayores*. OIT.
- Oficina Internacional del Trabajo (OIT). (1997). *La prevención de los accidentes*. Alfaomega Grupo Editor.
- Ortíz-Alcocer, V. (2006). *Alternativas de tratamiento de las aguas residuales para la ciudad de Tenosique, Tabasco* [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/1601/victor-alcocer.pdf>
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Tratamientos de aguas residuales por lagunas de estabilización* (3ª ed.). Alfaomega.

- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP). (1981). *Normas técnicas para el proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales*. Editorial FOC.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (1995). *Libro para las comisiones de seguridad e higiene en el trabajo*. STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (1997). *Reglamento federal de seguridad, higiene y medio ambiente del trabajo*. STPS.
- Serrano Espinosa, L. (1997). *Las aguas residuales y sus tratamientos: El agua, factores de control y su contaminación*. ERCA.
- Sotelo Ávila, G. (1994). *Hidráulica general*. Limusa.
- Tchobanoglous, G. (2000). *Ingeniería de aguas residuales. Redes de alcantarillado y bombeo*. T III. McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (Vols. 1–2). McGraw-Hill.
- The Chlorine Institute, Inc. (2000). *The chlorine manual*. <https://www.hydroinstruments.com/files/Chlorine%20Handling%20Manual.pdf>
- Tomasini Ortiz, A. C. (2004). *Muestreo y preservación para coliformes fecales y huevos de helminto*. Serie autodidáctica de aguas residuales. Subdirección General de Administración del Agua (CNA), Coordinación de Tecnología Hidráulica (IMTA).
- Vega, G. E., y Ramos, H. J. G. (1996). *Alternativas de tratamiento de aguas residuales*. Facultad de Ingeniería-UNAM; IMTA.
- Water Pollution Control Federation (WPCF). (1990). *Operation of municipal wastewater treatment plants*. Imperial Printing Co.

ANEXO 1

**DIAGRAMAS Y PLANOS
DE PROCESOS**

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DIAGRAMA DE PROCESOS DEL SISTEMA DE LAGUNAS

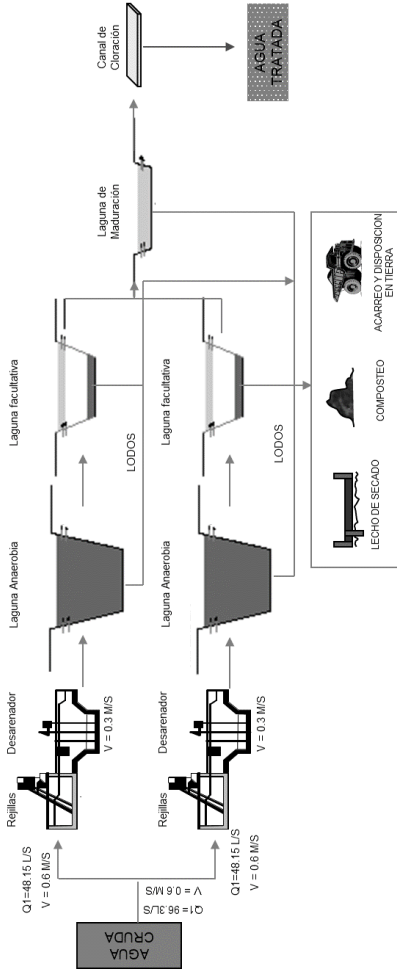


Operación o proceso Unitario	L (m) sup.	A (m) sup.	Tr (m)	TR (días)	VOL (m ³)	Especificaciones
Rejillas		1.065	0.61			Constará de 25 barras de 1.50 de L, con un espesor de 0.25 pulg, habiendo entre cada barra una separación de 3.54 cm, la inclinación de cada barra será de 49°.
Desarenador hidráulico	11.5	1.062	0.823			La masa del lodo generada es de 1.5 m ³ de arena cada 3 días.
Laguna Anaerobia (1 módulo)	55.91	46.36	4.5	2	8320	La tubería de entrada es de 50" de Ø, la salida de 50" de Ø. Temperaturas de 21-27 ° C y Kl de 0.38-0.63.
Laguna facultativa (1 módulo)	256.85	58.16	2.2	7	29190	La tubería de salida de 50" de Ø. Temperaturas de 22-28.5 ° C y kl de 0.42-0.70.
Laguna de maduración	304.11	112.8	1.8	7	58465	La tubería de salida de 50" de Ø. Temperaturas de 23-29.5 ° C y kl de 0.48-0.74.
Cloración	60	2	2	10-40 min	240	el sistema de cloración constará de 5 canales de 12 L x 2 A x 2 H, longitud total de 60 m.

