

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LOS ASPECTOS
AMBIENTALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**T E S I S A
QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN INTEGRAL DE
RESIDUOS**

**P R E S E N T A:
BIÓL. DANIEL CEJUDO ROBLEDO**

**DIRECTORA:
DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR
CODIRECTORA:
DRA. MARIA LUISA CASTREJÓN GODÍNEZ**

CUERNAVACA, MORELOS

MAYO, 2026

CONTENIDO

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
II.1. Situación del agua dulce	3
II.2. Sectores con mayor demanda del agua dulce	3
II.3. Contaminación del agua dulce	4
II.3.1. Aguas residuales	6
II.3.2. Lodos residuales	6
II.4. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	7
II.5. Tren de tratamiento de aguas residuales	8
II.6. Clasificación de los procesos unitarios de tratamiento de aguas residuales	11
II.7. Procesos Físicos	12
II.8. Procesos biológicos	13
II.9. Procesos químicos	15
II.10. Marco legal en materia del agua en México	16
II.11. Normas Oficiales Mexicanas vigentes en materia hídrica	17
II.12. Parámetros de análisis de los contaminantes del agua	19
II.13. Beneficio ambiental y socio económico del funcionamiento de las PTARs	19
II.14. Diagnóstico de sustentabilidad de una PTAR	21
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	23
CAPITULO IV. OBJETIVOS	25
IV.1. Objetivo general	25
IV.2. Objetivos específicos	25
CAPÍTULO V. PROPUESTA METODOLÓGICA	26
V.1. Sitio de estudio	26
V.2. Análisis de la infraestructura y tecnología de la PTAR de la FCB y la ETL	27
V.3. Evaluación del conocimiento técnico de los responsables de operación y mantenimiento de la PTAR de la FCB y la ETL	28
V.4. Evaluación de la calidad del agua tratada de la PTAR de la FCB y la ETL	30
V.5. Análisis de factibilidad económica en la PTAR FCB-ETL mediante la técnica del Costo Total Anual	32

V.6. Evaluación de aspectos ambientales mediante la matriz de Leopold.	33
CAPÍTULO VI. RESULTADOS.....	37
VI.1. Análisis de la infraestructura y tecnología de la PTAR de la FCB y la ETL mediante la lista de verificación.....	37
VI.2. Evaluación del conocimiento técnico de los responsables de operación y mantenimiento de la PTAR de la FCB y la ETL.....	40
VI.3. Evaluación de la calidad del agua tratada de la PTAR de la FCB y la ETL	48
VI.4. Técnica de la Ecuación del Costo Total Anual para la factibilidad económica de la PTAR de la FCB y la ETL	50
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES	62
CAPÍTULO IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
CAPÍTULO X. ANEXOS	75

Índice de tablas

Tabla 1. Contaminantes importantes de aguas residuales	5
Tabla 2. Técnicas de procesos físicos de las aguas residuales	12
Tabla 3. Técnicas de procesos biológicos de las aguas residuales	14
Tabla 4. Técnicas de procesos químicos de las aguas residuales.	15
Tabla 5. Normas Oficiales Mexicanas concernientes a la implementación y permisibilidad de la fuente hídrica nacional.	18
Tabla 6. Parametros de análisis de los contaminantes del agua	19
Tabla 7. Ficha técnica de los equipos de tratamiento de la PTAR FCB-ETL.	27
Tabla 8. Parámetros de evaluación de la PTAR FCB-ETL	31
Tabla 9. Actividades y aspectos ambientales en la matriz de Leopold	34
Tabla 10 . Valoración de la importancia del impacto.	36
Tabla 11. Lista de verificación del estado y costo de los equipos de la PTAR de la FCB y la ETL.	37
Tabla 12. Análisis de desafíos y soluciones	43
Tabla 13. Conteos y Porcentajes por palabras de las entrevistas	46
Tabla 14. Parámetros evaluados del agua de la PTAR de la FCB y la ETL.....	48
Tabla 15. Matriz de evaluación de aspectos y riesgos ambientales de la PTAR de la FCB y la ETL	57
Tabla 16. Síntesis de la clasificación de la Matriz de evaluación	61

Índice de figuras

Figura 1. Diseño de una PTAR de 3 niveles.	8
Figura 2. Ejemplo de diagrama de los niveles de tratamiento de aguas residuales.	9

Figura 3. Tipos de procesos de tratamiento de aguas residuales.	12
Figura 4. Niveles jerárquicos de la legislación mexicana en materia del agua.....	17
Figura 5. Diagrama de los componentes implementados en una PTAR.	21
Figura 6. Croquis de la localización de la PTAR de la FCB y la ETL.	26
Figura 7. Muestreo del agua residual de la entrada y salida de la PTAR de la FCB y la ETL.	30
Figura 8 Equipos de análisis de la calidad del agua..	32
Figura 9. Equipos cruciales para la operación de la PTAR de la FCB y la ETL.	38
Figura 10. Equipo de Fibras de filtración de la PTAR de la FCB y la ETL.	39
Figura 11. Mapa de ideas derivado de las entrevistas a los encargados de las PTARs de la FCB y la ETL, y la PTAR IMTA.	47

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Formula de la eficiencia de Remoción de la PTAR.	32
Ecuación 2. Técnica de ecuación del costo total anual.	33
Ecuación 3. Cálculo de la importancia del impacto ambiental de Fernández.....	35
Ecuación 4. Escenario Mínimo del CTA de la PTAR de la FCB y la ETL.	51
Ecuación 5. Resultado del Costo Capital del escenario mínimo	52
Ecuación 6. Resultado del Costo de Depreciación del escenario mínimo	52
Ecuación 7. Resultado del Costo de Reparación del escenario mínimo	53
Ecuación 8. Resultados de la ecuación del CTA Mínimo de la PTAR de la FCB y la ETL.....	53
Ecuación 9. Escenario Máximo del CTA de la PTAR de la FCB y la ETL.....	53
Ecuación 10. Resultado del Costo de Depreciación del escenario máximo	54
Ecuación 11. Resultado del Costo de Reparación del escenario máximo	54
Ecuación 12 . Resultados de la ecuación del CTA Máximo de la PTAR de la FCB y la ETL.	55

Índice de Anexos

Anexo 1. Entrevista al Director de Desarrollo de Infraestructura de Obras de la UAEM.....	75
Anexo 2. Entrevista al Secretario en Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UAEM.	79
Anexo 3. Entrevista Jefa de Departamento en la Sección de Saneamiento y Calidad del agua de la UAEM. .	85
Anexo 4. Entrevista al Tecnólogo del agua y Operador de la PTAR piloto del IMTA	89

Índice de abreviaturas

PTAR	Planta tratadora de aguas residuales	NOM	Norma Oficial Mexicana
PTAR	Planta tratadora de aguas residuales de la Facultad de Ciencias	NMX	Norma Experimental Mexicana
FCB-	Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas		
ETL			
EDAR	Estructura depuradora de aguas residuales	SST	Sólidos Suspendidos Totales
COT	Carbón Orgánico Total	CF	Coliformes Fecales
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno	NT	Nitrógeno Total
DQO	Demanda Química de Oxígeno	TOX	Toxicidad
PT	Fosforo Total	pH	Potencial de hidrogeno
SDT	Sólidos Disueltos Totales	RBM	Reactor Biológico de Membrana
GIR	Gestión Integral de Recursos	RAFA	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

RESUMEN

La disposición de agua de calidad es esencial en todos los ámbitos que comprende a la sociedad humana y, más importante aún, al equilibrio ecológico en el planeta. Sin embargo, las actividades antropogénicas como la agrícola, industrial, minera, textil, de construcción y la domésticas han generado un aporte mayor de agua residual, ocasionando que sea insostenible su reintroducción de manera natural al ciclo del agua (CONAGUA, 2023). Por ello, se han implementado plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que son instalaciones que permiten darle un procedimiento de limpieza al agua que contiene contaminantes, con el fin de poder reutilizarla o reintroducirla al ambiente (Villanova et al., 2017a; Romero, 2013). En este contexto, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos ha establecido plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) para reducir los riesgos ambientales y para la salud humana. Actualmente, las PTARs se encuentran fuera de operación por falta de mantenimiento. El Objetivo de la presente investigación fue evaluar la factibilidad económica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y de la Escuela de Técnicos Laboratoristas (PTAR de la FCB y la ETL) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. La metodología llevó a cabo la verificación presencial del estado de los equipos implementados en la PTAR de la FCB y la ETL; adicionalmente se realizaron entrevistas semiestructuradas a los encargados de la PTAR, también se evaluó la calidad del agua, se utilizó la ecuación del costo total anual centrada en los costos operativos y de mantenimiento, y finalmente se empleó la matriz de Leopold para determinar el impacto ambiental. La evaluación de la PTAR de la FCB y la ETL no busca únicamente representar la reparación de maquinaria, sino incluida la factibilidad de un modelo de gestión institucional, en específico, los resultados en la revisión a los equipos y el personal administrativo denotan una ruptura en la cadena de mando y regularización de la infraestructura, resultando en un costo por rehabilitación y operatividad en el primer año evaluado cercano a \$484,333 M.N., además los resultados de la calidad del agua, confirman un incumplimiento crítico en la remoción de 47.69% en DQO, 12.35% en SDT y 50% en SST. Por último, la evaluación del impacto ambiental revela una paradoja ambiental, debido a que la PTAR se encuentra en un estado inoperativo, que genera impactos severos y críticos, fungiendo como detonante en riesgos sanitarios para la comunidad universitaria.

Palabras clave: Planta tratadora, agua residual, factibilidad económica.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En años recientes han disminuido las fuentes pluviales, así como los caudales de ríos y lagos; en general ha ocurrido un descenso en la cantidad de agua disponible en el planeta, en específico en las fuentes hídricas destinadas para la ingesta y saneamiento (CEAGUA, 2021). Alrededor de dos mil millones de personas en el mundo carecen de los servicios del agua; esto cada vez genera un desbalance mayor en las ciudades, ya que en ellas se congregan altas tasas de habitantes, ocasionando por defecto una mayor generación de residuos que llegan a parar a los drenajes y alcantarillado, formando, en el proceso lodos residuales de las actividades antropogénicas (UNESCO, 2023). Debido a lo anterior, el agua forma una parte primordial en el metabolismo social, tanto en la creación de bienes que servirán para el uso diario del hogar como en el servicio esencial de agua limpia para actividades domésticas, así como también agua potable para el consumo (Di Donato et al., 2015).

Por lo anterior, surge la necesidad de implementar las Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR por sus siglas), estas instalaciones tienen como objetivo dar tratamiento, manejo y reutilización del agua, garantizando la protección del ambiente y la salud pública, al evitar la propagación de residuos químicos o biológicos por el agua. Además, representan un importante avance en la búsqueda del tratamiento focalizado del agua para su reaprovechamiento como un recurso controlado (Vilanova et al., 2017a; Instituto del agua, 2024a). La disposición de agua de calidad ya sea potable o no, es de carácter indispensable para la sociedad humana y sus actividades, tanto sociales como económicas, en los países industrializados. El uso de PTARs o estructuras depuradoras de agua residual (EDAR) como también se les conoce, cumple con mecanismos específicos (Peña y Castillo, 2015; Vilanova et al., 2017b). Una vez dicho lo anterior, en diversos proyectos con PTARs, el operador de la planta, que es el responsable directo del tratamiento del agua, debe monitorear constantemente el mantenimiento y la gestión de los insumos, así como también acatar las normas pertinentes con respecto a la reutilización del afluente y la disposición de los lodos generados (Espinosa y Fall, 2013; CBR, 2021).

Bajo esta perspectiva, es fundamental asumir que el agua residual constituye, en sí misma, un residuo generado por las actividades humanas que requieren una gestión integral. A partir de esta premisa y de la problemática anteriormente expuesta, surge el presente proyecto que busca analizar la factibilidad económica del modelo empleado en la Planta

Tratadora de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

II.1. Situación del agua dulce

El agua es vital para todas las formas de vida, englobando tanto al funcionamiento de ecosistemas, como también la subsistencia de los organismos que de ella dependen, las características químicas que son inherentes al agua le permiten llevar a cabo un proceso de reintegración en el planeta, permitiendo así que podamos encontrar esta fuente hídrica en distintos ambientes, como podrían ser los mares, lagos, ríos, cuencas, acuíferos, e inclusive icebergs en los casquetes polares (Cottler, 2010; CONAGUA, 2024).

En el planeta Tierra se posee alrededor de 1,386,000,000 km³ de agua extendidos alrededor de todo el mundo; de esa cantidad, aproximadamente el 97.5% pertenece a agua salada, correspondiente a alrededor de 1,351,000,000 km³ y el 2.5% restante a agua dulce, aproximadamente 34,650,000 km³ distribuidos en lagos, ríos, cuencas, pozos y cuerpos de agua. En México se posee aproximadamente 8,000,000 km³ de agua dulce disponible, comparable al 0.1% del nivel mundial (AQUAE, 2024; Bordino, 2024). El agua está en el punto central del desarrollo de la subsistencia ambiental y de las actividades antropogénicas, como parte del estrecho vínculo entre el desarrollo socioeconómico y demográfico de la población (ONU, 2021).

II.2. Sectores con mayor demanda del agua dulce

El metabolismo de las actividades antropogénicas gira en torno al origen de los materiales que se utilizan en los bienes y servicios, y, a su vez, el destino que estos mismos tendrán (Di Donato et al., 2015). En primera instancia, el abastecimiento a la industria agrícola, ganadera, alimenticia, textil, energética y de construcción consume entre el 76-80% total del agua concesionada, y en segunda instancia, el uso doméstico representa alrededor del 15-20% total de agua disponible (IMCO, 2023). De acuerdo con los informes de riesgos mundiales del Foro Económico Mundial (2019), el agua es reconocida como un reto debido al paulatino cambio climático, aunado al aumento poblacional, así como a la creciente demanda de la fuente hídrica, generando como resultado residuos que llegan a las fuentes

hídricas potables y de drenaje. Al visualizar los recursos y la población, se refleja la presión social, política e industrial a nivel global; para ello, es imperante una actualización en el marco legal con respecto al uso de este recurso, además de proyectos avocados a la minimización de residuos (lodos), al tratamiento de las aguas residuales por parte de las industrias con mayor demanda de la fuente hídrica y, más importante aún, técnicas multicriterio en materia de gestión ambiental, enfocadas en una producción más limpia con respecto a la implementación del agua dentro de sus procesos productivos (Ozturk et al., 2016; UDAX, 2022).

Todos los materiales de nuestros bienes y servicios que se utilizan en la vida diaria corresponden a una multitud de mecanismos productivistas, desde la comida que se consume diariamente hasta las prendas, vehículos y demás objetos lúdicos de nuestra sociedad. *A priori*, en un hogar mexicano se gastan alrededor de dos mil a cinco mil litros diarios en promedio, destinados en la higiene personal (duchas, sanitarios y lavamanos) y el resto en la preparación de alimentos (INEGI, 2018). Dichos alimentos, a su vez, necesitaron del riego de la fuente hídrica del agua potable para crecer y producirse, además de la electricidad u otras fuentes para funcionar óptimamente (Ozturk et al., 2016; Arreguin, 2020).

II.3. Contaminación del agua dulce

El mundo, en la actualidad, tiene un serio problema en cuestión del mantenimiento del agua de consumo humano, y parte de ello es debido a los agentes adversos presentes en el agua (UNESCO, 2024). Los principales contaminantes son ocasionados por el modo de vida antropogénico (Tabla 1), que, en síntesis, se alinea al modelo capitalista actual. Derivado de la relación causa-efecto que ha ocasionado el deterioro ambiental, la intervención en el campo con el uso de plaguicidas y fertilizantes en el ámbito agropecuario ha resultado en la filtración de químicos a las aguas subterráneas, además del uso desmesurado del agua en la ganadería (Chávez, 2017). Todo esto afecta la calidad del agua, incluida la presencia de químicos y detergentes en el agua para fines textiles (Ozturk, et al., 2016). También se ven inmiscuidos en este círculo vicioso las industrias farmacéuticas, debido al descarte injustificado de la descarga química de medicamentos, y la disposición inadecuada de medicamentos por la población (Estrada et al., 2013; Gómez et al., 2016). Otro tema

importante son las metalúrgicas y mineras, ocasionando no solo el aumento de compuestos inorgánicos, no biodegradables, presentes en las fuentes hídricas, sino también incrementando la incidencia de metales pesados en el agua (AQUAE, 2024).

Tabla 1. Contaminantes importantes de aguas residuales

Contaminante	Efecto
Materia orgánica	Desoxigenación del agua, olor indeseado y muerte de flora, fauna y microorganismos.
Materia suspendida	Si es orgánica flota al degradarse, generando turbidez, obstrucción de oxígeno, luz solar y el alimento para las especies marina o terrestres, si va al lecho marino, puede ocasionar la erosión de bancos marinos, impidiendo la reproducción de flora y fauna marina.
Sustancias corrosivas	Al desintegrarse (disolverse) en el agua, provocan una reacción química, que degrada la superficie, interrumpiendo el ciclo natural del agua e inclusive la muerte de la fauna y flora dependiente de la fuente hídrica alterada.
Metales pesados	Al acumularse en los ecosistemas acuáticos pueden ocasionar problemas tóxicos e inclusive la muerte de flora y fauna circundante.
Microorganismos patógenos	Ocasionan enfermedades.
Materia refractaria	Provocan aumento de temperatura, turbidez, bioacumulación de toxinas y por ende desbalance en las concentraciones de oxígeno.
Nutrientes	Al acumularse no solo sirven de nutriente a organismos patógenos, también puede generar la polución del agua subterránea.

Nota: contaminantes representativos en las actividades humanas tanto industriales, agrícolas, e inclusive del hogar (metabolismo domestico), muchos tipos de residuos ocupan varios tipos de indicadores y en consecuencia pueden recurrir a usar varios tipos de PTAR, en distintos niveles. Cuadro adaptado de "Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño" (Romero, 2013).

II.3.1. Aguas residuales

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2025 las define como aquellas aguas que han sido utilizadas y que, por lo tanto, contienen una mezcla de sustancias contaminantes, desechos orgánicos, sólidos suspendidos y contaminantes químicos; además requieren un tratamiento adecuado para evitar problemas de contaminación y preservar el ambiente. De igual forma, en México, de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002, el agua residual se refiere a toda aquella proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y, en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (DOF, 2003).