L= Longitud, A= Anchura, Tr= Tramo, TR= Tiempo de Retención y VOL= Volumen

Figura 12. Especificaciones de la primera etapa de las lagunas de estabilización.
Nota. Elaboración propia.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

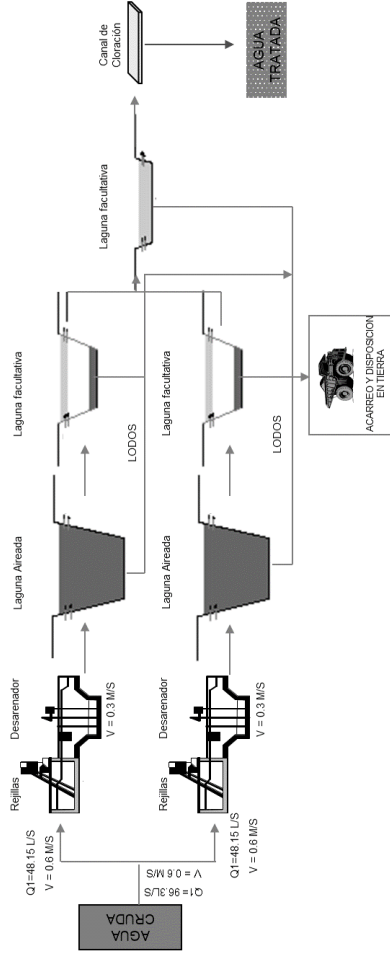


Calculo de la Eficiencia Máxima Teórica de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno				
Operación o proceso Unitario	Entrada (KG/DIA)	Salida (KG/DIA)	Remoción (KG/DIA)	Eficiencia (%)
Rejillas y desarenador	1938.5	1,822.19	116.31	6
Laguna anaerobia	1822.19	911.1	911.01	50
Laguna facultativa	911.1	182.22	728.88	80
Laguna de maduración	182.22	36.44	145.78	80
Cloración	36.44	35.71	0.73	2
MATERIA REMOVIDA= 1902.79 Kg/día				EFICIENCIA=98.16%

Calculo de la Eficiencia Mínima Teórica de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno				
Operación o proceso Unitario	Entrada (KG/DIA)	Salida (KG/DIA)	Remoción (KG/DIA)	Eficiencia (%)
Rejillas y desarenador	1938.5	1938.5	0	0
Laguna anaerobia	1938.5	1521.14	417.36	21.53
Laguna facultativa	1521.14	348.95	1172.2	77.06
Laguna de maduración	348.95	84.06	264.89	75.91
Cloración	84.06	82.38	1.68	2
MATERIA REMOVIDA= 1902.79 Kg/día				EFICIENCIA= 95.75%

Figura 13. Balance de materia de la primera etapa de las lagunas de estabilización.
 Nota. Elaboración propia.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



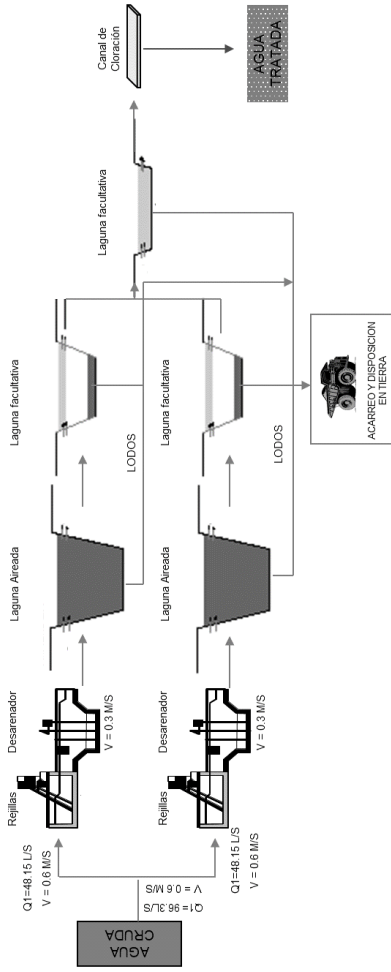
Operación o proceso Unitario	L (m) sup.	A (m) sup.	Ti (m)	TR (días)	VOL (m ³)	Especificaciones
Regillas		1.085	0.81			Constara de 25 barras de 1.50 de L, con un espesor de 0.25 pulg, habiendo entre cada barra una separación de 3.54 cm, la inclinación de cada barra sera de 45°.
Desarenador hidraulico	11.5	1.082	0.823			La masa del lodo generada es de 1.5 m ³ de arena cada 3 dias.
Laguna Aireada (1 modulo)	55.91	46.36	3	2	8320	La tubería de entrada es de 50" de Ø, la salida de 50" de Ø. Temperaturas de 21.27 ° C.
Laguna facultativa (1 modulo)	295.85	58.16	2.2	7	29190	La tubería de salida de 50" de Ø. Temperaturas de 22:28.5 ° C y H de 0.42:0.70.
Laguna Aireada	304.11	112.8	1.8	7	58455	La tubería de salida de 50" de Ø. Temperaturas de 22:28.5 ° C y H de 0.45:0.74.
Cloración	60	2		10-40 min	240	el sistema de cloración consistirá de 5 canales de 12 L x 2 A x 2 H, longitud total de 60 m.

L= Longitud, A= Anchura, Ti= Tiempo de Retención y VOL= Volumen

Figura 14. Especificaciones de la segunda etapa de las lagunas de estabilización.

Nota. Elaboración propia.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Calculo de la Eficiencia Máxima Teórica de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Operación o proceso Unitario	Entrada (KG/DIA)	Salida (KG/DIA)	Eficiencia (%)	Concentración de salida (mg/L)
Rejillas y desarenador	1938.5	1938.5	0	233
Laguna aireada	1938.5	969.25	50	116.50
Laguna facultativa	964.25	324.55	66	39.81
Laguna facultativa	324.55	110.35	66	13.47
Cloración	110.35	108.14	2	13.20
MATERIA REMOVIDA= 1830.1 Kg/día				
EFICIENCIA= 94.40%				

Calculo de la Eficiencia Mínima Teórica de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Operación o proceso Unitario	Entrada (KG/DIA)	Salida (KG/DIA)	Eficiencia (%)	Concentración de salida (mg/L)
Rejillas y desarenador	1938.5	1,822.19	6	219.02
Laguna aireada	1822.19	546.66	70	65.71
Laguna facultativa	546.66	164.00	70	19.71
Laguna facultativa	164.00	65.60	60	7.88
Cloración	65.6	64.29	2	7.72
MATERIA REMOVIDA= 1874.21 Kg/día				
EFICIENCIA=96.68%				

Figura 15. Balance de materia de la segunda etapa de las lagunas de estabilización.
 Nota: Elaboración propia.