De acuerdo con cifras de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por sus siglas SEMARNAT, en 2021, en México se produjeron alrededor de treinta y nueve millones y medio de metros cúbicos de aguas residuales diariamente. La mayor parte de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento previo, repercutiendo de manera negativa en el ambiente. En específico, las descargas de aguas residuales municipales, concentran un especial interés en los organismos reguladores, dado que, a nivel de gobierno, el grupo más pequeño que pueda ser evaluado permite una mejor cuantificación de la generación y deposición de la fuente hídrica, ya que, en muchos casos, contienen residuos industriales, agrícolas y domésticos, debido, en consecuencia, a un mal manejo de los residuos (Domínguez et al., 2024). En diversidad de situaciones, el agua residual provoca efectos inmediatos, como contaminación tóxica de lagos, ríos, y otros, otros cuerpos de agua, así como, repercusiones a largo plazo del daño ocasionado al ambiente, tales como deterioro de los lechos marinos, decremento de la fauna y flora dependiente de la fuente hídrica, y, por último, la generación de lodos o fangos nocivos para el ambiente (UNESCO, 2017; SEMARNAT, 2021).

II.3.2. Lodos residuales

Los lodos son definidos dentro de la NOM-004-SEMARNAT-2002 como sólido con contenido variable de humedad, proveniente del desazolve (acción de extraer sólidos del alcantarillado) de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas

potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización (proceso físico, químico o biológico para acondicionamiento de provecho o disposición final) (DOF, 2003).

De acuerdo con lo establecido por la SEMARNAT, los lodos generados a través de los residuos que derivan en el agua son considerados de manejo especial, esto debido a los contaminantes presentes de carácter tóxico, biológico infeccioso o por sus altas concentraciones de materia orgánica o inorgánica (SEMARNAT, 2003). Además, como parte del tratamiento de las aguas residuales se conduce a la producción de lodos, parte de ello, se debe tomar en cuenta las especificaciones de los límites máximos de su permisibilidad al ambiente y la salubridad en la NOM-004-SEMARNAT-2022, con el fin de aprovechar la reutilización de los lodos o su disposición final, después de haber concluido su proceso dentro de los procesos de tratamiento (DOF, 2003).

II.4. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Las PTARs son infraestructuras diseñadas específicamente para eliminar agentes contaminantes del agua, permitiendo su reinserción al ambiente, y dando, una respuesta parcial al problema de la contaminación en el agua. En muchos casos, estas PTARs utilizan tecnología que se puede denominar convencional (Figura 1). Debido a que dependen del tipo de material que buscan remediar, del conjunto de materiales e insumos a emplear, inclusive la fuente eléctrica que permitirá que se lleven a cabo muchos procesos, así como del sistema hidráulico. Para ello, es importante comprender el tren de tratamiento, que funge como la secuenciación del proceso y, por otra parte, dentro de esta secuenciación se encuentran las clasificaciones de esos procesos, partiendo de las características físicas, químicas o biológicas que posea el agente contaminante a tratar (Kilic, 2020).

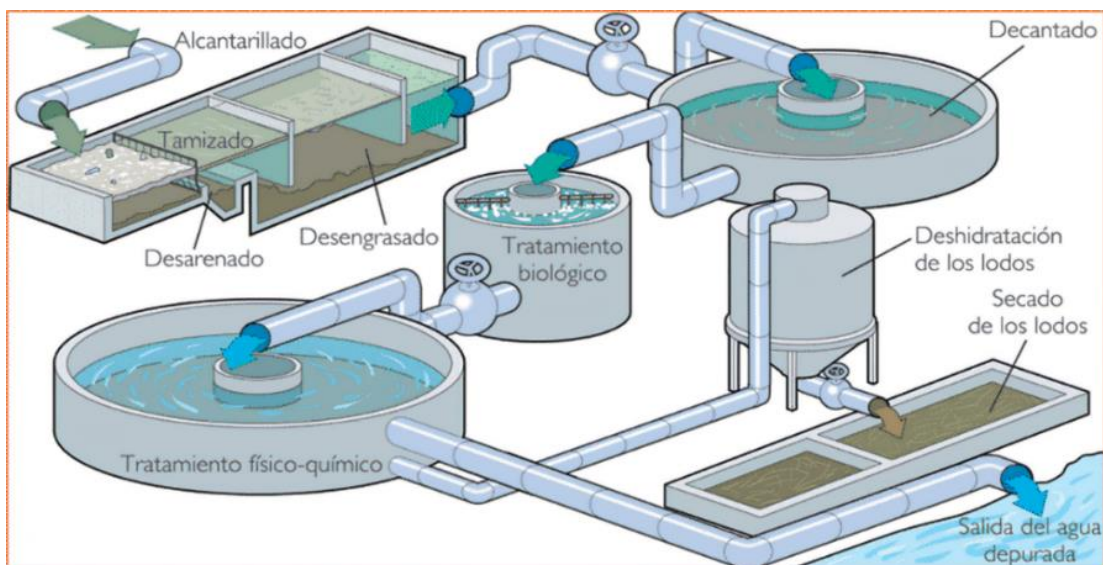


Figura 1. Diseño de una PTAR de 3 niveles. **Nota:** modelo convencional de una planta de tratamiento con el fin depurador de agua para su reinserción al ambiente, además, se denomina de tres niveles, ya que posee los tres tipos de tratamiento, aparte de contener una sección de cama de secado para lodos. Imagen propiedad de (Tema Astra, 2025).

II.5. Tren de tratamiento de aguas residuales

El tren o nivel de tratamiento de agua residual depende del agente contaminante a tratar, así como del uso o disposición final que se busque dar al agua tratada, determinada por alguna normatividad correspondiente. Además, es importante que estos niveles, si bien *a priori* generalmente se construyen con un diseño de tratamiento en particular, no impiden la combinación de distintos tipos de tratamiento (Figura 2).

Asimismo, la eficiencia buscada, no depende exclusivamente de un tipo de tratamiento específico, es decir, que se puede obtener un resultado similar con distintos tipos de técnicas unitarias de tratamiento hasta el nivel deseado, aun cuando sean de distintos tipos de tratamiento. Sin embargo, existen especificaciones propias para cada nivel de tratamiento, donde los procesos unitarios se estructuran de manera secuencial, tal como se presenta a continuación en la figura 2 (Romero, 2013; CONAGUA, 2020).

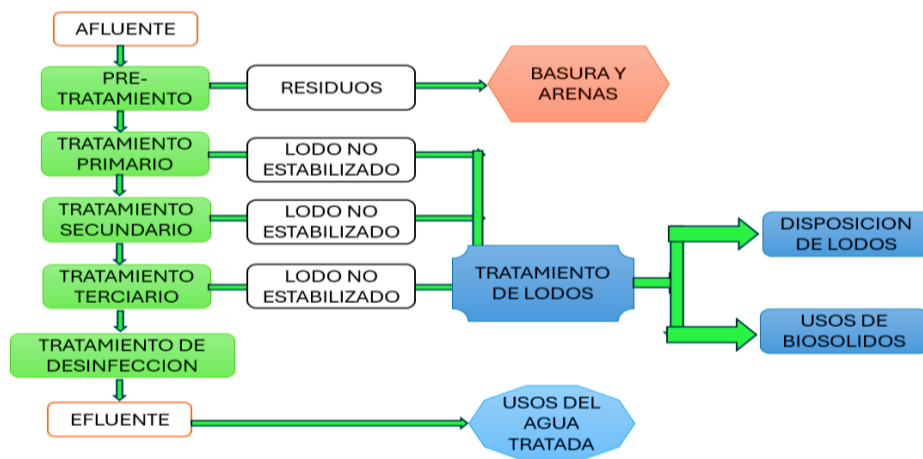


Figura 2. Ejemplo de diagrama de los niveles de tratamiento de aguas residuales. **Nota:** diagrama representativo de los niveles de tratamiento en una PTAR, tomando en cuenta el alcance que puede tomar con el uso de lodos, elaborado a partir de “Curso de técnicas de operación de PTAR” (CONAGUA, 2024).

A. Tratamiento preliminar

Tiene como objetivo la eliminación de materiales sólidos o componentes voluminosos como ramas, piedras, animales muertos y plásticos, o de carácter problemáticos como arenas, grasas y aceites. Este nivel provee protección y mejora del rendimiento de las unidades de tratamiento posteriores, permitiendo eliminar alrededor del 40% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), parámetro indicador de la cantidad de oxígeno necesario por los microorganismos para descomponer la materia orgánica en el agua (CONAGUA, 2024).

B. Tratamiento primario

Es el punto de partida en el tratamiento de aguas residuales, debido a que se ven integrados diversos tipos de técnicas unitarias buscando una remoción de sólidos y materia orgánica suspendida, con una efectividad de 40 a 60% respectivamente en la DBO (Taron et al., 2017). Entre la materia suspendida se pueden encontrar los sólidos sedimentables, son aquellos que mediante la quietud del agua se van al fondo de la estructura por efecto de la gravedad, los siguientes son los flotantes que se mantienen en la superficie, debido a que su densidad es menor, y, por último, los coloidales, que poseen un tamaño menor a dos micras (Vargas, 2018).

C. Tratamiento secundario

El objetivo es remover el material disuelto mediante la oxidación de la materia orgánica que sobrepase al tratamiento primario. Durante este tratamiento se busca la transformación de materia celular. Es decir que el tratamiento secundario se centra en remover material soluble, el cual forma agregados de sólidos en suspensión (flóculos), que pueden resolverse mediante sedimentación, logrando una reducción mínima del 60 hasta el 90% de DBO y hasta 75% de DQO, parámetro que mide la concentración de oxígeno consumido por la descomposición química de la materia orgánica e inorgánica (CONAGUA, 2024).

D. Tratamiento terciario o avanzado

Este tratamiento tiene su punto central en la eliminación de sólidos disueltos inorgánicos, además de nutrientes y materia orgánica remanente. Se le llama avanzado debido a que se busca eliminar nutrientes, en específico el fósforo, para evitar la eutrofización de cuerpos de agua o con un fin específico de la fuente hídrica (CONAGUA, 2024). El tratamiento terciario asegura un 99% de remoción de los sólidos en suspensión y DBO, además de una reducción de al menos 95% de DQO, mediante técnicas como desnitrificación, precipitación, ósmosis inversa, electrodiálisis y coagulación (Cely et al., 2022).

Además, se deben tener en cuenta las siguientes disposiciones de la operación de la PTAR.

Disposición de lodos: En el tratamiento del agua residual se obtienen, como subproductos, desechos de materia suspendida, denominados lodos. Contienen microorganismos, bacterias, hongos, protozoos, además de materia inerte. Mientras más alto es el nivel de tratamiento, mayor es la cantidad de desechos producidos. Son clasificados como residuos de manejo especial, y algunos procesos para el tratamiento de lodos son digestión aerobia y anaerobia, composteo mezclado, incineración, pasteurización, y muchos más. De los efluentes se obtiene como residuo, lodos de cada uno de los niveles de tratamiento, típicamente en forma de DBO insoluble (Céspedes, 2019).

Al gestionar el uso de lodos se debe tomar en cuenta la reducción de microorganismos (principalmente patógenos), eliminar la fuga de gases, inactivar los compuestos químicos u orgánicos presentes, en consideración las concentraciones de lodos pueden variar entre el 2 al 7% del agua total tratada, de carácter altamente putrescible, debido a los remanentes

químicos y biológicos, procedentes de los procesos unitarios del tratamiento del agua (Bioingepro, 2022).

Sistema control de olores: En muchas ocasiones, la generación de gases odoríferos representan el mayor impedimento en la edificación y operación de una PTAR, principalmente siendo implementados para mitigar este impacto, estos sistemas de control que incluyen desde barreras físicas, procesos de adsorción, con carbón activado, hasta biofiltros y torres de lavado químico, los cuales neutralizan los compuestos químico-biológicos presentes en el pretratamiento y el tratamiento con lodos, antes de su liberación en las camas de secado (Alemanni, 2012).

Desinfección: Es un proceso selectivo, con el propósito primordial de mantener un nivel aceptable de organismos patógenos mediante su desactivación o destrucción. Además, es importante que los procesos anteriores hayan sido llevados a cabo adecuadamente (Espinosa y Fall, 2013).

II.6. Clasificación de los procesos unitarios de tratamiento de aguas residuales

Los procesos por los cuales se integra una PTAR, se basan, en las características de los contaminantes para su eliminación mediante la implementación unitaria de distintos tratamientos. Por ejemplo, un contaminante que tenga una estructura grande será tratado mediante una operación unitaria física, como puede ser decantación, o sedimentación.

El tratamiento de aguas residuales requiere integrar procesos, operaciones, que se ejecutan en serie o por estaciones, y engloban tanto tecnologías y técnicas del tipo físico, químico y biológico (Figura 3). Estos procesos, son seleccionados en función del diagnóstico del agua residual, los estándares de calidad que se desea alcanzar y, con mayor prioridad, el agente contaminante que se busca tratar (CONAGUA, 2024; Romero, 2013). En este contexto, cobra relevancia el principio de conservación de la materia, que establece que los contaminantes no desaparecen, sino que son transformados o transferidos a otro medio. Como resultado, el proceso genera residuos sólidos o emisiones gaseosas que deben ser gestionadas adecuadamente (CONAGUA, 2024).

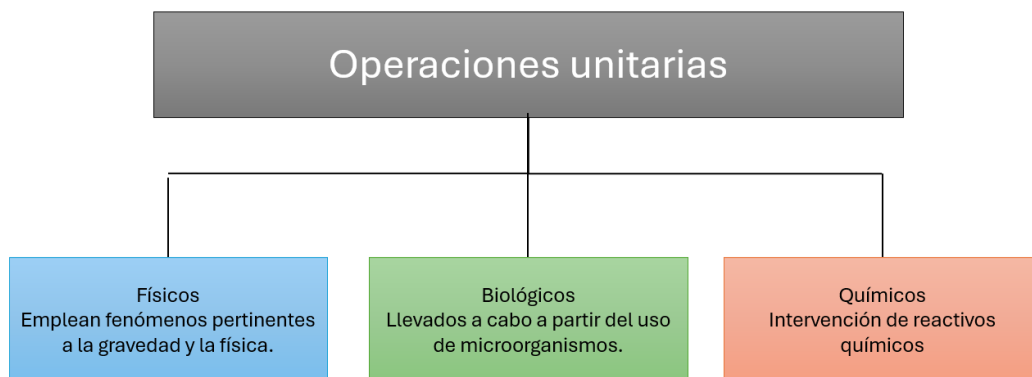


Figura 3. Tipos de procesos de tratamiento de aguas residuales. **Nota:** en el tratamiento de aguas residuales, se integran procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales son seleccionados en base al agua a tratar y de la calidad deseada. Imagen adaptada de Curso de técnicas de operación de plantas de tratamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2024).

II.7. Procesos Físicos

El proceso físico de las aguas residuales tiene la capacidad de eliminar partículas sólidas de mayor tamaño, que pueden incluir desde residuos alimenticios hasta materia no biodegradable. Si no se eliminan adecuadamente. Estos sólidos pueden afectar de manera negativa los cuerpos de agua naturales (Ortega y Sánchez, 2021). Entre las principales técnicas utilizadas en el tratamiento físico se encuentran las descritas en la tabla 2.

Tabla 2. Técnicas de procesos físicos de las aguas residuales

Técnica de tratamiento	Descripción
Sedimentación	Permite que los sólidos suspendidos en el agua se depositen en el fondo del recipiente o tanque de tratamiento, favorecido por la fuerza de gravedad.
Decantación	Separa componentes de mayor densidad que el agua, basándose en el principio deferente heterogéneo de densidad.

Técnica de tratamiento	Descripción
Desbaste	Filtración del agua sobre un soporte delgado que consiste en eliminar componentes sólidos a través de rejillas que están formadas por barrotes paralelos.
Flotación	Se utiliza aire para la separación de sólidos suspendidos en el agua que son de densidad menor que el agua, estos sólidos flotan formando una capa en la superficie.
Luz UV	Los rayos UV actúan sobre virus, bacterias y otros microorganismos presentes en el agua, alterando su ADN e impidiendo su reproducción.
Ósmosis inversa	Este proceso consiste en el uso de una membrana semipermeable que permite la circulación del agua, pero retiene la mayoría de las sales disueltas, virus y bacterias.

Nota: el tratamiento físico incluye varios elementos no solo de carácter sólido, también pueden verse inmersos el uso de elementos naturales. Tabla elaborada a partir de la información obtenida por “Tratamiento Físico de Aguas Residuales: Un Enfoque Efectivo para la Purificación del Agua” (Instituto del agua, 2024d) y “Curso de técnicas de operación de PTAR” (CONAGUA, 2024).

II.8. Procesos biológicos

El proceso biológico es uno de los métodos más diversos, y a la vez, más económicos en cuestión de insumos (Tabla 3) (Pérez, 2013). Este tipo de tratamiento utiliza microorganismos que actúan como descomponedores naturales de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual (Espinosa et al., 2020). Sin embargo, su implementación requiere una mayor atención por parte de los operadores de las PTAR, ya que deben monitorear el efluente entrante, así como los compuestos presentes en la biomasa. En este sentido, el tratamiento biológico exige una gestión integral y detallada de los recursos involucrados (CONAGUA, 2024).

Tabla 3. Técnicas de procesos biológicos de las aguas residuales

Tipo Técnica de Descripción		
tratamiento		
Aerobios	Lodos activados	Bio-masa mezcla entre agua residual y microorganismos que se alimentan de los contaminantes presentes en el agua residual.
	Reactor MBR	El efluente se desplaza a través de lodos activados en donde es separada de los sólidos suspendidos, estos reactores son utilizados en la purificación, removiendo la materia orgánica y filtrando los sólidos persistentes.
	Discos biológicos rotatorios	Funcionan igual que los filtros percoladores, con la diferencia que al girar se ve aumentada la película de microorganismos.
	Filtro sumergido	Se basa en el crecimiento de la biopelícula y el uso en combinación de lodos activados para la depuración del agua.
	Desnitrificación	Consiste en la eliminación del nitrógeno mediante un ambiente anóxico, provocando que el nitrógeno vuelva a la atmosfera en forma de gas inerte.
	Tanque Imhoff	Se reduce el contenido de los sólidos suspendidos, ocupando dos zonas clave del tanque, la zona sedimentaria en la superficie y la de lodos en el inferior del tanque.
	Filtro anaerobio	Fija organismos anaeróbicos, separando los sólidos y filtrando el material.
Anaerobios	Reactor de lecho de lodos (USAB) o reactor de flujo ascendente (RAFA)	Funciona utilizando el flujo de los lodos, mediante la vía anaerobia los microorganismos producen pocos lodos de purga, estabilizando la materia orgánica e inclusive manteniendo los nutrientes específicos para fertilización.