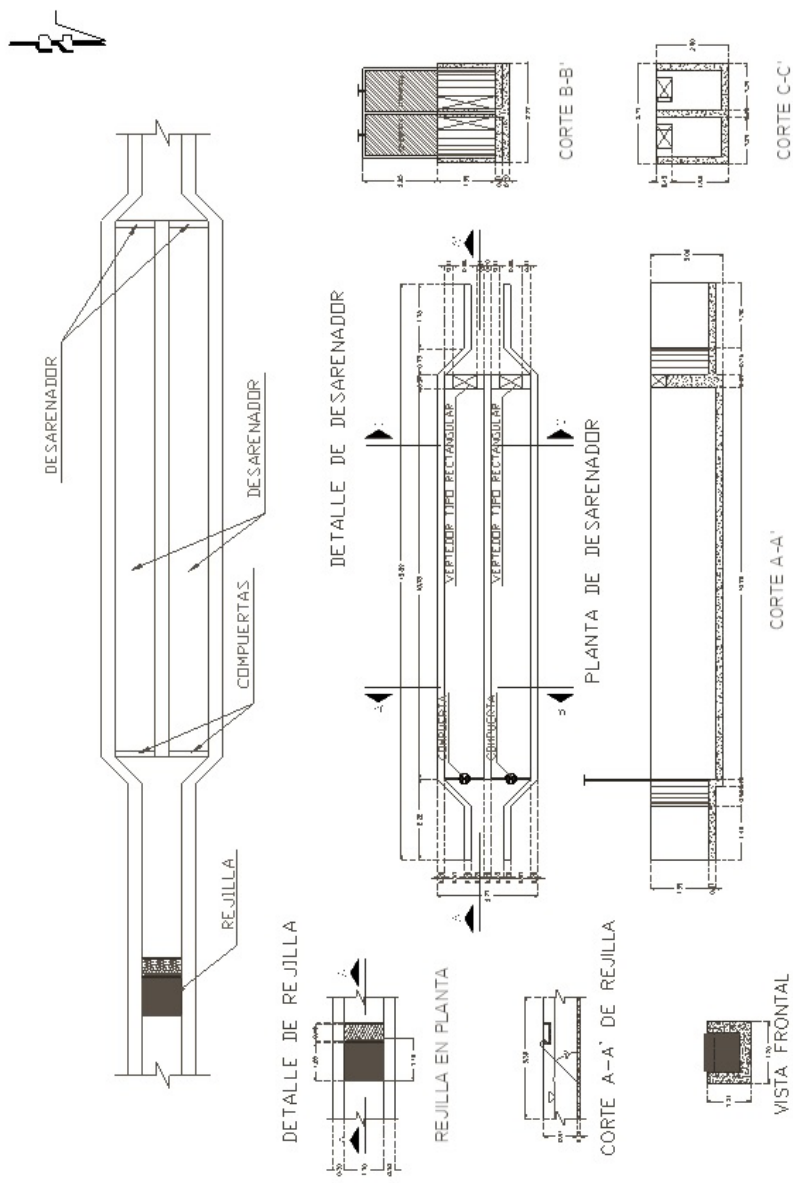


Figura 16. Detalles de pretratamiento.
 Nota. Elaboración propia.

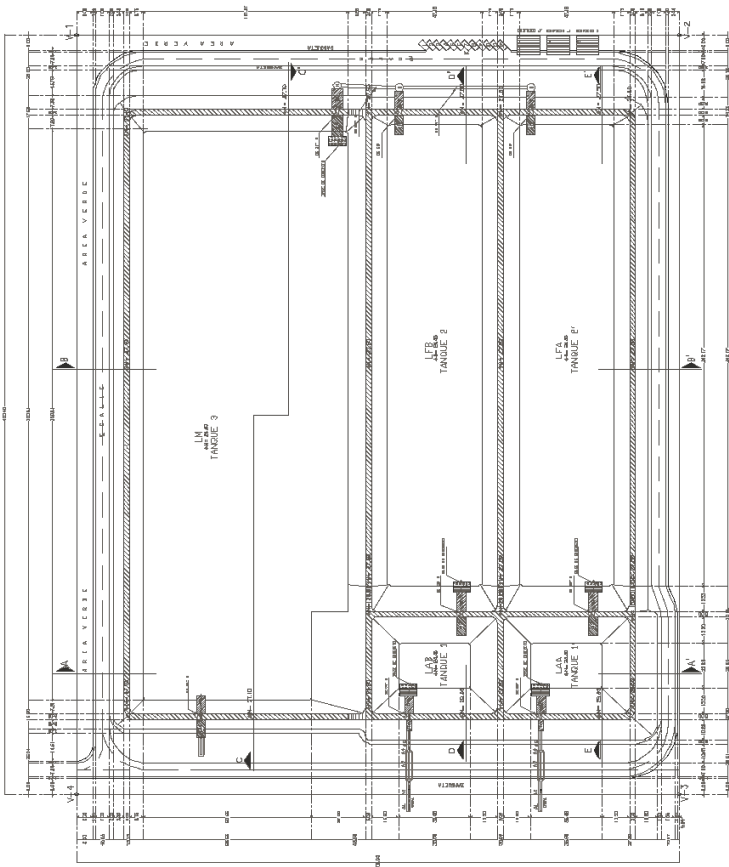


Figura 17. Vista en planta de la primera etapa.
 Nota. Elaboración propia.

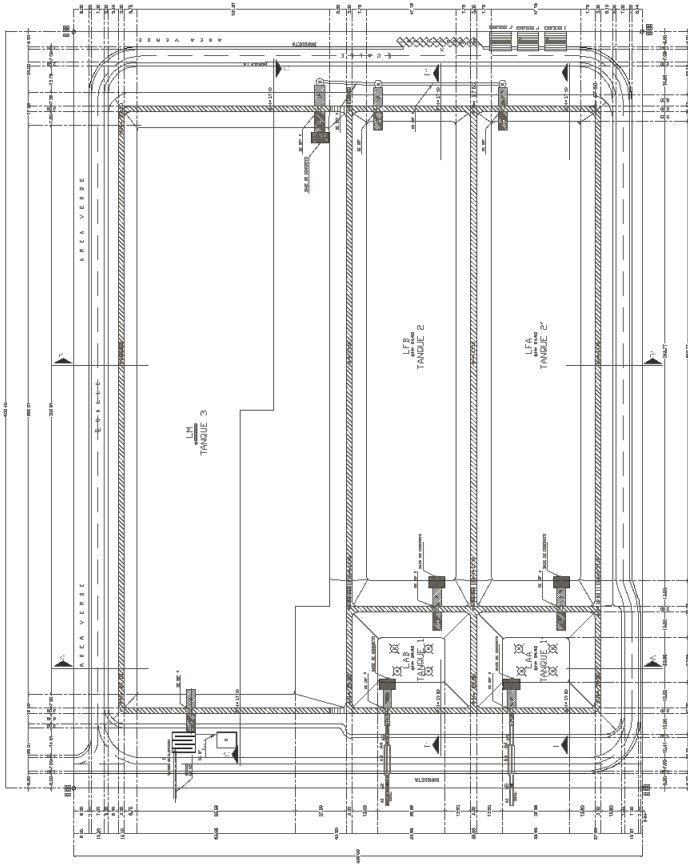
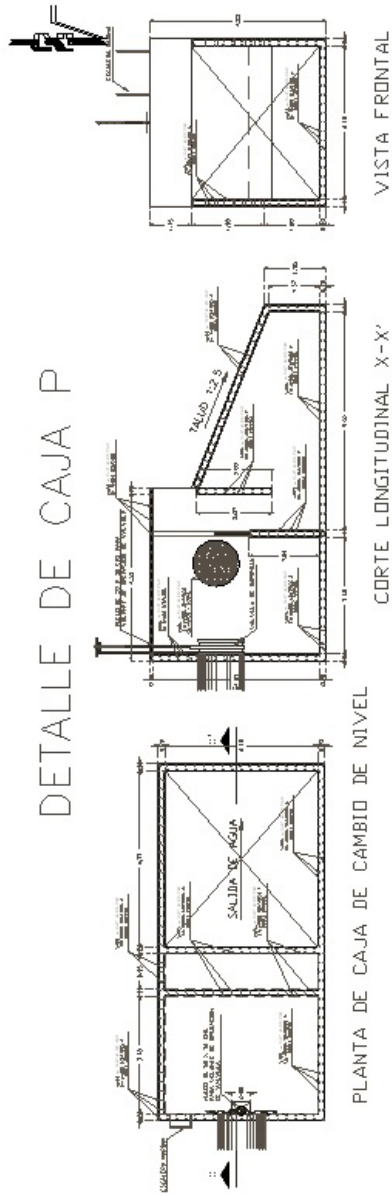


Figura 18. Vista en planta de la segunda etapa.
 Nota. Elaboración propia.

DETALLE DE CAJA P



DETALLE DE CAJA R

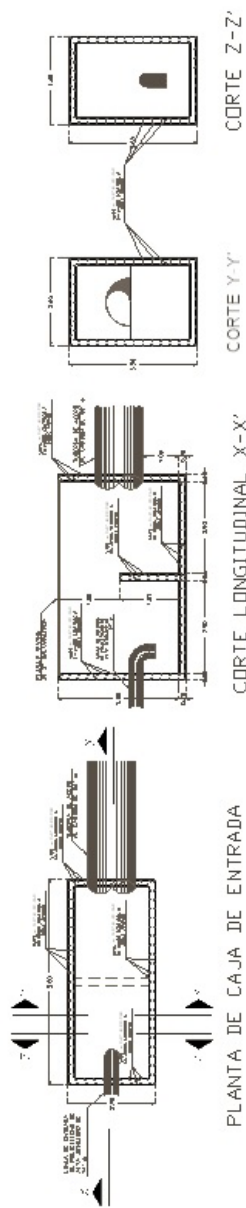


Figura 20. Detalles de cajas de cambio de nivel.
Nota. Elaboración propia.

ANEXO 2

**GLOSARIO DE TÉRMINOS
ESPECIALIZADOS**

A

Aclimatación. Es la capacidad de los organismos para adaptarse a los cambios en su ambiente.

Aireación. Consiste en lograr un contacto estrecho entre el agua y el aire, lo cual puede realizarse de varias maneras: dispersando el líquido en forma de rocío en el aire, inyectando burbujas de aire en el agua o mediante la agitación del líquido en presencia de aire.

Aireación mecánica. Es la introducción de oxígeno atmosférico en un líquido mediante el uso de paletas, turbinas, rociadores u otros sistemas mecánicos.

Agua cruda. Es el término para el agua residual que aún no ha recibido ningún tipo de tratamiento.