Nota: Tabla elaborada a partir de la información obtenida en "Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño", (Romero, 2013); "Tratamiento de aguas residuales: Procesos, etapas y tipos de plantas", (Pérez, 2023); "Evaluación de un proceso anóxico-aerobio-reactor biológico de membrana con alto contenido de nitrógeno", (Espinosa et al. 2020) y "Curso de técnicas de operación de PTAR" (CONAGUA, 2024).

Los tratamientos biológicos son diversos y numerosos, con variedades indistintas de tratamiento, la mayoría de los procesos biológicos pueden llegar a ser muy eficaces en el consumo de insumos, pero no por ello se aíslan de trabajar en conjunto con diversas técnicas de las PTAR (Romero, 2013; Pérez, 2023).

II.9. Procesos químicos

Utiliza una variedad de reacciones químicas enfocadas en la neutralización o eliminación de contaminantes específicos (Tabla 4; Tito, 2020).

Tabla 4. Técnicas de procesos químicos de las aguas residuales.

Técnica de tratamiento	Descripción
Coagulación	Se agregan coagulantes (sulfato de aluminio y cloruro férrico), para aglutinar partículas finas y coloides, los coagulantes neutralizan las cargas eléctricas de las partículas suspendidas en el agua.
Floculación	Consiste en una agitación lenta del agua para crear un floculo mayor que se precipite o flote (generalmente polímeros), permitiendo así su remoción.
Precipitación química	Adición de reactivos químicos (comúnmente hidróxido de calcio), para provocar una reacción química en los contaminantes disueltos, convirtiendo el residuo en un sólido insoluble, que puede llegar a ser separado por sedimentación.
Adsorción	La adsorción implica una compenetración de los contaminantes con un material sólido (como carbón activado), ocasionando que de su porosidad se absorban compuestos orgánicos volátiles, colorantes y compuestos odorantes.
Intercambio iónico	Se aplica en el agua residual mediante un “intercambio” por iones de otro material usualmente sólido, agregando un proceso de ionización en los metales pesados, nitratos y sales, obteniendo una purificación del agua.
Electrodialisis	Es un proceso que utiliza la corriente eléctrica permitiendo que los iones se muevan a través de membranas altamente selectivas, separando los SDT.

Nota: el tratamiento químico es por generalidad extendida como un recurso de alto coste, por ello, se utiliza en procesos purificadores, tanto potable de consumo humano, como para el medio agrícola. Tabla elaborada a

partir de la información obtenida por "Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño" (Romero, 2013) y "Tratamiento de aguas residuales: Procesos, etapas y tipos de plantas" (Pérez, 2023).

Principalmente se usa para agentes contaminantes como metales pesados, nutrientes, patógenos, detergentes, entre otros, presentes en el agua. Este proceso se basa en la utilización de sustancias químicas, que modifican las propiedades de los contaminantes, facilitando su remoción, mediante un cambio en su concentración de iones (Tito, 2020). El tratamiento químico es considerado el más eficaz para la remoción de compuestos difíciles de tratar, permitiendo incluso la potabilización del agua tratada. Sin embargo, este tipo de proceso implica un elevado costo operativo, ya que requiere un uso intensivo de insumos químicos, por ello su implementación debe gestionarse con precisión para optimizar el rendimiento y minimizar los costos asociados (Pérez, 2023).

II.10. Marco legal en materia del agua en México

En México, el uso del agua se circunscribe a la siguiente jerarquía legal (Figura 4).

Desde el nivel más alto, a partir de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, dentro del artículo 4, párrafo 6, se reconoce el derecho al agua a todas las personas, para su consumo personal como doméstico; por tanto, el Estado garantiza su acceso, saneamiento y el mantenimiento de las fuentes hídricas, estableciendo una participación conjunta entre la sociedad, el Municipio, el Estado y la Federación para lograr dichos fines (IMTA, 2019). A su vez, el artículo 27 de la Constitución, establece explícitamente que el agua, por su origen corresponde a la nación, incluidos todos los tipos de cuerpos de agua (Zamudio, 2020). En particular, el artículo 115, fracción 3, inciso a, de la Constitución Política Mexicana dicta que el municipio tiene la obligación de administrar, tratar, suministrar y darle un destino adecuado al afluente, todos estos artículos son de valor indispensable para el derecho humano al agua, partiendo desde el énfasis en su origen, usos y cuidado que se le debe dar a la fuente hídrica nacional (Noyola, 2020; Ortiz, 2020).



Figura 4. Niveles jerárquicos de la legislación mexicana en materia del agua. **Nota:** las normas mexicanas encargadas del control de las descargas de agua residual están mejor representadas por un triángulo invertido donde la parte superior es entorno a las disposiciones generales, mientras que la parte inferior corresponde a las disposiciones específicas. Adaptado de Regulaciones para la descarga de aguas residuales de México: comparación con otros países y su cumplimiento en plantas de tratamiento seleccionadas, (Domínguez et al., 2024).

En México, la máxima autoridad reguladora del agua es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que permite el consenso de aguas nacionales al servicio público o privado, admitiendo el uso de sistemas de agua potable, alcantarillado o de tratamiento de aguas. Esto mediante el pago de cuotas que implica, además, que el organismo deba controlar y prever que toda persona moral y física que explote, use o aproveche agua, en cualquier ámbito, tenga la obligación de prevenir su contaminación, además de reintegrarla en una condición permisible para una reutilización; el agua debe ser regulada por organismos imparciales y para ello requiere normas específicas en materia de agua (Estrada et al., 2013; Gómez et al., 2016; Zamudio, 2020).

II.11. Normas Oficiales Mexicanas vigentes en materia hídrica

De igual importancia, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), tienen el objetivo no solo de regular los servicios del agua, sino que también buscan una sistematización eficiente

de los recursos hídricos, para dicho fin se establecen reglas, especificaciones técnicas, permisos y directrices, encomendadas mediante los siguientes estatutos normativos vigentes (Tabla 5), (CBR, 2021; Instituto del agua, 2024c).

Tabla 5. Normas Oficiales Mexicanas concernientes a la implementación y permisibilidad de la fuente hídrica nacional.

NOM	Descripción
NOM-001-SEMARNAT-2021	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua y bienes nacionales.
NOM-002-SEMARNAT-1996	Se definen los límites máximos permisibles de contaminantes descargados en el sistema de alcantarillado municipal.
NOM-003-SEMARNAT-1997	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
NOM-004-SEMARNAT-2002	Protección ambiental. - lodos y biosólidos. - especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
NOM-001-CONAGUA-2011	Centrada en las especificaciones de los sistemas de agua potable, toma domiciliaria y el alcantarillado sanitario.

Nota: Estas normas son fundamentales para garantizar que las aguas descargadas o utilizadas, sean tratadas para una reutilización óptima, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental negativo, evitando la contaminación de cuerpos de agua que pudieran ser fuentes de abastecimiento y proteger la salud de la población. Tabla adaptada a partir de la información presente en “Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Gobierno de México” (CONAGUA, 2016).

El cumplimiento de estas regulaciones establece un marco legal obligatorio tanto para personas físicas como morales. Su incumplimiento puede derivar en sanciones administrativas, multas de carácter económico, clausura de instalaciones e incluso penas privativas de libertad. Por ello es fundamental adherirse a los parámetros establecidos para

el análisis de los contaminantes presentes en el agua (CONAGUA, 2016; Instituto del agua, 2024d).

II.12. Parámetros de análisis de los contaminantes del agua

El agua por sus cualidades intrínsecas puede manifestarse en tres estados de la materia (líquido, sólido y gaseoso), además de ser incoloro, inodora e insípida, debido a lo anterior es importante tomar primero en consideración los indicadores de calidad del agua, que la pueden clasificar como agua potable o residual.

Tabla 6. Parametros de análisis de los contaminantes del agua.

Parámetro	Abreviatura	LMP
Carbón Orgánico Total	COT	38 – 35
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	30 - 60 mg/L
Demanda Química de Oxígeno	DQO	150 - 210 mg/L
Fosforo Total	PT	15 - 21 mg/L
Sólidos Disueltos Totales	SDT	1500 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	SST	60 - 84 mg/L
Coliformes Fecales	CF	240 - 1000 NMP/ml
Nitrógeno Total	NT	25 - 35 mg/L
Toxicidad	TOX	0.75 -2.0 mg/L
Potencial de hidrogeno	pH	5.5 - 10 pH

Nota: Están agrupados de acuerdo con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la NOM-01-SEMARNAT-2021 y la NOM-02-SEMARNAT-1997 (DOF, 1998; Romero, 2013; DOF, 2022 CONAGUA, 2024).

II.13. Beneficio ambiental y socio económico del funcionamiento de las PTARs

El tratamiento del agua residual ofrece beneficios tanto sociales como ambientales, con el fin de su reutilización o devolución al ambiente, reduciendo la carga de contaminantes en los ecosistemas, además, se mejora la salud pública. La industria está en constante

evolución y cambio. En la actualidad se aborda un enfoque sostenible en los proyectos urbanos-rurales (Figura 5), que buscan fuentes alternativas al gasto excesivo de agua en las actividades de origen antropogénico (Gómez et al., 2016); la reutilización del agua como un modelo sostenible abarca sectores ambientales, económicos, industriales, sociales y de salubridad, utilizando como herramienta un plan de gestión del agua (De Souza, et al., 2014; Cely et al., 2022).

En este sentido, la fuente hídrica tratada se integra al modelo de economía circular. Dicho sistema tiene como fundamento el cierre de ciclos mediante la minimización de residuos y el aprovechamiento máximo del valor de los subproductos (Romero, 2013). Considerando el crecimiento poblacional y la expansión de las ciudades, resulta imperativo implementar estrategias que optimicen el uso de materias primas y, que prioricen la recuperación de recursos, como los nutrientes, flora y fauna presentes en el agua, para reducir la presión sobre los ecosistemas (Villete, 2016). Bajo el enfoque de la Gestión Integral de Residuos (GIR) y la mejora continua, la implementación de una PTAR trasciende el simple cumplimiento normativo para convertirse en un pilar de la eficiencia operativa (De Souza et al., 2014; Manzollilo, 2021). Al intervenir de manera coadyuvante en el ciclo del agua, se generan beneficios tangibles que consolidan la viabilidad del proyecto, tales como:

Optimización económica y rentabilidad: el agua tratada reduce drásticamente los costos operativos al disminuir la dependencia del suministro externo y los gastos de captación. Esta estrategia de aprovechamiento máximo de recursos hídricos es un ejemplo directo de como la mejora continua impacta positivamente en las finanzas de la institución a largo plazo (UNESCO, 2021).

Recuperación de recursos y reducción de la demanda hídrica: reutilizar el agua, reduce la presión sobre el sistema de distribución y la demanda de agua para procesos productivos. Además, el tratamiento del agua permite recuperar nutrientes como fósforo, carbono y nitrógeno. Este proceso transforma un residuo en un insumo de valor para sectores como el agrícola, cumpliendo con las premisas de la economía circular (Cely et al., 2022).

Eficiencia logística y descentralización: la construcción de una PTAR *in situ* elimina los altos costos y la complejidad técnica del transporte hídrico desde zonas remotas. Al tratar el agua en el área cercana a la edificación, se optimizan los tiempos de carga y se garantiza la continuidad de los procesos productivos (Tamburrino, 2015).

Responsabilidad corporativa y reducción del impacto ambiental: el tratamiento previo al vertido o reúso no solo mitiga el impacto ambiental, asegura el cumplimiento ambiental de las normativas de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y CONAGUA, sino que posiciona a la entidad como un actor socialmente responsable, generando beneficios fiscales y una imagen institucional sólida y coherente (De Souza et al., 2014; ISO ORG, 2015; Cely et al., 2022; CONAGUA, 2024).



Figura 5. Diagrama de los componentes implementados en una PTAR. **Nota:** diagrama de Walter Deming adaptado a la gestión integral de los recursos para la edificación de una PTAR. El modelo ilustra como la interacción entre los ámbitos, sociales, culturales, económicos, así como también la implementación de los componentes que tendrá una planta en funcionamiento a largo plazo, permite una optimización constante de los procesos, mediante la secuencia de planear estrategias, ejecutar políticas, verificar resultados y actuar sobre las áreas de oportunidad. Diagrama de autoría propia hecho a partir de la información obtenida por Romero, 2013.

II.14. Diagnóstico de sustentabilidad de una PTAR

El propósito de un diagnóstico de sustentabilidad es evaluar la viabilidad integral de una PTAR, considerando que su operación sea perdurable en el tiempo sin comprometer los recursos futuros (Espinosa y Fall, 2013). Según Mihelcic y Zimmerman (2012), un diagnóstico efectivo identifica la relación entre la eficiencia tecnológica, el impacto ambiental y la recuperación de costos. Bajo esta premisa, la sustentabilidad no se limita a la factibilidad financiera, sino que busca, además, un diseño a la medida que garantice

procedimientos lógicos y sencillos para un manejo continuo, minimizando el consumo de energía y maximizando la recuperación de recursos (Jonker y Harmsen, 2013).

En este sentido, la planificación sustentable de una PTAR se fundamenta en tres componentes primordiales.

1. Sustentabilidad económica y operativa: implica el análisis de la inversión inicial frente a los costos de mantenimiento a largo plazo. Es crucial prever los gastos de insumos químicos, biológicos y energía, de modo que la administración logre sobrepasar el límite crítico de los 10 años de operación, rango donde el estimado de vida operacional de las PTAR suele fallar por solvencia económica (Salas et al., 2007).

2. Sustentabilidad ambiental: se enfoca en la capacidad de la PTAR para cumplir con los límites de vertido y la integración de procesos de economía circular que reduzcan la huella de carbono del sistema (Álvarez, 2019; Rodas, 2003).

3. Gestión administrativa y humana: el papel del administrador y del personal operativo es el eje que articula la mejora continua, asegurando que el flujo de gastos y la capacitación constante mantengan la planta en niveles óptimos de eficiencia (Vilanova et al., 2017b, Manzanillo, 2021).

CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En la era del Antropoceno, el valor del agua ha sido transformado de sustento de la vida hasta su utilidad en las distintas actividades antropogénicas, desde las industrias agrícolas, sanitarias y recreativas (CONAGUA, 2023). En consecuencia, el creciente deterioro en la calidad del agua disponible y la falta de acceso a fuentes limpias, aunado a la carencia de una cultura educativa orientada al uso responsable del recurso hídrico, han llevado a la contaminación del agua y como respuesta conciliadora a que se implementen Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTARs), cuya finalidad es reducir los contaminantes del agua residual para su reutilización o descarga al ambiente, fungiendo como la última frontera de defensa en contra de la degradación de los ecosistemas circundantes. Debido a lo anterior, la gestión de los recursos hídricos no termina con el suministro, sino que se extiende hasta el tratamiento del efluente y su disposición final (Romero, 2013; Cely et al., 2022).

En este contexto, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde la generación de conocimiento y difusión de la educación debe ser congruente con la praxis ambiental, ha impulsado iniciativas para el tratamiento del agua residual. Como parte de estas iniciativas, se instalaron varias PTARs en el campus Chamilpa. Sin embargo, a pesar de la inversión destinada a su construcción, la realidad operativa dista del diseño teórico, convirtiendo estas estructuras de saneamiento en pasivos ambientales. La inoperatividad de las plantas de tratamiento ha transformado un sistema de saneamiento en un foco de infección, debido a los microorganismos presentes en los lodos generados y la fuga de agua residual. Lo anterior podría ser remediado a través de un diagnóstico del problema y mantenimiento consecuente a los problemas detectados, de lo contrario, la proximidad de estas fallas a las áreas de alimentación convierte una deficiencia de mantenimiento, en una emergencia sanitaria.

La PTAR de la Facultad de Ciencias Biológicas y de la Escuela de Técnicos Laboratoristas (PTAR FCB-ETL), no se encuentra en óptimo funcionamiento, lo cual ha generado una acumulación de lodos residuales, malos olores, gases tóxicos y contaminantes biológicos. Además, la falta de tratamiento ha presentado recientemente varios eventos de desbordamiento de agua residual, situación que puede representar un riesgo potencial para el ambiente, como contaminación del suelo y de cuerpos de agua subterráneos o superficiales

cercanos, así como para la salud de la comunidad universitaria, al propiciar la exposición directa de estudiantes, personal académico y administrativo a aguas residuales no tratadas, lo que incrementa la probabilidad de transmisión de enfermedades. Además, es importante relacionar las medidas correctoras y la aplicación de medidas sociales y ambientales con el problema que acontece.

Debido a todo lo anterior, la presente investigación se justifica por la urgente necesidad de reactivar la infraestructura de una PTAR de la UAEM, la cual actualmente representa un recurso subutilizado frente a la creciente demanda del campus. La importancia de este trabajo radica en que permite determinar mediante un análisis técnico y financiero, la viabilidad de recuperar la PTAR para mitigar el impacto ambiental y reducir los costos operativos por suministro de agua externa.

Al resolver la falta de un diagnóstico actualizado sobre la infraestructura y tecnología disponible, este proyecto provee una hoja de ruta para la toma de decisiones administrativas. Además, el beneficio socioambiental se extiende a la comunidad universitaria al proponer un modelo de gestión sostenible que garantiza la calidad del agua residual tratada, sirviendo como un marco replicable para otras PTAR en condiciones similares que buscan transitar hacia la economía circular.

CAPITULO IV. OBJETIVOS

IV.1. Objetivo general

Evaluar la factibilidad económica y los aspectos ambientales asociados a la posible reactivación y posterior mantenimiento operativo de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

IV.2. Objetivos específicos

- 1) Analizar la infraestructura y tecnología de la PTAR de la FCB-ETL, así como el nivel de conocimiento técnico de los principales responsables de su operación y mantenimiento, utilizando como referencia técnica el modelo de gestión eficiente del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- 2) Evaluar la calidad del agua y la eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR de la FCB-ETL.
- 3) Estimar los costos asociados a la posible reactivación y al mantenimiento de la PTAR de la FCB-ETL.
- 4) Valorar el impacto y beneficio ambiental derivado del funcionamiento de la PTAR de la FCB-ETL.

CAPÍTULO V. PROPUESTA METODOLÓGICA

V.1. Sitio de estudio

El presente proyecto se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Unidad Biomédica, en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, campus Chamilpa. Ubicada en las inmediaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) y de la Escuela de Técnicos Laboratoristas (ETL). La ubicación exacta y la distribución espacial de la planta respecto a las unidades académicas mencionadas, se detallan en el croquis de localización de la figura 6.