Aguas residuales. Son el agua usada y desechada por la comunidad o la industria, que contiene materia disuelta y en suspensión.

Aguas residuales domésticas. Son aquellas aguas de desecho generadas principalmente en casas, oficinas e instituciones. Estas no incluyen agua subterránea, superficial o de lluvia.

Aguas residuales industriales. Son las aguas de desecho generadas por fuentes o procesos industriales.

Ambiente. Se refiere comúnmente a las condiciones dinámicas de vida que existen en un área de estudio específica.

B

Bacterias. Son microorganismos unicelulares, desprovistos de clorofila, que son esenciales para una amplia gama de tratamientos biológicos. Sus funciones abarcan desde la oxidación biológica y la digestión de lodos hasta la nitrificación y desnitrificación.

Bacteria aerobia. Es un tipo de bacteria que necesita oxígeno elemental libre para sobrevivir.

Bacteria anaerobia. Son microorganismos que requieren la ausencia de oxígeno libre para su crecimiento.

Bacteria facultativa. Es aquella que puede crecer y metabolizar tanto en presencia como en ausencia de oxígeno libre.

Bacteria patógena. Son aquellas que causan enfermedades en un organismo huésped al crecer como parásitos.

C

Carga orgánica. Se refiere al contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presente en el agua. Generalmente, se expresa en kilogramos de DBO por unidad de tiempo y cuantifica la materia orgánica que atraviesa un sistema de tratamiento o un cuerpo de agua.

Clarificador. Es un tanque sedimentador (circular o rectangular) diseñado para remover los sólidos sedimentables presentes en aguas naturales o residuales.

Cloro residual. Este término se refiere al cloro presente en el agua cuando ha sido adicionado durante el proceso de cloración.

Cloro libre. Es el cloro presente en forma de ácido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCl) y cloro molecular disuelto.

Cloro total. Es el cloro presente en formas libre y combinada.

Concentración. Es la cantidad de una sustancia disuelta por unidad de volumen, o por unidad de peso de sólidos. Generalmente se expresa en miligramos por litro (mg/L).

Cono Imhoff. Es un recipiente cónico graduado que se utiliza para medir el volumen de sólidos sedimentables en un líquido, mediante sedimentación en un tiempo determinado.

Cortocircuito. Es una condición en la que, dentro de un tanque, el tiempo de paso del flujo en ciertas secciones es inferior al tiempo medio de retención hidráulica.

D

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días.

Demanda química de oxígeno (DQO). Es la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. El método que involucra el uso del dicromato es preferible sobre procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor potencial redox y su aplicabilidad a una gran variedad de muestras.

Desechos tóxicos. Son residuos que pueden provocar una reacción adversa al entrar en contacto con organismos vivos.

Desnatador. Es un mecanismo diseñado para remover grasas y natas flotantes de la superficie de un tanque.

E

Eficiencia. Es la relación entre los resultados obtenidos de una operación y la energía o el esfuerzo invertido para lograrlos. Específicamente, se expresa como el porcentaje de la cantidad total de contaminantes que sale de un sistema, en comparación con la cantidad total que entra.

Efluente. Es el líquido que sale de un proceso o de un espacio confinado.

F

Flujo pistón. Es un tipo de flujo donde las partículas de un fluido salen de un tanque o tubería exactamente en el mismo orden en que entraron.

G

Gasto medio. Es el promedio aritmético del volumen de líquido que fluye por un punto determinado en un tiempo dado.

M

Manto de lodos. Es la capa de lodos que permanece en suspensión hidrodinámica dentro de un cuerpo de agua o aguas residuales, siendo su aparición más frecuente en los tanques sedimentadores.

Metabolismo. Es el proceso bioquímico en los organismos vivos donde el alimento se utiliza para generar energía y se producen desechos.

Microorganismos. Son seres vivos diminutos, generalmente microscópicos, que incluyen algas, bacterias, hongos, protozoarios y virus.

Monitoreo. Es la observación, muestreo y análisis rutinario de parámetros específicos. Su objetivo es estimar los índices de comportamiento y la eficiencia de un tratamiento.

N

Nitrógeno orgánico. Es el nitrógeno que se encuentra químicamente unido a moléculas orgánicas como proteínas, aminas y aminoácidos.

Nutrientes. Son sustancias que los organismos asimilan para promover su crecimiento. Si bien este término se aplica comúnmente al fósforo y al nitrógeno, también incluye otros elementos esenciales y elementos traza.

O

Organismo autótrofo. Es una célula que utiliza materia orgánica para su crecimiento y obtener energía.

Organismos filamentosos. Se denomina a bacterias, hongos y algas que desarrollan colonias en forma de hilos. Esta característica dificulta la buena sedimentación de la masa biológica que producen.

Ortofosfatos. Son sales que contienen fósforo en la forma $(PO_4)_3^-$. Son un nutriente esencial para el crecimiento de plantas y animales.

Oxígeno disuelto (OD). Es el oxígeno que se encuentra disuelto en aguas naturales, aguas residuales u otros líquidos, y se expresa comúnmente en mg/L.

P

pH. Representa la acidez o alcalinidad de las aguas. La escala de medición por lo general es de 0-14.

Proceso biológico. Es aquel en el que las bacterias y otros microorganismos, a través de sus actividades metabólicas, descomponen la materia orgánica compleja en sustancias más simples y estables.

Protozoarios. Son pequeños animales unicelulares que incluyen amibas, ciliados y flagelados.

S

Septicidad. Es una condición que se produce por el crecimiento de organismos anaerobios.

Sobrenadante. Es la capa superior de líquido que se encuentra en tanques de aguas residuales, como sedimentadores o espesadores.

Sólidos disueltos. Sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en el agua.

Sólidos sedimentables. Son la materia presente en las aguas residuales que no se mantiene en suspensión por un periodo determinado y tiende a asentarse.

Sólidos suspendidos totales (SST). Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio (método estándar).

Sólidos totales (ST). Representan la suma de todos los sólidos disueltos y suspendidos presentes en el agua natural o en las aguas residuales.

T

Tanque de contacto. Tanque utilizado en el tratamiento de aguas para promover el contacto de productos químicos con el líquido.

Tiempo de retención. Es el periodo durante el cual el flujo de agua permanece en un tanque. Este tiempo permite que se lleven a cabo procesos de almacenamiento, biológicos, físicos o químicos. También se le conoce como tiempo de contacto.

Tiempo de retención de sólidos. Es un término que se usa indistintamente con el de tiempo de retención celular.

Transferencia de oxígeno. Es el intercambio de oxígeno entre una fase líquida y una gaseosa. Se cuantifica como el porcentaje de oxígeno absorbido por el líquido, en comparación con la cantidad total de oxígeno introducida mediante un mecanismo de oxigenación.

Tratamiento convencional. Son los procesos de tratamiento de aguas ampliamente reconocidos y establecidos. Estos generalmente comprenden el tratamiento primario y secundario, diferenciándose de los tratamientos avanzados.

Tratamiento secundario. Se refiere comúnmente a los procesos que involucran una clarificación posterior a un tratamiento biológico.

Toxicidad. Es el efecto adverso que una sustancia, en una concentración específica, tiene sobre un organismo vivo.

V

Virus. Es la forma de vida más pequeña, capaz de causar infecciones y enfermedades en humanos y animales.

Volátil. Capacidad de una sustancia para ser evaporada a bajas temperaturas.

SEMBLANZAS

Gaspar López Ocaña

Es ingeniero ambiental, maestro en Ingeniería y Protección Ambiental y doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales. Ha realizado investigación y proyectos sobre contaminación de suelo, modelación ambiental, restauración de suelos impactados por hidrocarburos, evaluación de impactos, riesgos y daños ambientales, monitoreo de calidad del aire, calidad del agua, diseño de sistemas de potabilización y tratamientos de aguas residuales, disposición y tratamiento térmico de RS, legislación y gestión ambiental. Es responsable-colaborador en proyectos de carácter ambiental, orientados hacia el tratamiento de aguas residuales, potabilización, impacto ambiental y gestión de RSU. Actualmente es profesor investigador tiempo completo titular B de la División de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Es responsable del Laboratorio de Tecnología del Agua, líder del Grupo de Investigación Procesos Termodinámicos y Gestión Hídrica Sostenible (GI-DAC-BIOL-13-2024). Ha sido miembro del SNI (Nivel 1), es miembro del SEI, cuenta con perfil PRODEP y como director de tesis ha concluido 66 de licenciatura, 16 de maestría, 4 de doctorado. Ha publicado dos libros, 19 capítulos, 29 artículos científicos en revistas indizadas y científicas; participa en encuentros académicos (nacional e internacional) y en redes de investigación (nacional e internacional).

Víctor Ortíz Alcocer

Ingeniero civil por la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, maestro en Ingeniería y Protección Ambiental por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y actualmente candidato a doctor en Liderazgo y Alta Dirección por el Instituto Universitario de Yucatán. Desde agosto de 2020 es jefe de la División de Ingeniería Civil del Tecnológico Nacional de México campus de Los Ríos, docente en la misma institución desde 2009,

donde ha liderado procesos académicos y administrativos, además de asesorar a estudiantes y participar en procesos de titulación. Su experiencia profesional incluye su labor como técnico ambiental y docente en la UJAT, trabajando en proyectos con PEMEX y en cursos de regularización. Ha complementado su formación con estudios en AutoCAD y análisis estructural con SAP2000, y ha realizado investigaciones en tratamiento de aguas residuales, destacando su tesis de licenciatura y maestría sobre el tratamiento y la disminución de coagulantes floculantes convencionales. Se distingue por su liderazgo académico, por su compromiso con el desarrollo sustentable y su aporte a la formación de nuevos profesionales en el sureste de México.

Nancy Estrada Pérez

Es ingeniero ambiental, maestra en Ingeniería Tecnología y Gestión Ambiental. Actualmente cursa el doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales. Ha publicado tres artículos en revistas indexadas referentes al tratamiento de agua. Ha participado como ponente en congresos internacionales y nacionales. En la iniciativa privada tiene experiencia como técnico laboratorista y de campo en muestreo y caracterización de descargas de aguas residuales. Ha participado en la evaluación y diseño de sistemas de tratamiento de agua potable; se ha desempeñado en el área administrativa y técnica en el seguimiento de proyectos en el Laboratorio de Tecnología del Agua. Ha desarrollado proyectos en el área de calidad del agua y aguas residuales para el diseño de sistemas de tratamiento y potabilización. Ha dirigido tesis de licenciatura sobre gestión e ingeniería ambientales.

Carlos Alberto Torres Balcázar

Ingeniero industrial químico por el Instituto Tecnológico de Celaya y maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Es profesor en los programas de Ingeniería Ambiental en los niveles licenciatura y maestría en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, impartiendo cursos sobre operaciones y procesos unitarios, sistemas de tratamiento de aguas para potabilización y para aguas residuales domésticas, energías alternas, manejo y tratamiento de residuos sólidos urbanos, entre otros. Ha desarrollado y colaborado en más de quince proyectos de investigación para el tratamiento de aguas residuales domésticas, mediante lodos activados en reactores de mezcla completa continuos y discontinuos, filtros biológicos, humedales artificiales realizando pruebas con diferentes especies de plantas nativas en la zona del sureste mexicano, así como incineración de residuos sólidos. Ha sido colaborador en numerosos artículos científicos arbitrados a nivel nacional e internacional y capítulos de libros. Ha sido ponente en congresos nacionales e internacionales y ha dirigido tesis de licenciatura y maestría. Miembro del Grupo de Investigación Procesos Termodinámicos y Gestión Hídrica Sostenible de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y miembro del Sistema Estatal de Investigadores del Estado de Tabasco. Actualmente se desarrolla en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Tecnologías del Agua.

Rudy Solís Silván

Es ingeniero ambiental, maestro en Ciencias Ambientales y doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales. Ha publicado diversos artículos en revistas indexadas referentes al tratamiento de agua. Ha participado como ponente en congresos internacionales. Miembro del SEI de los periodos 2015-2024. Fue director técnico en Agua y Saneamiento Urbano de la Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental. Es capacitador externo en materia

ambiental y seguridad en el trabajo (Nº de registro SOSR-810822-7Lo-0005). Es gestor ambiental para la elaboración de MIA en sus modalidades particular y general, informes preventivos, estudios de riesgo ambiental y evaluación de daños ambientales (número de autorización N° SBSCC-AUT-PF-003-2021/ EXPEDIENTE N° PF-003-2021). Obtuvo el primer lugar como asesor en el área de biotecnología y ciencias agropecuarias en el 6to. Encuentro de Jóvenes hacia la Investigación, en 2018. Primer lugar en industria y manufactura en 17a. Expo Industrial CANACINTRA Tabasco 2019, con los prototipos: Robot buscador, Planta procesadora de pozol y máquina secadora de cacao. Actualmente cuenta con su propia empresa ambiental, ECOBIOTSA, donde recibe a estudiantes para realizar residencias profesionales.

Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Pablo Marín Olán
Director de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica

Analuís Kú Ortíz
Jefa del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas