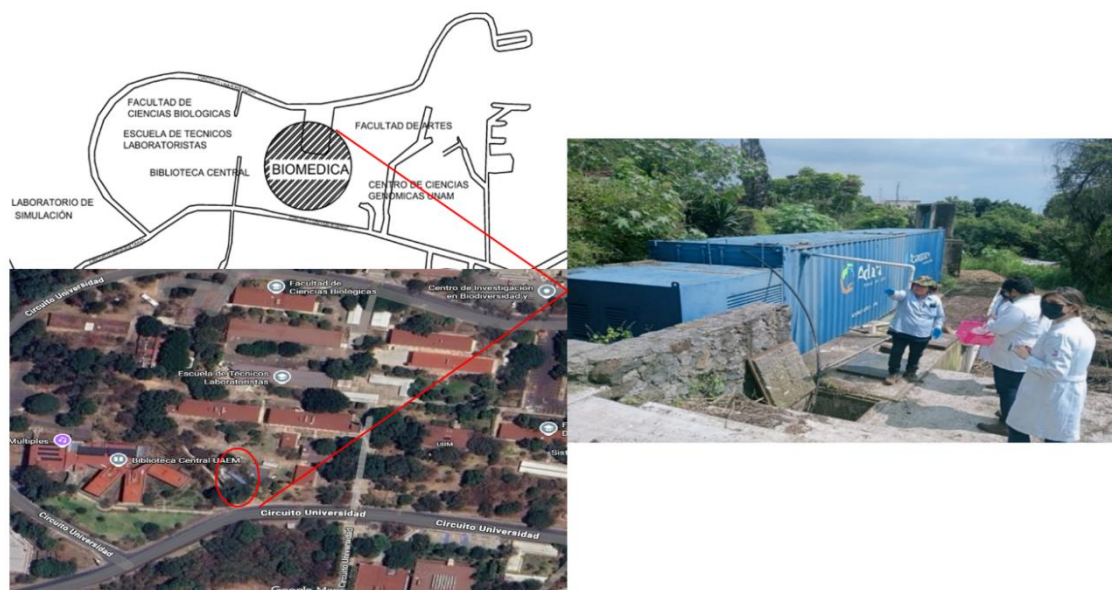


Figura 6. Croquis de la localización de la PTAR de la FCB y la ETL. **Nota:** croquis de los alrededores de la PTAR, encerrado en el círculo de rayas negras, con las Facultades circundantes de Ciencias Biológicas, Escuela de Técnicos Laboratoristas, Facultad de Artes, Centro de Ciencias Genómicas y Biblioteca Central (Aclara, 2019).

La PTAR de la FCB y la ETL fue construida por la empresa ACLARA, en el año 2019, la cual consta de un diseño prefabricado del paquete ACLARAPACK; la tecnología ACLAPACK funciona acoplando un reactor biológico y un set de fibras de ultrafiltración, que opera bajo un sistema de Reactor Biológico de Membrana (MBR), que combina la degradación de materia orgánica, donde microorganismos aerobios digieren la carga del agua residual, con la separación física de sólidos mediante membranas de ultrafiltración, actuando

como una barrera física que retiene sólidos suspendidos, bacterias y otros microorganismos. Al ser un diseño prefabricado, los componentes están optimizados para espacios reducidos con una capacidad instalada de tratamiento de 2.008 litros por segundo.

Las instalaciones de las que capta agua la PTAR de la FCB y la ETL suman una población flotante diaria estimada de 2,300 personas, distribuidos en 1,000 matriculados en la Facultad de Ciencias Biológicas, 1,200 matriculados en la Escuela de Técnicos Laboratoristas, incluidos en ambas Unidades Académicas, directivos, docentes, así como también aproximadamente 100 personas del personal de los servicios de alimentos e invitados. La ubicación del afluente inicia en el edificio 8 de la UAEM, pasando por la unidad de servicios de alimentos circundantes, hasta llegar a nivel del corredor universitario, que comprende la Facultad de Ciencias Biológicas, la Escuela de Técnicos Laboratoristas, permitiendo la entrada de un afluente con caída adosada a la PTAR.

V.2. Análisis de la infraestructura y tecnología de la PTAR de la FCB y la ETL.

El análisis de la PTAR de la FCB y la ETL se realizó con una serie de recorridos técnicos de campo. Estas visitas fueron dirigidas por el personal de mantenimiento, en conjunto con personal de la FCB, y se complementaron con el análisis de la ficha técnica (Figura 7), disponible a través del Departamento de Planificación y Desarrollo de Obras y Mantenimiento de la UAEM.

Tabla 7. Ficha técnica de los equipos de tratamiento de la PTAR FCB-ETL.

Equipo	Marca	Modelo	Unid.	Hp	Voltaje	Ubicación
Soplador	FPZ	K08R-MD	1 PZA	7.5	230 V, 3F	CASETA
Bomba de filtración	Yunk	J-20	1 PZA	2.0	230 V, 3F	CASETA
Electro nivel para membrana	Pedrollo	T-80	1 PZA	NA	115 V, 1F	REACTOR
Bomba dosificadora	Dosim	VCO 07.06	1 PZA	22W	115 V, 1F	CASETA
Bomba lixiviados	Little giant	2E-38N	1 PZA	1/40	115 V, 1F	CASETA

Nota: se especifica los equipos, marcas, modelos que son adecuados para este tratamiento y ubicación, además de los voltajes estándar para la capacidad máxima tratable de la PTAR de biomédicas. (ACLAPACK, 2019).

Durante los recorridos se realizaron inspecciones exhaustivas de todos los componentes de la infraestructura física y tecnológica de la PTAR. Para fines de este análisis, se consideró imperativo valorar los equipos, sistemas y la infraestructura contenedora, ya que estos elementos son determinantes en la valoración del estado actual de la PTAR y en la estimación de costos de la rehabilitación y mantenimiento a largo plazo.

V.3. Evaluación del conocimiento técnico de los responsables de operación y mantenimiento de la PTAR de la FCB y la ETL

La evaluación del conocimiento técnico por parte de los responsables de operación y mantenimiento de la PTAR de la FCB y la ETL en la UAEM, contrastado con el modelo operativo de la PTAR piloto del IMTA, permitió identificar y referenciar las distintas brechas críticas y áreas de mejora para la reactivación, que se llevó a cabo a través de una entrevista semiestructurada, verificada por expertos, con un enfoque técnico y ambiental, dirigida al personal que participa en el proceso de operación, mantenimiento y administración de ambas PTARs. Se recopiló la información en formato de grabación (con el permiso autorizado por el entrevistado) y la transcripción fidedigna de lo relatado por el entrevistado, que permitió obtener información detallada tanto técnica como de la experiencia del personal involucrado en la operación y mantenimiento de las PTARs. La entrevista se estructuró en tres secciones principales:

1. Presentación: se explica el propósito y la justificación de la entrevista.
2. Aspectos técnicos: sobre la operación, mantenimiento y monitoreo de la PTAR.
3. Impacto social y ambiental: se indagó sobre los residuos que se generan en la PTAR y cuál es su manejo, así como el impacto de los residuos generados en la comunidad universitaria o laboral y el ambiente.

El formato de la entrevista comprendió la siguiente estructura:



El presente instrumento forma parte de un proyecto de investigación de la Especialidad en Gestión Integral de Residuos (EGIR) de la Facultad Biología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Tiene como objetivo de evaluar el conocimiento técnico de los principales responsables de la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas.

Entrevista semiestructurada para personal de la UAEM

Folio: _____

Presentación:

Gracias por aceptar la entrevista. El objetivo de la entrevista es conocer que aspectos son concernientes para las personas encargadas de la operación y mantenimiento de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas.

Nombre del entrevistado:

Edad:

Cargo:

¿Qué equipos de tratamiento están utilizando en la PTAR?

¿Usted cuenta con capacitaciones para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

¿Quién es la persona encargada de la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

Si no los capacitan ¿considera que es necesario capacitar al personal para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

¿Qué empresa realiza el mantenimiento de la PTAR?

¿Tienen un contrato con la empresa para realizar el mantenimiento de la PTAR?

¿Con que frecuencia se realiza el mantenimiento de la PTAR?

¿Qué presupuesto se destina para que se realice el mantenimiento de la PTAR?

¿En qué horario se realiza el mantenimiento?

¿Qué tipo de mantenimiento se realiza a la PTAR?

¿Cuáles son los residuos generados hacia la PTAR?

¿Qué residuos se generan de la PTAR y que se hacen con los residuos?

¿Qué problemas han surgido en la operación de la PTAR?

¿Qué medidas ambientales se toman en cuenta en el mantenimiento de la PTAR?

¿Cómo se asegura la sostenibilidad de la PTAR?

¿Cómo se compara esta PTAR con otras dentro de la UAEM?

¿Qué beneficios aporta la PTAR a la comunidad UAEM?

¿Qué mejoras se deben implementar para el futuro de esta PTAR?

¿Hay algún aspecto que le gustaría destacar?

Agradecimientos a las personas entrevistadas, la información redactada comparece únicamente como fin educativo, pertinente a este proyecto.

La información recopilada de la entrevista se procesó mediante un análisis cualitativo – cuantitativo. Para ello, se utilizó el software ATLAS.ti, que permitió codificar respuestas, identificar patrones y realizar medidas de acuerdo con el número de palabras encontradas.

V.4. Evaluación de la calidad del agua tratada de la PTAR de la FCB y la ETL

La calidad del agua tratada se determinó con base en las muestras recabada en el influente y el efluente de la PTAR (Figura 7).



Figura 7. Muestreo del agua residual de la entrada y salida de la PTAR de la FCB y la ETL.

Nota: figura de la toma de entrada del influente en el registro del agua (a la izquierda) y la toma del efluente tratado en la salida de la PTAR (derecha), elaborada a partir del recorrido realizado por la Jefa de Departamento en la Sección de Saneamiento y Calidad del Agua, como parte de la UAEM, en la PTAR de la FCB y la ETL (Fotografías de autoría propia, 2025).

Partiendo de las recolecciones realizadas, fueron analizados los siguientes parámetros (Tabla 8): Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Sedimentables (SSD) y potencial de hidrógeno (pH).

De acuerdo con las normas:

- NMX-AA-030/2-SCFI-2012: Análisis de agua –Determinación de la demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba – Parte 2 – Determinación del Índice de la Demanda Química de Oxígeno – Método de tubo de sellado a pequeña escala.
- NMX-AA-034-SCFI-2015: Análisis de agua – Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
- NMX-AA-004-SCFI-2013: Análisis de agua – Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
- NMX-AA-008-SCFI-2016: Análisis de agua – Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

Tabla 8. Parámetros de evaluación de la PTAR FCB-ETL

Norma técnica	Parámetro	Límites máximos permisibles (LMP)
NMX-AA-030/2-SCFI-2012.	DQO	150-210 mg/L
NMX-AA-034-SCFI-2015.	SDT	1500 mg/L
NMX-AA-004-SCFI-2013.	SSD	7.5 – 10 ml /L
NMX-AA-008-SCFI-2016	pH	5.5-10

Nota: Los LMP aplican de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2022 y la NOM-002-SEMARNAT-1996, debido a que las normas de carácter técnico (NMX) carecen de los LMP, además, las NMX aplican en función a los distintos parámetros evaluados (Diario oficial, 2022; CONAGUA, 2024).

Se realizó la evaluación de la DQO con el método de determinación de flujo cerrado, los SSD se evaluaron mediante la técnica del cono Imhoff, para los SDT y el pH, se emplearon análisis de calidad del agua del influente y el efluente de la PTAR en los equipos del biodigestor y el espectrofotómetro respectivamente (Figura 8).



Figura 8 Equipos de análisis de la calidad del agua. **Nota:** imagen de los equipos empleados durante el análisis de la composición intrínseca de las cualidades y la calidad del agua, en la izquierda se encuentra el biodigestor de marca Hanna, en la derecha se observa un espectrofotómetro de marca Hach (fotografías de autoría propia, 2025).

Para determinar el cumplimiento normativo de la PTAR, los valores obtenidos en los análisis de laboratorio se contrastaron con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2022 y la NOM-002-SEMARNAT-1996. Asimismo, el desempeño operativo de la PTAR se evaluó mediante el cálculo de la eficiencia de remoción para cada parámetro físicoquímico. Este procedimiento se llevó a cabo aplicando la Ecuación 1, la cual permitió determinar el porcentaje de contaminantes eliminados durante el proceso de tratamiento en relación con la carga inicial que ingresó al sistema.

$$E = \frac{Centrada - Csalida}{Centrada} \times 100$$

Ecuación 1. Formula de la eficiencia de Remoción de la PTAR.

Nota: E= eficiencia, C entrada= concentración del parámetro evaluado del influente, C salida= concentración del parámetro evaluado del efluente; la eficiencia se expresa como un porcentaje y evalúa la concentración de contaminantes entrantes contrastados con los que salen de la PTAR (CONAGUA, 2024).

V.5. Análisis de factibilidad económica en la PTAR FCB-ETL mediante la técnica del Costo Total Anual

El presente proyecto consideró la evaluación económica del estado actual de la PTAR, partiendo desde el análisis del costo de mantenimiento a largo plazo de todos los

insumos y maquinarias. Además, el uso de la ecuación del costo total anual se focaliza en el diseño de la PTAR, considerando la población a la que brinda servicio y en la posible vida útil que tendrá el proyecto o sus tecnologías de tratamiento (Ecuación 2). Este modelo de ecuación se ponderaron todos los costos del año por el factor de recuperación del agua entrante a la PTAR; es decir, los costos son asumidos como un beneficio para otras actividades que requieran de la fuente hídrica (Ibarra, 2013; Romero, 2013).

$$CTA = Coi + \frac{(Co - V1)i}{(1 + i)^n - 1} + \frac{Ri}{(1 + i)^x - 1} + O$$

Ecuación 2. Técnica de ecuación del costo total anual.

Nota: Ecuación tomada de “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales” (Romero, 2013).

Los valores de la ecuación del CTA representaron los pilares matemáticos, además de financieros, que determinaron si la PTAR de la FCB y la ETL es sostenible a largo plazo.

Donde: el **CTA**=costo total anual del proyecto, determina el valor de financiamiento, es decir, los costos con respecto a que el proyecto siga en marcha; **Co**= costo inicial del proyecto con respecto a su edificación e insumos; **i**= tasa de interés anual o tasa mínima de rendimiento, actúa como la rentabilidad del proyecto; **V1**= valor de salvamento del proyecto o valor proyectado al final del año, en este caso en específico se adhiere a los insumos sobrantes, generados como un ahorro; **n**= vida útil del proyecto o el periodo de diseño, solo se valoriza la edificación, mas no los equipos empleados; **R**= costo de reparación principal, costos correspondientes a los equipos dañados o faltos de mantenimiento; **x**= periodo de realización de la reparación principal; **O**= costo anual de operación y mantenimiento (Romero, 2013).

V.6. Evaluación de aspectos ambientales mediante la matriz de Leopold.

La evaluación de los aspectos ambientales se orientó a la identificación y valoración de las alteraciones en los medios abióticos (suelo, aire y agua) y bióticos, derivadas de la posible reactivación de la planta (Mihelcic y Zimmerman, 2012; Hernández et al., 2006).

Para ello se empleó la Matriz de Leopold, que integra herramientas estadísticas, probabilísticas, significativas y de valoración de los aspectos socio ambientales, siendo por

dicha razón la más apropiada para las fases de operación y control (Jonker y Harmsen, 2013; Hernández et al., 2006). El procedimiento se basó en la asignación de valores numéricos para dos indicadores clave en cada interacción identificada, además de como herramienta para la valoración de los impactos socioambientales, derivados del proyecto. En particular, la implementación de un modelo como la matriz de Leopold, sirvió para evaluar el impacto ambiental mediante datos tomados *in situ*, con los cuales se sistematizó un cuadro de doble entrada que permitió entrelazar la relación entre las acciones del proyecto y sus efectos en los factores ambientales (Tabla 9).

Tabla 9. Actividades y aspectos ambientales en la matriz de Leopold

Actividades o situaciones de emergencia	Aspectos e impactos ambientales
Laboratorios de docencia e investigación	Consumo de agua
Operación de la PTAR	Consumo de energía eléctrica
Servicio de alimentos	Consumo de materiales y equipos
Servicio de sanitarios	electromecánicos
Mantenimiento de los equipos dentro de la PTAR	Consumo de material de limpieza
Limpieza de instalaciones	Generación de aguas residuales
Falta de recursos para el mantenimiento de la PTAR	Cloración del agua
Saturación de los equipos por exceso de lodos	Agua con productos de limpieza
Vertido de aguas sin tratamiento adecuado a los límites máximos permisibles	Lodos residuales
Derrame de aguas residuales	Descarga de aceite comestible
	Residuos CRT
	Generación de malos olores
	Afectaciones al ser humano
	Contaminación del Suelo
	Contaminación del agua

Nota: tabla de los datos a evaluar dentro de la matriz de Leopold, en la izquierda se engloban las actividades sustantivas que se envuelven alrededor de la operación de la PTAR, además de los eventos de riesgo que pueden ocurrir, mientras que en el derecho son evaluados los aspectos e impactos ambientales de consumo y generación de efecto. Tabla de propia autoría.

La matriz se construyó sobre dos extensas listas de chequeo; la lista de causas del proyecto o actividades realizadas y la lista de aspectos e impactos ambientales que pueden ser alterados. Partiendo de esta información, que *a priori* es cualitativa, se relacionó con valores cuantitativos, permitiendo así una aproximación de todos sus procesos integrados (Ponce, 2008; Lifeder, 2023). Con la identificación de entradas en filas y columnas con respecto a las actividades o las situaciones de riesgo que fueron conducidas en la planta, así como también los aspectos ambientales inherentes al funcionamiento de las áreas objetivo.

Se consideraron primero todas las acciones (columnas) que se dieron en el proyecto estudiado; posteriormente, se estimaron los factores ambientales (filas) que fueron significativos en términos de sus efectos socio ambientales. Una vez establecidas las entradas, se consideraron las interrelaciones correspondientes en cuadrículas, con valores asignados de acuerdo con la aplicación de la Ecuación de la Importancia del Impacto de Fernández (1997), evaluando los distintos parámetros (Ecuación 3).

$$I = CA[IN(3) + EX(2) + PE + RV + +SI + AC + EF + PR + MR$$

Ecuación 3. Cálculo de la importancia del impacto ambiental de Fernández

Nota: Los valores evaluados en la ecuación corresponden a la ecuación de impacto ambiental de Fernández (2010).

Las actividades o situaciones de riesgo y los aspectos ambientales evaluados corresponden al **Impacto (I)**, y para ello son utilizados los valores de:

Calidad (Ca): como impacto adverso (-) o beneficioso (+).

Intensidad (In): se refiere al grado de afectación, mínimo (4), medio (8) y alto (12).

Extensión (Ex): área afectada, puntual (2), extensa (4) y crítica o total (8).

Persistencia (Pe): tiempo supuesto de permanencia de la actividad o situación de riesgo, temporal (1) y permanente (4).

Reversibilidad (Rv): criterio que determina el retorno de manera natural previo a la actividad o situación de emergencia, corto plazo (2) y mediano plazo (4).

Sinergismo (Si): relación entre las actividades y los aspectos ambientales, sin sinergismo (1), sinérgico (2) y notablemente sinérgico (4).

Acumulación (Ac): este atributo refleja el incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que la genera, simple (1) y acumulativo (4).

Efecto (Ef): valor referido como el efecto directo o secundario de las actividades dentro del edificio, indirecto (1) y directo (4).

Periodicidad (Pr): regularidad de las incidencias, irregular (1), periódico (2) y continuo (4).

Recuperabilidad (Mc): retorno a las condiciones previas, mediante la intervención humana, recuperación inmediata (1), recuperable (2), mitigable (4) e irreparable (8). (Fernández, 2010; UAEM, 2023; Hidroar, 2025).

Una vez se completó la matriz, el siguiente paso consistió en la evaluación o interpretación de los datos obtenidos con los siguientes valores (Tabla 10).

Tabla 10 .Valoración de la importancia del impacto.

Clasificación (adversos)	Valores	Color
Aceptables	Menores a 24 o igual	
Moderados	Entre 25 y 49	
Severos	Entre 50 y 75	
Críticos	Mayor a 76	
Clasificación (beneficiosos)	Valores	Color
Moderados	Menores a 40	
Relevante	Mayor a 40	

Nota: La importancia del impacto se obtiene desde la calidad del tipo positivo (+) o negativo (-), los primeros van desde moderados, menores a cuarenta en la escala numérica y relevante, mayores a 40, en ambos casos son de color azul, por otra parte, los adversos van desde aceptables, menores a o igual a 24, en color verde, moderados, entre los 25 y 49 en color amarillo, severos con un estimado de 50 a 75 en color naranja y critico mayor a 76 en color rojo. Información adaptada a partir de (Fernández, 2010; UAEM, 2023; Hidroar, 2025).

CAPÍTULO VI. RESULTADOS

VI.1. Análisis de la infraestructura y tecnología de la PTAR de la FCB y la ETL mediante la lista de verificación

La evaluación de la infraestructura física y tecnológica de la PTAR, permitió identificar el estado operativo actual de los equipos y sistemas, desarrollados en la Tabla 11. Los principales hallazgos destacan una infraestructura compuesta por sopladores, además de una bomba de filtración, una bomba dosificadora, una bomba de lixiviados, tres sets de fibras de ultrafiltración y un set de filtración de más de 0.05 micras ubicados en el reactor y la caseta de la PTAR. A partir del cotejo técnico, se determinó la presencia de 22 elementos necesarios para el funcionamiento de la PTAR comprendido entre equipos y sistemas, así como también, un valor estimado del costo detallado para cada componente. Las observaciones de campo inciden directamente en la factibilidad técnica de su reactivación.

Tabla 11. Lista de verificación del estado y costo de los equipos de la PTAR de la FCB y la ETL.

Equipos y Sistemas	P	A	Ubicación	Unidad	MAXIMO	MINIMO
Soplador	√		Caseta	1 pz	300,000	100,000
Bomba de filtración	√		Caseta	1 pz	200,000	147,000
Electro nivel para membrana	√		Reactor	1 pz	50,000	30,000
Bomba dosificadora	√		Caseta	1 pz	10,000	1,100
Bomba lixiviados	√		Caseta	1 pz	92,300	18,400
Rejilla tipo canasta	√		Reactor	1 pz	19,000	9,500
Set de fibras de ultrafiltración	√		Reactor	3stx12x52	64,600	55,300
Set de fibras de filtración +0.05 µm	√		Reactor	1st x 9x48	35,000	22,000
Filtros bolsa		X	Reactor	10 pz	300	100
Válvulas de aireación	√		Reactor	1 pz	14,700	1,864
Tuberías de conducción de aire	√		Reactor	1 m x Di x	2,300	1,100
Tuberías de conducción de lodos	√		Reactor	1 m x Di x	2,500	2,000
Tuberías de conducción de lixiviados	√		Reactor	1 m x Di x	2,100	1,200
Tuberías de conducción de polímeros	√		Reactor	1m x Di	1,000	850
Tubería de conducción de agua residual entrante	√		Exterior Ad.	1 m x Di x	369	270
Tubería de conducción de agua tratada	√		Exterior Ad.	1 m x Di x	369	270
Difusores de burbuja fina	√		Reactor	Panel x metro	9,000	500
Reactor biológico	√		Reactor	1 str	923,000	184,630

Equipos y Sistemas	P	A	Ubicación	Unidad	MAXIMO	MINIMO
Módulo de los equipos	✓		Caseta	1 str	92,000	80,000
Registro de agua	✓		Exterior Ad.	1 str	20,000	18,000
Deshidratador de lodos	✓		Caseta	1 str	930,000	500,000
Tablero control de motores	✓		Caseta	1 str	150,000	100,000
TOTAL, EQUIPOS DE REPARACIÓN					203,200	97,750
TOTAL, EQUIPOS EN SALVAMENTO					2,715,338	1,176,334

Nota: P= presente; A= ausente; Ad= adjunto; pz= pieza; st= set; str= estructura. Los datos resaltados en negritas corresponden a los equipos que necesitan una atención prioritaria para el óptimo funcionamiento de la PTAR. La información concierne a los equipos y sistemas registrados dentro de la ficha técnica de la PTAR de la FCB y la ETL, aportada por la empresa fabricante ACLARA. Además de las observaciones realizadas y el posible costo aproximado en la moneda local (pesos mexicanos) de cada uno de los componentes implicados fueron tomados de (CAT, 2017; Power Depot, 2023; Tyr Automation, 2025; Alibaba, 2025; Xylem, 2025; Rosas J., comunicación personal, 07 de abril del 2025).

La revisión física de la infraestructura revela que la inoperatividad de la PTAR de la FCB y la ETL se debe a una falta de mantenimiento correctivo en los equipos cruciales de las bombas de lixiviados (Figura 9), lo que puede desencadenar, en caso de no ser atendida la acumulación de residuos de manejo especial (lodos) e, inclusive, un foco de infección y, posteriormente, un problema ambiental.

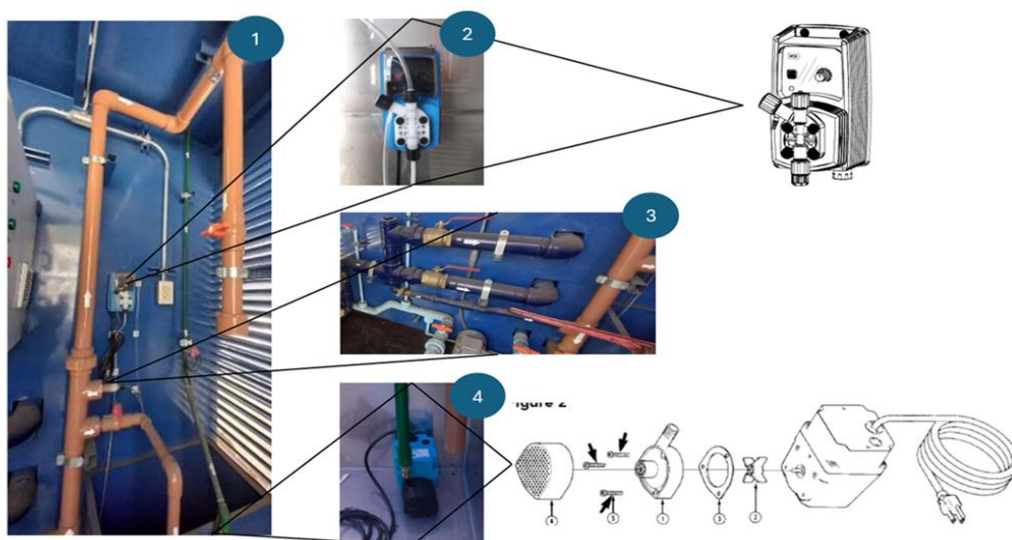


Figura 9. Equipos cruciales para la operación de la PTAR de la FCB y la ETL. **Nota:** 1) visualización de los equipos dentro del reactor y la caseta, 2) bomba de dosificación y su visualización esquemática del equipo, 3) red de tuberías para aireación en color azul, para lodos en color café, para el polímero

en tubing de acero, tubos verdes para lixiviados, 4) bomba de lixiviados y la visualización esquemática de los componentes del equipo; fotografías e imágenes modificadas a partir de la información proporcionada dentro del manual de operación y mantenimiento de la PTAR, además de información del funcionamiento proporcionada por la Dra. Jael Rosas Sánchez (ACLARA; 2019; Rosas J. comunicación personal, 13 de octubre de 2025).

Además, la bomba de dosificación, junto con la tubería de conducción de polímeros implica que el proceso de clarificación se encuentra trabajando inadecuadamente o detenido parcialmente. Este hecho conlleva que los lodos no puedan ser separados del agua; por ello, es importante confirmar el estado de los sets de las fibras de ultrafiltración (Figura 10), debido a que el taponamiento de estas fibras puede conllevar a reemplazar estos componentes patentados. Un importante obstáculo en el funcionamiento de la PTAR de la FCB y la ETL radica en que sus equipos y sistemas presentan una falta de mantenimiento, al punto de que algunos pueden considerarse en un estado de reemplazo inmediato debido a un daño permanente. Esto hace imperativa una gestión administrativa que permita la pronta y eficaz operación de los equipos.

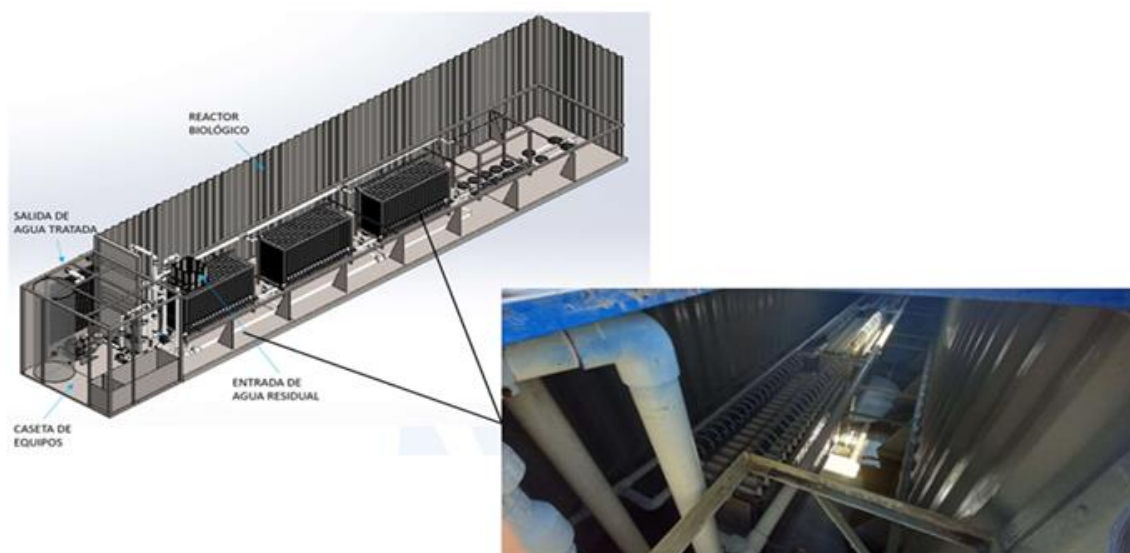


Figura 10. *Equipo de Fibras de filtración de la PTAR de la FCB y la ETL.* **Nota:** equipo de fibras de filtración y fibras de ultrafiltración dentro del reactor de la PTAR de la FCB y la ETL, visualización esquemática y fotográfica del set de fibras; fotografías e imágenes modificadas a partir de la información proporcionada por ACLARA (2019) dentro del manual de operación y mantenimiento de la PTAR, además de información del funcionamiento proporcionada por la Dra. Jael Rosas Sánchez (comunicación personal, 13 de octubre de 2025).

VI.2. Evaluación del conocimiento técnico de los responsables de operación y mantenimiento de la PTAR de la FCB y la ETL

El primer entrevistado fue el Director de Desarrollo de Infraestructura de Obras de la UAEM (Anexo 1).

Los principales hallazgos durante la entrevista incluyen que la PTAR utiliza un sistema biológico de lodos y que no ha recibido mantenimiento por parte del departamento de infraestructura de la UAEM. Además, se hace hincapié en un sistema denominado “Heredas”, que consiste en que, una vez que la PTAR es edificada, corresponde a la entidad facultativa de cada área hacerse responsable de la operación de la PTAR, además del presupuesto para los insumos, honorarios para los operadores, mantenimiento de los equipos, inclusive la gestión para la reutilización del agua tratada y la disposición final de los residuos generados por su operación. Aunado a lo anterior, la entrevista destacó la necesidad de capacitar al personal o inclusive contratar una empresa dedicada a la operación y mantenimiento, de forma independiente a la sección de mantenimiento de la UAEM. El entrevistado destacó que la PTAR presenta problemas de monitoreo, mas no de carácter crítico en el funcionamiento de los equipos, además de que no se han establecido presupuestos específicos para su mantenimiento por parte de la Facultad de Ciencias Biológicas y de la Escuela de Técnicos Laboratoristas. Durante la entrevista se hizo hincapié en la necesidad de asegurar su mantenimiento mediante estudios semestrales; *a posteriori*, inclusive se sugirió la posibilidad de crear una planta de mayor tamaño que se vea complementada con un compromiso más exhaustivo por parte de las unidades académicas.

La segunda entrevista fue dirigida al Secretario de Investigación en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UAEM (Anexo 2).

Sus respuestas se centraron como parte de su visión administrativa, en la parálisis de la PTAR, generada a partir de la falta de entrega oficial, a consecuencia de la ausencia de recursos y protocolos de acción. La entrevista destaca el desconocimiento del equipamiento por parte del área administrativa, debido a que la PTAR no ha sido entregada oficialmente, por lo que hay una falta de información sobre los equipos que posee y su estado, evidenciando una problemática estructural e inconsistencias administrativas con respecto a la toma de decisiones de la PTAR de la FCB y la ETL. Destaca una falta de capacitación, que ha desembocado en que no haya un personal designado que cumpla con el perfil apropiado. El

entrevistado no cuenta con la capacitación técnica en mantenimiento u operación de los equipos; por otro lado, proporciona una perspectiva del funcionamiento de la PTAR paralela, abordando aspectos externos de los departamentos encargados de Obras y Mantenimiento de la UAEM, infiriendo que parte de la problemática ha sido externalizada a las unidades académicas. Señala que, según su conocimiento, dentro de la institución nadie ha sido capacitado para dichas labores, implicando que la ausencia de un profesional con el perfil especializado es una falta grave dentro de la administración; la omisión de un responsable oficial ha derivado en la ausencia de monitoreo, la carencia de procedimientos, además de una falta de claridad por parte del departamento de Obras y Mantenimiento de la UAEM.

Propiamente en la entrevista se ha señalado que la planta ha estado sin control operacional; como consecuencia de esto, no se ha tratado el influente con grasas de los locales de alimentos, convirtiéndose esto en un problema ambiental. Durante la entrevista se estimó un costo inicial por la edificación de la PTAR de aproximadamente 1.6 millones de pesos mexicanos, aunque se carece de documentación oficial que lo confirme. Asimismo, se enfatiza en la falta de un presupuesto operativo o de mantenimiento, ya que la PTAR no ha funcionado adecuadamente y no se conoce el requerimiento real de recursos. Por tanto, destaca la necesidad de realizar un diagnóstico para evaluar el estado de la planta y sus equipos. Como parte de ello, en la entrevista se hace un llamado a la autoridad correspondiente para que se comprometa a monitorear y darle seguimiento a la PTAR para asegurar su funcionalidad.

La tercera entrevista fue dirigida hacia la Jefa de Departamento en la Sección de Saneamiento y Calidad del Agua de la UAEM (Anexo 3).

Su cargo está enfocado en la administración de las infraestructuras del campus Chamilpa, de la UAEM; lo cual es crucial para entender su visión, en las actividades diarias o periódicas. Durante la entrevista, se abordaron diversos temas relacionados con el funcionamiento y mantenimiento de la PTAR. La entrevista indicó que la PTAR debe seguir ciertas restricciones en el mantenimiento o cambio de los equipos debido a patentes relacionadas con la tecnología empleada en el reactor, esto evidencia una clara desconexión entre la fase operativa de la PTAR y los procesos de mantenimiento. Además, confirmó que hasta el momento no ha habido ningún proceso de mantenimiento oficial, enfatizando que la PTAR se debe asegurar mediante la entrega estabilizada y con una expectativa de que las

unidades académicas de la FCB y la ETL se encarguen de un análisis constante de la situación de su agua residual. Además, de igual manera se destacó la importancia de capacitar a quienes operan y le dan mantenimiento a la PTAR, proponiendo como contramedida que se deben de establecer periodos específicos para realizar mantenimientos y la revisión de indicadores del agua residual. Tomando en cuenta lo anterior, la entrevista resalta la importancia de la gestión económica, y, por ende, la aplicación de la normatividad en el funcionamiento de la PTAR.

La cuarta entrevista aconteció en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), realizada al Tecnólogo del agua y principal responsable de las operaciones de la PTAR piloto del IMTA (Anexo 4).

El objetivo específico de esta entrevista fue generar un punto de referencia externo con una PTAR en condiciones óptimas de operación, ofreciendo una visión de la gestión funcional enfocada en puntos clave como la capacitación del personal, los equipos utilizados, la operación de la PTAR, y, por ende, la sostenibilidad de la infraestructura. La PTAR del IMTA funciona como una planta piloto dedicada tanto al tratamiento de aguas residuales, como para el uso de las áreas de servicio y su reintegración al ambiente, además también, a servir de plataforma de investigación, especialmente en estudios de macroinvertebrados, calidad del agua, desarrollo de áreas verdes y al fortalecimiento de líneas de investigación ambiental. Tomando como base este modelo de trabajo, dentro de la entrevista se identificaron varios puntos de oportunidad desde un enfoque técnico, tales como la gestión de los equipos de tratamiento, priorizando un correcto uso de los equipos, la capacitación técnica y las responsabilidades del personal, además del manejo del agua tratada y el cumplimiento de la normatividad ambiental.

Así mismo, mediante la entrevista se dilucidó que la PTAR del IMTA trabaja con equipos similares a los de la UAEM. Reportando que los sopladores y las bombas son los equipos de mayor relevancia operacional, y representan el principal costo de reposición, confirmando que la vida útil de los equipos depende de la demanda operativa, estimando una vida útil de tres a cinco años. Además, el entrevistado cuenta con capacitación para la operación de los equipos, pero el mantenimiento de la PTAR es llevado a cabo por un área interna de servicios generales dentro del IMTA, aclarando que el mantenimiento, cuando es aplicado es de carácter correctivo. A pesar de ello, las funciones de la PTAR no se han

detenido, inclusive en situaciones de emergencia o contingencias sanitarias sucedidas a través del tiempo que ha operado, demostrando una significativa eficacia estructural y operativa.

Debido a esto, la PTAR de la cual él funge como operador principal, cumple con la normatividad ambiental, y está, se encuentra trabajando de manera eficiente. También resalta que no se han presentado problemas significativos en su operación y que la PTAR ha cumplido un papel importante en las investigaciones realizadas dentro del IMTA. A partir de lo anterior, se destacó la importancia de capacitar al personal que esté en labores de operación de la PTAR, además del mantenimiento de los equipos.

La evaluación del conocimiento a los encargados de la PTAR de la FCB y la ETL de la UAEM y la PTAR piloto del IMTA, sirve como contraste en las funcionalidades de cada una. En específico, la tabla de análisis de desafíos y soluciones con respecto a las entrevistas de los principales actores responsables de la PTAR (Tabla 12) organizó la información dada por cada uno de los actores entrevistados en comparación a la información cualitativa identificada como desafíos o acciones técnicas que han llevado al estado presente de la PTAR, aunado a las propuestas o accionares que se deben llevar a cabo para lograr el estado deseado de la PTAR.

Tabla 12. Análisis de desafíos y soluciones

Actores responsables	Desafíos identificados	Propuestas, Metas y Soluciones
Director de desarrollo de infraestructura de obras de la UAEM	- La PTAR no ha recibido mantenimiento. - Dificultades “Heredadas” con respecto a la operación de la PTAR. - Falta de compromiso por parte de las Unidades académicas de la FCB y la ETL. - Falta de presupuesto asignado a las operaciones y el mantenimiento.	- Necesidad de mantenimiento por personal interno o consultoría externa.

Secretario en investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UAEM	- Falta de entrega oficial a la unidad académica - Parálisis administrativa - La FCB no cuenta con los suficientes recursos - No hay personal designado en las labores de operación o mantenimiento de la PTAR - Influyente con problemas de residuos - No existen protocolos de acción	- Realizar un diagnóstico
Jefa de departamento en la sección de saneamiento y calidad del agua de la UAEM	- La existencia de equipos con patentes restringe el mantenimiento y sustitución.	- Mantenimiento correctivo a los equipos de la PTAR - Contratar con empresas especializadas en el mantenimiento de la PTAR - Revisión constante por parte de las Unidades académicas de la FCB y la ETL - Regularización a la normatividad conforme al desecho, tratamiento y reinserción del agua
Tecnólogo del agua y operador de la PTAR piloto del IMTA	- No se identificaron desafíos, se enfocaron las soluciones que ha encontrado el IMTA en el desarrollo de su PTAR.	- La PTAR cumple con las funciones sustantivas además de plataforma de investigación para los centros académicos dentro del IMTA

- Capacitación del personal en la operación y mantenimiento de la PTAR
- El mantenimiento es absorbido por parte del IMTA
- Cumplimiento normativo conforme al desecho, tratamiento y reinserción del agua
- Resiliencia operacional en caso de contingencia sanitaria

Nota: se organiza la información separando los distintos desafíos identificados a través de las entrevistas a los actores principales, además de las propuestas o acciones que se pueden desarrollar, este tipo de visualización ayuda a comprender el estado actual en contraposición a un estado ideal. Tabla de autoría propia, desarrollado a través de la información recopilada a través de las entrevistas, (2026).

En la Tabla 13 se desglosan las palabras por cada entrevistado, enfocando las prioridades por el conteo de palabras y porcentaje de cada uno. Todos los entrevistados coincidieron que la palabra “PTAR” y “Mantenimiento” son los temas centrales, indicando que el mantenimiento de la PTAR es una prioridad para resolver. A partir de las entrevistas, se identificaron puntos de interés en donde se destacó la necesidad de capacitar al personal para la operación y el mantenimiento, o bien contratar una empresa para estos fines. Otro punto importante dentro de las entrevistas fue el financiamiento; en primera instancia, dentro de las entrevistas dirigidas hacia el personal de la UAEM, se destacó la falta de recursos destinados a la operación y el mantenimiento de la PTAR.

En comparación con la entrevista al personal del IMTA, se señaló que los gastos son absorbidos en su totalidad por el propio instituto, permitiendo que la operación de la PTAR cumpla sus funciones sin presiones presupuestales externas. A partir de esto, se genera dentro del IMTA un modelo de reutilización tanto del agua como de los lodos generados, colaborando de forma sinérgica con los proyectos de investigación, además de cumplir con las necesidades de riego interno y la responsabilidad ambiental institucional. En cambio, la

PTAR de la FCB y la ETL carece de un plan financiero que garantice el funcionamiento continuó, así como de una administración orientada a proyectos que promuevan la reutilización del agua.

Tabla 13. Conteos y Porcentajes por palabras de las entrevistas

Palabra	Datos totales		Entrevista 1		Entrevista 2		Entrevista 3		Entrevista 4	
	Conteo	%	Conteo	%	Conteo	%	Conteo	%	Conteo	%
PTAR	83	13.03	23	16.6	20	9.76	20	13.5	20	13.7
Mantenimiento	79	12.4	21	15.2	24	11.7	18	12.1	16	10.9
Operación	37	5.81	8	5.8	10	4.88	9	6.08	10	6.85
Agua	25	3.92	2	1.45	10	4.88	5	3.38	8	5.48
Tratamiento	24	3.77	3	2.17	9	4.39	8	5.41	4	2.74
Residuos	22	3.45	6	4.35	5	2.44	4	2.7	7	4.79
Equipos	19	2.98	4	2.9	4	1.95	8	5.41	3	2.05
Personal	12	1.88	4	2.9	3	1.46	2	1.35	3	2.05
Funcionamiento	11	1.73	1	0.72	5	2.44	3	2.03	2	1.37
Costo	10	1.57	3	2.17	3	1.46	2	1.35	2	1.37
Monitoreo	9	1.41	2	1.45	7	3.41	0	0	0	0
Tecnología	9	1.41	2	1.45	1	0.49	4	2.7	2	1.37
Funcionando	8	1.26	0	0	7	3.41	0	0	1	0.68
Investigación	8	1.26	1	0.72	2	0.98	1	0.68	4	2.74
Lodos	8	1.26	1	0.72	0	0	4	2.7	3	2.05
Presupuesto	8	1.26	3	2.17	2	0.98	1	0.68	2	1.37
Capacitación	7	1.1	3	2.17	1	0.49	1	0.68	2	1.37
Grasas	7	1.1	0	0	4	1.95	3	2.03	0	0
Equipo	6	0.94	2	1.45	2	0.98	1	0.68	1	0.68
Gestión	6	0.94	1	0.72	2	0.98	2	1.35	1	0.68
TOTAL	398	100	90	22.6	121	30.4	96	24.1	91	22.8

Nota: El conteo total de palabras es respecto a las menciones que se dieron de cada palabra en las entrevistas y el porcentaje corresponde al total de cada una de las palabras, además que la entrevista 1 corresponde al Director

de Desarrollo de Infraestructura de Obras de la UAEM, la entrevista 2 fue al Secretario en Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UAEM, además la entrevista 3 fue a la Jefa de Departamento en la Sección de Saneamiento y Calidad del agua de la UAEM y la entrevista 4 correspondió al Tecnólogo del agua y Operador de la PTAR piloto del IMTA. Tabla de autoría propia (2026).

El conteo de frecuencia de palabras, su porcentaje y la nube de ideas generados mediante el programa ATLAS.ti (figura 11), permiten visualizar los datos de mayor complejidad derivados de las entrevistas, representando la estructura jerárquica de los datos cualitativos.

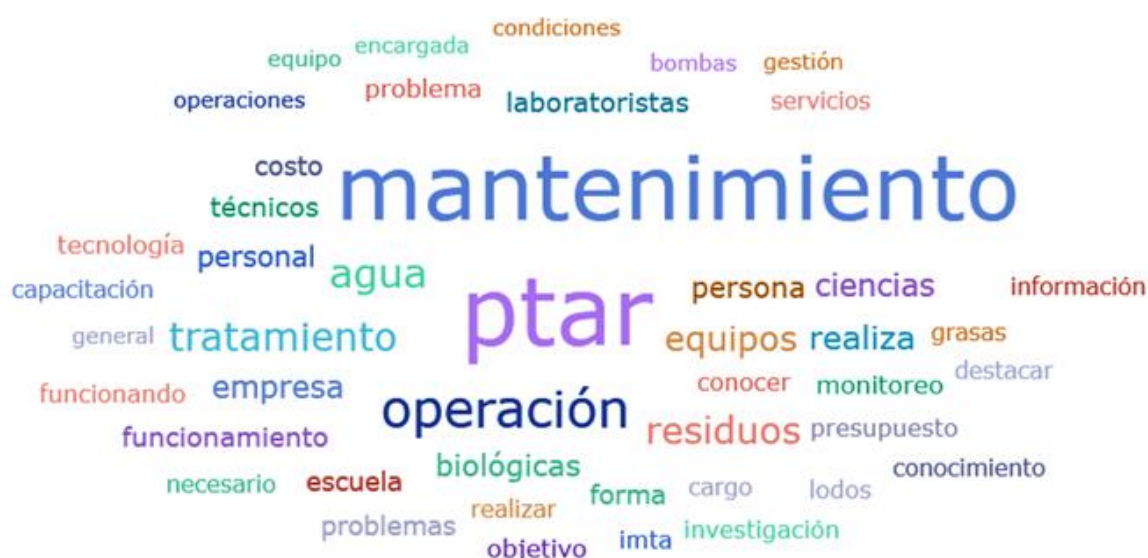


Figura 11. Mapa de ideas derivado de las entrevistas a los encargados de las PTARs de la FCB y la ETL, y la PTAR IMTA. **Nota:** Mapa de ideas con las palabras que tuvieron mayor número de veces presentadas durante las entrevistas a los principales encargados de las PTAR's; imagen generada a través del programa (ATLAS.ti, 2025).

Las diferencias más notables entre ambas plantas radican en su estado operativo; la PTAR de la FCB y la ETL, se encuentra en condiciones de inoperatividad, mientras que, la PTAR piloto del IMTA mantiene una operación controlada y continua, demostrando su resiliencia ante contingencias y cumplimiento normativo. Además, los modelos de gestión son distintos en particular debido a que dentro de la entrevista se encontró que el departamento de obras y mantenimiento de la UAEM transfiere la responsabilidad a las unidades académicas, sin asignar personal especializado. Por el contrario, el IMTA aborda

un modelo integrado e interno de mantenimiento y operación, coordinado por un tecnólogo especializado y el área de servicios generales del propio instituto, lo que fortalece la continuidad y eficiencia operativa de la PTAR.

La eficiencia de la PTAR se asegurará mediante análisis de la calidad del agua de manera semestral, de acuerdo con las indicaciones de los profesionales entrevistados. La mayoría coincide en reconocer la situación actual de la PTAR. De acuerdo con el análisis de las entrevistas en ATLAS.ti, se determinaron con mayor frecuencia las palabras: PTAR, mantenimiento, operación, agua, tratamiento, residuos, equipos, realiza, ciencias, empresa, biológicas y, servicios. Permitiendo inferir que estos son los términos que mayor predominio tienen en el conocimiento de los entrevistados. Además, se menciona la importancia del constante monitoreo y supervisión por parte de un encargado designado que posea el perfil necesario para la operación de la PTAR.

VI.3. Evaluación de la calidad del agua tratada de la PTAR de la FCB y la ETL

La evaluación de la calidad del agua de la PTAR siguió los parámetros de DQO, SDT, SSD y pH (Tabla 14). Se tomaron como puntos principales la entrada del influente en la PTAR, a partir del agua residual que se aloja en el registro de la PTAR, y posteriormente, el reporte de salida del efluente condicionado por el estado actual de la PTAR.

Tabla 14. Parámetros evaluados del agua de la PTAR de la FCB y la ETL.

Parámetro	NOM	LMP	Entrada	Cumplimiento	Salida	Cumplimiento	%Eficiencia
DQO (mg/L)	NOM-001-SEMARNAT-2021	150-210	956	No cumple	500	No cumple	47.69
SDT (mg/L)	NOM-001-SEMARNAT-2021	1000	1304	No cumple	1143	No cumple	12.35
SSD (ml/L)	NOM-002-SEMARNAT-1996	7.5-10/100	4/1000	No cumple	2/1000	No cumple	50
pH	NOM-001-SEMARNAT-2021	6-9	8.91	Cumple	8.02	Cumple	NA

Nota: la calidad del agua fue en primera instancia recolectada el día 13 de octubre del 2025, después se realizaron las pruebas paramétricas correspondientes a cada característica evaluada.

Los valores del parámetro de DQO en todas sus evaluaciones indican incumplimiento con respecto a los límites de descarga establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021, la concentración elevada de DQO en la entrada del influente representa una carga orgánica superior al límite máximo permisible, lo que sugiere que los servicios de alimentos podrían estar realizando la descarga de grasas; por tanto, esto podría provocar incluso que los sets de fibras de ultrafiltración se obstruyan. Aun cuando la PTAR de la FCB y la ETL logra una eficiencia de remoción del 67% en DQO, se encuentra fuera de los LMP establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

El parámetro de SDT generalmente puede ser considerado en PTARs con sistemas avanzados, con un especial enfoque en materia orgánica no degradada, la remoción de sales e inclusive iones disueltos (Romero, 2013). Debido a lo anterior, los valores de entrada pueden explicarse a través de los detergentes, productos de limpieza y residuos de cocina, que son una fuente significativa de sólidos disueltos producidos en las inmediaciones de la PTAR y que, por consiguiente, se unen al influente. Además, los valores de salida de los SDT indican que, a través de los equipos, permanece una cantidad residual de esta carga orgánica no degradada dentro de la PTAR. Lo anterior, podría estar afectando la eficiencia de remoción de los residuos presentes en el influente hasta el efluente tratado. Tomando como base, la falta de mantenimiento en los equipos encargados de la dosificación, se determina que hay una infiltración en la biomasa, ocasionando un déficit en la separación de los lodos, que se ve expresado a través del valor de salida, e inclusive, un valor alto de SDT significa que los lodos se están moviendo a través del efluente tratado.

El parámetro de SSD se relaciona directamente con la liberación de lodos a través del efluente. A consecuencia de una eficiencia del 50%, esto puede deberse a que la reja tipo canastilla en la entrada de la PTAR se encuentra cumpliendo con la retención de los sólidos de mayor tamaño, pero el resto de los procesos siguen incumpliendo a los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Por último, el pH de la entrada del influente, con 8.9, muestra un valor alcalino. Aun cuando no se puede obtener un coeficiente de remoción exacto, a partir del potencial de hidrógeno, se establece, mediante el valor de salida con 8.2, de carácter más neutro, un balance de acuerdo a la norma. Dentro de la normatividad se establece que un pH que ronde el 6 (ligeramente ácido) y 9 (alcalino) en los procesos biológicos de degradación de la materia

orgánica se encuentran generando dióxido de carbono, asegurando que el proceso de aireación del reactor, continúe activo para que la biomasa no se encuentra en un estado de descomposición. Este resultado es beneficioso, ya que es el único parámetro que cumple con la normatividad, asegurando que los lodos presentes en el reactor todavía están en balance orgánico y, evitando un proceso de putrefacción.

VI.4. Técnica de la Ecuación del Costo Total Anual para la factibilidad económica de la PTAR de la FCB y la ETL

El análisis de la factibilidad económica de la PTAR gira en torno a los valores que la representan. Se establecieron dos escenarios, en consideración a los costos mínimos y máximos de los equipos.

Se registró el costo inicial de la edificación del proyecto (C_0), el cual fue identificado a través de las entrevistas en \$1,600,000 pesos mexicanos (M.N.).

Posteriormente, se calculó la tasa de interés (i) de acuerdo con el valor presente de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), la cual, como dependencia del Gobierno Federal, se encarga de controlar la política económica del país. En este contexto, para el análisis del CTA se propone una tasa de interés del 10% de acuerdo con lo estipulado por la SHCP como el estándar obligatorio para evaluar los proyectos de inversión pública, garantizando así los lineamientos oficiales tanto para la UAEM como para una posible auditoría.

El siguiente valor evaluado fue (n) con la proyección de 10 años a futuro, que corresponde a la vida útil de la PTAR. De acuerdo con Romero (2013), se deduce como el tiempo de diseño mínimo estimado de la mayoría de las PTARs, antes de caer en la obsolescencia total de sus equipos o de la infraestructura.

Uno de los factores esenciales para desarrollar los distintos escenarios de la ecuación es la valorización de los equipos que no necesitan ser cambiados (V_1) o que el mantenimiento que necesitan no es prioritario. Generalmente este valor actúa como un salvamento a la infraestructura de la PTAR. Por ello, se establecieron dos escenarios dentro de la ecuación, para el primer escenario con el costo mínimo de salvamento se le asigna un valor de \$1,176,334 M.N., para los equipos no prioritarios de reparación y para el segundo escenario con el costo máximo de los equipos de igual manera exentos de un cambio prioritario es de

\$2,715,338 M.N., de acuerdo a las valorizaciones del estado de los equipos, estimadas en la tabla 10.

Por otra parte, el valor de (R), es correspondiente a los equipos prioritarios que necesitan mantenimiento correctivo o inclusive un reemplazo (Tabla 11), y por ello, para el primer escenario con el costo mínimo de las cotizaciones de los equipos se declaró en \$97,750 M.N. y para el segundo escenario, con un costo máximo para los equipos en facilidad de reemplazo, se estimó con una asignación de \$203,200 M.N., de acuerdo con los datos obtenidos en la lista de verificación de los equipos, realizada a través de los distintos distribuidores y vendedores.

De acuerdo con las entrevistas el periodo activo para realizar las reparaciones será un tiempo aproximado de un año, debido a lo anterior el valor de (x) hace referencia al periodo de tiempo a realizarse las reparaciones primordiales para el funcionamiento de la PTAR de la FCB y la ETL.

Por último, el valor asignado para la operación y mantenimiento (O) fue estimado a través de las entrevistas y la referencia de autores como Romero (2013) y Cely et al., (2022) estableciéndose en \$200,000 M.N., el cual engloba los costos de insumos, energía eléctrica, honorarios y mantenimiento preventivo de los equipos.

Una vez completados los valores, estos fueron asignados dentro de la ecuación para el Costo Total Anual del escenario Mínimo (Ecuación 4).

$$CTA = (1,600,000)(0.10) + \frac{(1,600,000 - 1,176,334)0.10}{(1 + 0.10)^{10} - 1} + \frac{(97,750)(0.10)}{(1 + 0.10)^1 - 1} + 200,000$$

Ecuación 4. Escenario Mínimo del CTA de la PTAR de la FCB y la ETL.

Nota: la evaluación económica presentada utiliza una metodología de valor que equivale a los factores de inversión del proyecto, depreciación de los equipos e infraestructura, además de los costos principales de reparación, y por ultimo los costos por operación y mantenimiento de la PTAR. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

La ecuación del CTA, se desarrolló mediante cuatro secciones que engloban el costo de capital, el costo de depreciación, el costo de reparación principal, el costo de operación y mantenimiento.

1. El costo de capital fue evaluado con \$160,000 M.N. (Ecuación 5), tomando en cuenta la inversión de capital, cubriendo la edificación y los equipamientos, además de la tasa de interés.

$$\text{Costo de Capital} = (1,600,000)(0.10) = 160,000$$

Ecuación 5. Resultado del Costo Capital del escenario mínimo

Nota: segmento de la evaluación concerniente al Costo Capital que toma en cuenta el valor del Costo inicial de la construcción y la tasa de interés de la SHCP. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

2. El costo de depreciación consistió en \$26,583.09 M.N. (Ecuación 6). En esta sección de la ecuación se reflejan las amortizaciones que ha tenido a través del tiempo la PTAR. Es imperativo tener en cuenta su relevancia, debido a que se maneja un costo que no afecta la operatividad diaria, pero, si no es tomado en cuenta, puede comprometer la viabilidad económica a largo plazo.

$$\text{Costo de Depreciación} = \frac{(1,600,000 - 1,176,334)0.10}{(1 + 0.10)^{10} - 1} = 26,583$$

Ecuación 6. Resultado del Costo de Depreciación del escenario mínimo

Nota: segmento de la evaluación concerniente al Costo de Depreciación, toma en cuenta el Costo inicial de la construcción, el costo de reparación de los equipos, la tasa de interés de la SHCP y el periodo de diseño estimado. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

3. El Costo de Reparación principal se obtuvo de acuerdo con el desglose de los equipos con mayor significancia en la operación de la PTAR (Ecuación 7). El valor resultante dentro de la ecuación corresponde a \$97,750 M.N. Además, se calcula como parte de una inversión necesaria de forma inmediata, en el primer año evaluado, para una reactivación pronta de los sistemas que engloba la PTAR.

$$\text{Costo de Reparación} = \frac{(97,750)(0.10)}{(1 + 0.10)^1 - 1} = 97,750$$

Ecuación 7. Resultado del Costo de Reparación del escenario mínimo

Nota: el segmento de la evaluación concerniente al Costo de Reparación, determina los valores de los equipos en reparación, la tasa de interés de la SHCP y el tiempo de evaluación para las reparaciones estimadas. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

4. Por último, el Costo por Operación y mantenimiento fue valorado en \$200,000 M.N. Este valor es una entrada directa anual que es desarrollada a través del total operativo por los m³ servidos en la PTAR, además de estimar la energía eléctrica, el personal y el mantenimiento (Romero, 2013). En este caso, debido a que la PTAR cuenta con un sistema de tratamiento prefabricado, deriva en tiempos y procesos de monitoreo con menor contenido, lo que puede permitir a inferir una intervención reducida por parte del operador de la PTAR.

Para finalizar la ecuación debemos sumar cada uno de los segmentos separados (Ecuación 8).

$$CTA = \$160,000 M.N. + \$26,583 M.N. + \$97,750 M.N. + \$200,000 M.N.$$
$$CTA = \$484.333 M.N.$$

Ecuación 8. Resultados de la ecuación del CTA Mínimo de la PTAR de la FCB y la ETL.

Nota: Los valores del CTA corresponden al Costo de capital + Costo de depreciación + Costo de reparación + Costo de operación. La ecuación económica se planteó mediante una valorización anual para su eficiencia estructural, contemplando los costos asociados a la operación, mantenimiento preventivo, además de la remediación necesaria de las condiciones actuales de deterioro en el que se encuentran los equipos. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

En el segundo escenario con costes Máximos, la ecuación se desarrolló de la siguiente forma (Ecuación 9).

$$CTA = (1,600,000)(0.10) + \frac{(1,600,000 - 2,715,338)0.10}{(1 + 0.10)^{10} - 1} + \frac{(203,200)(0.10)}{(1 + 0.10)^1 - 1}$$
$$+ 200,000$$

Ecuación 11. Escenario Máximo del CTA de la PTAR de la FCB y la ETL.

Nota: la evaluación económica presentada utiliza una metodología de valor que equivale a los factores de inversión del proyecto, depreciación de los equipos e infraestructura, además de los costos principales de reparación, y por ultimo los costos por operación y mantenimiento de la PTAR. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

La ecuación del CTA en el escenario máximo, se desarrolló de la siguiente manera:

1. El costo de capital fue evaluado con \$160,000 M.N., tomando en cuenta la inversión de capital, cubriendo el costo mayor de los equipamientos, además de la tasa de interés. Este procedimiento resulto similar a lo visto en la ecuación 5, debido a que los valores desarrollados (costo inicial y la tasa de interés), son idénticos en ambos escenarios.

2. El costo de depreciación consistió en el valor de \$69,984.19 M.N. (Ecuación 10), en esta sección de la ecuación resalta el valor de V1, superior a Co, actuando como una amortización proyectada.

$$\text{Costo de Depreciación} = \frac{(1,600,000 - 2,715,338)0.10}{(1 + 0.10)^{10} - 1} = -69,984.19$$

Ecuación 12. Resultado del Costo de Depreciación del escenario máximo

Nota: segmento de la evaluación concerniente al Costo de Depreciación, toma en cuenta el Costo inicial de la construcción, el costo de reparación de los equipos, la tasa de interés de la SHCP y el periodo de diseño estimado. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

3. El Costo de Reparación principal se obtuvo de acuerdo con el desglose de los equipos con prioridad en el mantenimiento de la PTAR (Ecuación 11); el valor corresponde a \$203,200 M.N.

$$\text{Costo de Reparación} = \frac{(203,200)(0.10)}{(1 + 0.10)^1 - 1} = 203,200$$

Ecuación 13. Resultado del Costo de Reparación del escenario máximo

Nota: el segmento de la evaluación concerniente al Costo de Reparación, determina los valores de los equipos en reparación, la tasa de interés de la SHCP y el tiempo de evaluación para las reparaciones estimadas. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

4. Por último, el Costo por Operación y mantenimiento fue valorado en \$200,000 M.N., como ha sido detallado anteriormente, representa una entrada directa anual que es desarrollada a través del total operativo por los m³ servidos en la PTAR, además de estimar la energía eléctrica, el personal y el mantenimiento (Romero, 2013).

Para finalizar la ecuación del CTA, debemos sumar cada uno de los segmentos separados (Ecuación 12).

$$\begin{aligned} \text{CTA} &= \$160,000 \text{ M. N.} - \$69,984.19 \text{ M. N.} + \$203,200 \text{ M. N.} + \$200,000 \text{ M. N.} \\ \text{CTA} &= \$493.215.81 \text{ M. N.} \end{aligned}$$

Ecuación 14 . Resultados de la ecuación del CTA Máximo de la PTAR de la FCB y la ETL.

Nota: Los valores del CTA corresponden al Costo de capital + Costo de depreciación + Costo de reparación + Costo de operación. La ecuación económica se planteó mediante una valorización anual para su eficiencia estructural, contemplando los costos asociados a la operación, mantenimiento preventivo, además de la remediación necesaria de las condiciones actuales de deterioro en el que se encuentran los equipos. La información fue interpretada a través de la ecuación del CTA de Romero (2013).

El resultado del CTA implica las reparaciones como parte de un costo anual recurrente; es decir, que se sobrestima de forma significativa el costo real por las reparaciones, en particular el valor (R), que hace referencia a los equipos sensibles a cambio o reparación puntual, el cual debe obtener un ajuste más realista conforme al valor de la temporalidad de las reparaciones (x). De tal manera que sea considerado un patrón de reparaciones en intervalos de 1, 5 y 10 años. Además (R) no se debe tomar como un único valor, sino como parte del paquete de inversiones correctivas futuras.

Desde un punto de vista económico y ambiental, se infiere que la PTAR de la FCB y la ETL, está subsidiando la ineficiencia en la gestión de los residuos por parte de los generadores, atribuida a la sobrecarga orgánica en los análisis paramétricos de DQO, ocasionando un costo operativo oculto. De tal manera que, al subestimar el costo del pretratamiento, este se traslada a un costo insostenible, acelerando la depreciación de los equipos.

En síntesis, se reveló mediante la ecuación del CTA que la PTAR de la FCB sufre de un problema en la gestión presupuestal, provocado como se ha mencionado anteriormente, por la descentralización de responsabilidades. Debido a lo anterior y de acuerdo con la

ecuación del CTA, se requiere una inversión de \$484,333M.N. hasta \$493,215M.N. para la pronta eficacia operativa en el primer año evaluado.

VI.5. Evaluación del impacto ambiental

La identificación de los aspectos ambientales o ambiente afectados agrupa los aspectos clave como son los insumos hídricos, energéticos, y los materiales. Por el contrario, estos generan en consistencia con los anteriores procesos metodológicos, que la problemática de la PTAR de la FCB y la ETL no es únicamente de los equipos de tratamiento, sino que se distribuye a lo largo de toda la cadena de generación y gestión del tratamiento por parte de los principales encargados.

La matriz incorpora aspectos ambientales que la ecuación del CTA no estima, como la amortización de costos ambientales, además de costos potenciales por incumplimiento a la normativa, inclusive influyendo en la reputación institucional. Por ello, la matriz de Leopold identifica las actividades sustantivas de la PTAR, las situaciones de riesgo que se pueden desencadenar y, los efectos ambientales por consumo y generación, obteniendo así los impactos ambientales, permitiendo asignar un valor a las situaciones evaluadas, desde un punto de vista coherente entre la viabilidad económica y la aceptabilidad ambiental.

Los laboratorios de investigación no parecen especialmente significativos, hasta que se evalúa el consumo de agua con un valor de 53, alcanzando un valor de impacto severo de acuerdo con la ecuación del impacto ambiental. Por otra parte, el servicio de limpieza de instalaciones evalúa el consumo de material de limpieza como severo (54), aunado a una generación de agua con productos de limpieza (51) que deriva en una gestión ineficiente por parte de los equipos presentes en la PTAR. En específico, los servicios de sanitarios destacan especialmente en los aspectos ambientales anteriormente mencionados (72 y 73 respectivamente), inclusive la contaminación del agua es evaluada como crítica (78). Estos aspectos son identificados a través del análisis de los parámetros de la calidad del agua tanto del influente como del efluente de la PTAR de la FCB y la ETL.

Tabla 15. Matriz de evaluación de aspectos y riesgos ambientales de la PTAR de la FCB y la ETL

Ambiente afectado-Aspecto ambiental Actividad o situación de emergencia		CONSUMO DE MATERIALES					GENERACIÓN DE RESIDUOS Y EFECTOS AL AMBIENTE									
			Consumo de agua	Consumo de energía eléctrica	Consumo de materiales y equipos electromecánicos	Consumo de material de limpieza	Generación de aguas residuales	Cloración del agua	Agua con productos de limpieza	Lodos residuales	Descarga de aceite comestible	Residuos CRT	Generación de malos olores	Afectaciones al ser humano	Contaminación del Suelo	Contaminación del Agua
Operación de la PTAR	NT			(-)	(-)			(+)		(-)		(-)	(-)		(-)	(-)
	IN			4	8			4		8		4	4		4	4
	EX			2	4			2		2		2	2		2	4
	PE			4	4			1		1		1	1		4	4
	RV			2	2			2		2		2	2		2	2
	SI			1	1			1		4		2	1		1	2
	AC			1	1			1		4		4	1		1	4
	EF			4	4			1		4		4	1		1	4
	PR			4	2			1		2		1	1		4	4
	MC			1	1			1		2		2	1		2	4
	TOT	0	33	47	0	0	24	0	47	0	32	24	0	31	44	
Servicio de alimentos	NT	(-)				(-)	(-)		(-)		(-)	(-)			(-)	(-)
	IN	12				8	12		12		12	8			8	12
	EX	4				4	8		8		8	4			4	8
	PE	4				4	4		4		4	1			4	4
	RV	2				2	2		2		4	2			2	4
	SI	4				4	4		4		2	2			2	4
	AC	4				4	4		4		4	1			1	4
	EF	4				4	4		4		4	4			4	4
	PR	4				4	4		4		4	1			4	4
	MC	4				4	4		4		4	2			2	8
	TOT	70	0	0	58	78	0	78	0	78	45	0	0	51	84	
Servicio de sanitarios	NT	(-)				(-)	(-)		(-)	(-)		(-)				(-)
	IN	12				12	12		12	8		8				12
	EX	4				8	4		8	2		2				8
	PE	4				4	4		1	4		1				4
	RV	4				2	2		2	2		2				2
	SI	4				2	4		4	2		2				4
	AC	4				4	4		4	4		4				4
	EF	4				4	4		4	4		4				4
	PR	4				2	4		2	2		1				4
	MC	4				2	4		4	2		4				4
	TOT	72	0	0	72	70	0	73	48	0	46	0	0	0	78	

Ambiente afectado-Aspecto ambiental Actividad o situación de emergencia		CONSUMO DE MATERIALES					GENERACIÓN DE RESIDUOS Y EFECTOS AL AMBIENTE									
			Consumo de agua	Consumo de energía eléctrica	Consumo de materiales y equipos electro mecánicos	Consumo de material de limpieza	Generación de aguas residuales	Cloración del agua	Agua con productos de limpieza	Lodos residuales	Descarga de aceite comestible	Residuos CRT	Generación de malos olores	Afectaciones al ser humano	Contaminación del Suelo	Contaminación del Agua
Mantenimiento de los equipos dentro de la PTAR	NT				(-)	(-)						(-)				
	IN				8	12						12				
	EX				8	8						4				
	PE				1	1						1				
	RV				2	2						2				
	SI				2	2						4				
	AC				4	4						4				
	EF				4	1						1				
	PR				4	2						1				
	MC				4	4						2				
	TOT			0	61	68	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0
Limpieza de instalaciones	NT	(-)				(-)	(-)		(-)			(-)				(+)
	IN	12				8	12		8			8				12
	EX	8				4	4		4			4				4
	PE	4				4	4		4			1				4
	RV	2				2	4		2			2				4
	SI	2				2	4		2			4				4
	AC	1				4	4		4			4				4
	EF	4				4	4		1			1				4
	PR	2				2	2		2			1				2
	MC	4				4	4		4			4				4
	TOT	71	0	0	0	54	70	0	51	0	0	49	0	0	0	70
FALTA DE RECURSOS ECONOMICOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA PTAR	NT					(-)		(-)		(-)			(-)		(-)	(-)
	IN					12		4		12			8		8	12
	EX					4		4		8			4		4	4
	PE					4		1		1			4		4	4
	RV					2		2		2			2		4	4
	SI					2		4		2			2		2	4
	AC					4		4		4			1		1	4
	EF					4		4		4			1		1	4
	PR					2		1		4			2		4	4
	MC					4		4		4			2		4	8
	TOT	0	0	0	0	66	0	40	0	73	0	0	46	0	52	76

Ambiente afectado-Aspecto ambiental Actividad o situación de emergencia		CONSUMO DE MATERIALES					GENERACIÓN DE RESIDUOS Y EFECTOS AL AMBIENTE								
			Consumo de agua	Consumo de energía eléctrica	Consumo de materiales y equipos electro mecánicos	Consumo de material de limpieza	Generación de aguas residuales	Cloración del agua	Agua con productos de limpieza	Lodos residuales	Descarga de aceite comestible	Residuos CRI	Generación de malos olores	Afectaciones al ser humano	Contaminación del Suelo
SATURACIÓN DE LOS EQUIPOS POR EXCESO DE LODOS	NT			(-)		(-)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		(-)	(-)
	IN			8		4		4	12	12	8	8		8	12
	EX			4		4		4	8	4	4	4		8	8
	PE			1		1		1	4	4	4	4		4	4
	RV			2		2		2	2	4	4	2		4	4
	SI			4		1		2	4	4	4	2		4	4
	AC			1		1		1	4	4	4	1		4	4
	EF			4		1		1	4	1	4	4		4	4
	PR			2		2		2	2	1	4	4		4	4
	MC			4		4		4	4	4	8	4		8	8
	TOT	0	0	50	0	32	0	33	76	66	64	53	0	72	84
VERTIDO DE AGUAS SIN TRATAMIENTO ADECUADO A LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	NT	(-)				(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	IN	12				8	4	8	12	12	8	12	4	8	12
	EX	8				8	8	8	8	8	4	2	2	4	8
	PE	4				4	4	4	4	4	4	4	1	4	4
	RV	2				4	2	4	2	2	2	2	4	4	4
	SI	1				4	2	2	4	2	4	1	1	2	4
	AC	4				4	4	4	4	4	4	1	1	4	4
	EF	4				1	4	1	4	1	4	4	1	4	4
	PR	4				4	2	4	4	4	1	4	1	4	4
	MC	8				4	4	4	4	4	4	4	1	4	4
	TOT	79	0	0	0	65	50	63	78	73	55	60	26	58	80
DERRAME DE AGUAS RESIDUALES	NT					(-)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	IN					12		8	12	8	12	8	4	8	12
	EX					8		8	8	2	8	2	2	4	8
	PE					4		4	4	1	1	4	1	4	4
	RV					4		4	2	2	4	2	2	2	4
	SI					4		2	4	1	4	1	1	2	4
	AC					4		4	4	4	4	1	1	4	4
	EF					4		4	4	1	4	1	1	4	4
	PR					4		4	4	4	4	4	1	4	4
	MC					4		4	4	4	4	1	2	4	4
	TOT	0	0	0	0	80	0	66	78	45	77	42	25	56	80

Nota: la matriz de Leopold aplicada a la PTAR de la FCB y la ETL identifica de forma estructurada las actividades (en minúsculas) y a la vez ejerce una trazabilidad en los riesgos (mayúsculas y negritas) que

pudieran ser ocasionados de las mismas, información adaptada a partir de la matriz de Leopold (1971) y Fernández (1997).

De acuerdo con lo anterior, las actividades de mayor impacto ambiental, como la falta de recursos para el mantenimiento de la PTAR, la saturación de los equipos por exceso de lodos, el vertido de aguas sin tratamiento adecuado a los LMP y el derrame de aguas residuales coinciden con los puntos clave de las entrevistas y con la eficiencia de remoción de los parámetros de DQO, SSD, SDT y pH, que perjudican la eficiencia operativa y la gestión de recursos de la PTAR. Asimismo, actividades, como los servicios de alimentos, en específico la generación de grasas, resultan en la ineficiencia de los equipos. Estos impactos, son los marcados en naranja (en un rango de 50 a 75) y rojo (mayores a 76) de acuerdo a las valoraciones de la matriz.

En primera instancia los servicios de alimentos impactarán de manera considerable en la descarga de aceite comestible (78), además de la generación de aguas residuales (78), que resaltan de manera considerable, debido al estado de la PTAR, en la contaminación del agua (84). Esto último, asevera la inoperancia de los sistemas de pretratamiento; además de forma trazable, la situación de riesgo de la saturación de los equipos por exceso de lodos, determinó que la contaminación del agua (84) y los lodos residuales (76) están ocasionando en la PTAR que el sistema no sedimente los lodos; por ejemplo, los valores obtenidos de los parámetros de DQO y SSD, evidencian que estos lodos están siendo expulsados con el efluente. Esto ocasiona que el vertido de aguas sin tratamiento adecuado sea crítico, con un valor por generación de malos olores (60) y aguas residuales (65), siendo estos de carácter severo en el impacto ambiental; además los lodos residuales serán críticos (78).

Por último, la situación de riesgo o emergencia derivada de la operación ineficaz de los equipos concluirá en el derrame de aguas residuales que pueden contener las descargas de residuos CRT (77), incluidos también los aceites de los servicios de comida (45) y, agua con residuos de los productos de limpieza (66). Estos, pueden derivar, en menor consecuencia, en la generación de malos olores (42), afectaciones al ser humano (25), contaminación del suelo (56) y del agua (80). En específico, esto último indica que las tuberías de acceso, el cárcamo de bombeo o el registro del agua, están siendo rebasados, generando, por defecto, una descomposición incontrolada de materia en la PTAR, que puede llevar al taponamiento de las fibras de ultrafiltración, ocasionando que el agua sea liberada

al ambiente los cuales contienen una carga bacteriana y orgánica altamente concentrada, los cuales pueden tener un impacto negativo en el ambiente y la salud de los organismos.

De acuerdo a la valorización de los impactos ambientales en la matriz de Leopold, en las características moderadas (25 a 49) y severas (50 a 75), vistas en la Tabla 16, se interpreta que las actividades antropogénicas, tanto comunes como de emergencia generan un impacto ambiental acumulativo que se agravará con el tiempo de exposición. Esto, resulta en parte la inversión del CTA a los equipos, para evitar el colapso de la PTAR.

Tabla 16. Síntesis de la clasificación de la Matriz de evaluación

Actividades y Situaciones de emergencia	Clasificación	Rango de valor
Operación de la PTAR		25 – 49
Servicio de alimentos		
Servicio de sanitarios		
Mantenimiento de los equipos dentro de la PTAR		
Limpieza de instalaciones		50 – 75
Falta de recursos económicos para el mantenimiento de la PTAR		
Saturación de los equipos por exceso de lodos		
Vertido de aguas sin tratamiento adecuado a los LMP		
Derrame de aguas residuales		

Nota: se clasifican las actividades y situaciones de emergencia de acuerdo con su nivel de clasificación, moderados (amarillo) y severos (naranja), permitiendo identificar de forma esquemática las áreas que requieren intervención inmediata dentro de la PTAR, información adaptada a partir de la matriz de Leopold (1971) y Fernández (1997), con resultados de autoría propia.

Por otra parte, las evaluaciones estiman que no se trata solamente de una ineficiencia de los equipos o de la administración, sino de una transferencia de impacto, ya que los contaminantes generados en los laboratorios, sanitarios y comedores están atravesando la PTAR sin recibir un tratamiento efectivo, y, en consecuencia, están provocando la acumulación de lodos y maximizando el daño al cuerpo receptor de agua.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

Los equipos y sistemas de la PTAR trascienden el mantenimiento mecánico; aunado a lo anterior, cualquier inversión en equipamiento deriva en el riesgo de una depreciación por la omisión operativa descrita en las entrevistas, destacando la necesidad imperativa de una activación administrativa, además de la asignación de personal que cumpla con el perfil laboral para el constante monitoreo de la PTAR.

Los resultados de los parámetros de calidad del influente y el efluente indican que la PTAR conserva una eficiencia en la remoción de contaminantes físicos, pero presenta grandes problemas para los residuos de carácter químico u orgánico; debido a esto, presenta incumplimiento de la normatividad vigente.

La viabilidad económica depende de una reintegración presupuestal que en términos financieros del CTA requiere alrededor de \$484,333 a \$493,000 M.N. para el primer año. En específico este gasto, no se debe interpretar como el costo por renovación de los equipos prioritarios, sino como un modelo que aborda los presupuestos a lo largo de los 10 años que trabajará la PTAR de la FCB y la ETL.

La matriz de Leopold determinó que las actividades y situaciones de emergencia de la PTAR responden a un índice mayor en la generación de residuos de manejo especial, que derivan en la inviabilidad operativa, actuando la PTAR como un punto de concentración de los contaminantes. Debido a lo anterior, dentro de la matriz se determina que, además de la reparación de los equipos para el óptimo funcionamiento, deben ser atendidas con igual importancia las descargas de los sitios a los que sirve la PTAR, como el área de servicio de alimentos, laboratorios o sanitarios; de lo contrario los impactos ambientales, en específico los de carácter crítico, seguirán estando presentes.

CAPÍTULO IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aclara. (2025). *Planta de tratamiento de aguas residuales*. <https://aclara.mx/>.
- Aclara. (2019). *Manual de operación y mantenimiento: Planta de tratamiento de aguas residuales ACLARAPACK con capacidad de 2.008 LPS, ubicada en la Facultad de Ciencias Biológicas, UAEM, Cuernavaca, Morelos*. [Manual].
- Alemanni, M. E. (2012). *Reusó de aguas residuales tratadas para riego y su factibilidad de aplicación en la región Andina de la provincia de Río Negro*. [Trabajo de posgrado, Universidad Nacional de Río Negro]. Repositorio Digital UNRN. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/479>.
- Alibaba. (2025). *Rejilla para el tratamiento del agua*. MercadoT Mundo Tabao <https://spanish.alibaba.com/g/grille-for-water-treatment-plant.html>.
- Álvarez, B.O.L. (2019). *Desarrollo de paquete tecnológico para el tratamiento de aguas residuales*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. Repositorio Institucional de Acceso Abierto. <https://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/871/AABONF00T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- AQUAE. (2024). *¿Sabes cuánta agua hay en el mundo?* Fundación AQUAE. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/cuanta-agua-hay-en-el-mundo/>.
- Aqua Systems. (2025). *¿Cuánto cuesta construir una planta de tratamiento de aguas residuales en México?*. <https://www.aqua.com.mx/plantas-de-tratamiento-de-agua-residual/Cuanto-cuesta-construir-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-México>.
- Arreguin, C.F.I., López, P.M., Cervantes, J.C.E. (2020). *Los retos del agua en México*. Revista Tecnología y ciencia del agua. 11 (2). p. 495-547. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2020-02-10>.
- ATLAS.ti. (2025). *ATLAS.ti análisis de datos cualitativos*. (versión 24). [Software informático]. <https://atlasti.com/es>.
- Banco Mundial. (2020, 19 de marzo). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías*. [Comunicado de prensa]. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a->

- [resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank.](#)
- Bioingepro. (2022). *Tratamiento de efluentes*. <https://bioingepro.com.ar/project/tratamiento-de-efluentes/>.
- Bordino, J. (2024). *Qué porcentaje de agua tiene la Tierra y su distribución*. Geoenciclopedia. <https://www.geoenciclopedia.com/que-porcentaje-de-agua-tiene-la-tierra-y-su-distribucion-886.html>.
- Cáceres, M.M.E., Argüello, G.C.S., Pino, V.M.V., Montenegro, C.G.B., Verdugo, B.C.M., Béjar, S.J.G., Cáceres, M.A.P. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en riego en áreas verdes*. Revista Europea de Ciencia, ESJ. 13(18). 94. <https://doi.org/10.19044/ESJ.2017.V13N18P94>.
- CAT. (2017). *Tableros de control*. Cat de México SA. De CV. <https://catdemexico.wixsite.com/catmex/tableros-de-control>.
- CBR. (2021). *Ley sobre el tratamiento de aguas residuales que debes conocer*. CBR Ingeniería Expertos en el tratamiento del agua. <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/ley-sobre-el-tratamiento-de-aguas-residuales-que-debes-conocer>.
- CEAGUA. (2021). *Rehabilita Ceagua plantas de tratamiento*. Comisión Estatal del Agua Morelos. <https://ceagua.morelos.gob.mx/noticias/rehabilita-ceagua-plantas-de-tratamiento>.
- Cely, C.N.J., Bonilla, C.A.G., Carrillo, G.A.S. (2022). *Tratamientos de aguas residuales*. (1a ed.). San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander. Bogotá. Colombia. ISBN 978-958-503-376-4.
- Céspedes D.N.B. (2019). *Tratamiento terciario de aguas residuales no domésticas empleando a Chlorella sp. y conversión de la biomasa microbiana por pirólisis lenta*. [tesis de grado, Pontifica Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. <http://hdl.handle.net/10554/43200>.
- Chávez, V.I.G. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales*. Dominio de las Ciencias. 3 (EX 1). p. 536-560. ISSN-e 2477-8818.
- CONAGUA. (2016). *Normas Oficiales Mexicanas (NOM)*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-nom-83264>.

- CONAGUA. (2020). *Programa nacional hídrico 2020-2024*. Gobierno de México. https://datos.conagua.gob.mx/DatosAbiertos/PNH_Resumen.pdf.
- CONAGUA. (2023). *Estadísticas del agua en México 2021*. Agua. <https://agua.org.mx/biblioteca/estadisticas-del-agua-en-mexico-2021-conagua/>.
- CONAGUA. (2024). *Curso de técnicas de operación de plantas de tratamiento de aguas residuales*. ANEAS. Ejemplar de agosto 2024.
- Cottler, A. (2010). *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*. Agua.org. ISBN 978-607-7655-07-7.
- De Souza, M.J., Fernández, E., De Carvalho, L.V. (2014). *Determinantes estructurales en la difusión de las patologías del agua en Brasil*. Problemas del desarrollo. 45 (179). p. 117-136. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301703614701439>.
- Díaz, B.L., Torruco, G.U., Martínez, H.M., Varela, R.M. (2013). *La entrevista, recurso flexible y dinámico*. *Investigación en Educación Médica*. 2 (7), 162-167. <https://www.redalyc.org/pdf/3497/349733228009.pdf>.
- Díaz, C.E., Alvarado, G.A.R., Camacho, C.K.E. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México*. Quivera. Revista de Estudios Territoriales. 14 (1). p.78-97.
- Di Donato, M., Lomas, L.P., Carpintero, O. (2015). *Metabolismo e impactos medioambientales del consumo doméstico: una revisión de la evaluación, metodología y factores*. Número especial sobre las fronteras en la investigación del metabolismo socioeconómico. 19 (5). p. 904-916. <https://doi.org/10.1111/jiec.12356>Digital Object Identifier (DOI).
- DOF. (1998). *Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0.
- DOF. (1998). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se*

- reúsen en servicios al público.* Diario Oficial de la Federación.
<https://elsemarnat.info/normas/nom-003/>.
- DOF. (2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. protección ambiental – lodos y biosólidos – especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.* Diario Oficial de la Federación.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110525/NOM_004_SEMARNAT_2002.pdf.
- DOF. (2023). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.* Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0.
- Domínguez, M.L.E., Poggi, V.H.M., Cañizares, V.R.O., Padilla, V.A.A., Rinderknecht, S.N., Caffarel, M.S., de la Cruz, B.E. (2024). *Regulaciones para la descarga de aguas residuales de México: comparación con otros países y su cumplimiento en plantas de tratamiento seleccionadas.* Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 40 p. 289–311. <https://doi.org/10.20937/RICA.54362>.
- Ensunchó, J. (2019). *Sistemas sanitarios, anaeróbicos y de ventilación.* [Material de clase]. Tecnología IV. Universidad del Sinú.
https://www.academia.edu/40377490/SISTEMA_DE_TRATAMIENTO_ANAER%C3%93BICO_DE_AGUAS_RESIDUALES?nav_from=402d7074-9e39-443e-a73a-fa890fb10cba.
- Espinosa, R.M.A., Fall, C. (2013). *Optimización de la producción de lodos en un sistema de lodos activados a través de la calibración del modelo ASM1.* Ingeniería investigación y tecnología. 16 (1). p. 93-104. ISSN 1405-7743 FI-UNAM.
- Espinosa, R.M.Á., Delgado, D.R., Hidalgo, M.A. (2020). *Evaluación de un proceso anóxico-aerobio-reactor biológico de membrana con alto contenido de nitrógeno.* Revista internacional de contaminación ambiental. 36 (2). p. 303-320.
<https://doi.org/10.20937/rica.53111>.

- Esneca. (2023). *¿Qué es gestión ambiental y en qué consiste? Calidad y medio ambiente*.
<https://www.esneca.com/blog/que-es-gestion-ambiental/>.
- Estrada, B.E.A., Mijaylova, N.P., Moeller, C.G., Mantilla, M.G., Ramírez, S.N., Sánchez, Z.M. (2013). *Presencia y tratamiento de compuestos disruptores endocrinos en aguas residuales en la Ciudad de México empleando un biorreactor con membranas sumergidas*. Revista de Ingeniería, Investigación y Tecnología. 14 (2) p. 275-284.
[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72242-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72242-X).
- Fernández, C.V.V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. MundiPrensa. 1ed. p. 77-200. ISBN 8471146479, 9788471146472.
- Fernández, C.V.V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. MundiPrensa. 4ed. p. 52-323. ISBN 978-84-8476-384-0.
- Foro Económico Mundial. (2019). *Reporte de riesgos globales en 2019*. 14a edición.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf.
- Gómez, G.A., Miralles, M.J., Corbella, I., García, A., Navarro, S., Llebaria X. (2016). *La calidad sanitaria del agua de consumo*. Revista Gaceta sanitaria. 30 (1) p. 63-68.
<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.04.012>.
- Granada, O.J.I., Granada, B.C., Baz, L.J.A. (2018). Contaminantes emergentes: la nicotina en las aguas residuales domesticas como herramienta de análisis en salud pública. Archivos de bronco neumología. 54 (10) p. 495-496.
<https://doi.org/10.1016/j.arbres.2018.02.020>.
- Hernández, A., Hernández, P., Gordillo, A. (2006). *Manual para la evaluación de impactos ambientales*. Innovación Civil Española. España. 4 (3). 43-545.
- Hernández, C.S., Sánchez, N.E., Beteau, J.F., Jiménez, L.D. (2014). *Análisis de un proceso de tratamiento de efluentes para producción de metano*. Revista Iberoamericana de automática e informática industrial. 11 (2) p. 236-246. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.02.006>.
- Hidroar. 2025. Metodología para el Cálculo de las Matrices Ambientales. Hidroar S.A.
<https://ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>.
- Ibarra, M.M.F. (2013). *Análisis comparativo de alternativas de un proyecto de inversión para la construcción de una unidad académica profesional de la Universidad*

- Autónoma del Estado de México*. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México]. México. <https://1library.co/document/q298wvpz-analisis-comparativo-alternativas-inversion-construccion-academica-profesional-universidad.html>.
- IMCO. (2023). *Situación del agua en México*. <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>.
- IMTA. (2019). *El agua en la constitución*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imta/articulos/el-agua-en-la-constitucion>.
- INEGI. (2018). *Estadísticas a propósito del día mundial del agua* (22 de marzo). [Comunicado de prensa]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2018/agua2018_Nal.pdf.
- Instituto del Agua. (2024a). *Beneficios de planta tratadora de aguas residuales: clave para un futuro sostenible*. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/beneficios-de-planta-tratadora-de-aguas-residualesaguas-residuales/>.
- Instituto del Agua. (2024b). *Tratamiento físico de aguas residuales: un enfoque efectivo para la purificación del agua*. https://institutodelagua.es/aguas-residuales/tratamiento-fisico-de-aguas-residualesaguas-residuales/#google_vignette.
- Instituto del Agua. (2024c). *Calidad y Normatividad Aplicables a Aguas Residuales en México: ¿Qué Necesitas Saber?*. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/calidad-y-normatividad-aplicable-en-mexico-aguas-residualesaguas-residuales/>.
- Instituto del Agua. (2025d). *Costos de tratamiento de aguas residuales*. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/costos-de-tratamiento-de-aguas-residualesaguas-residuales/>.
- Isik, K.B., Ekrem, Ü.G., Can, T. (2025). *Características y cambio estacional de microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales de zonas industriales organizadas*. Revista de ingeniería química ambiental. 13 (2). ISSN 2213-3437. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115516>.
- ISO. (2015). *ISO 14001:2015 sistemas de gestión ambiental – requisitos de orientación para su uso*. Plataforma de búsqueda en línea. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>.

- Jonker, G., Harmsen, J. (2013). *Ingeniería Para la Sostenibilidad*. Guía práctica para el diseño sostenible. Editorial REVERTÉ. p.11. ISBN 9788429179781.
- Kilic, Z. (2020). *La importancia del agua y la concientización del uso del agua*. Revista internacional de Hidrología. 4 (5). p. 239-241. DOI:10.15406/ijh.2020.04.00250.
- Lifeder. (2023). *Matriz de Leopold*. Editorial grupo Lifeder. <https://www.lifeder.com/matriz-de-leopold/>.
- Manzollillo, B. (2021). *Uso de Tecnologías Limpias para el tratamiento de aguas residuales urbanas*. Tékhne. 23(2). p. 34-41. https://www.researchgate.net/publication/348191379_Uso_de_Tecnologias_Limpia_s_para_el_tratamiento_de_aguas_residuales_urbanas_Clean_tech_from_urban_resi_dual_waters_treatment.
- Masters, G.M., Wendell, P.E. (2008). *Introducción a la Ingeniería medioambiente*. Educación Pearson. 3ra Edición. p. 510-515. ISBN8483224445, 9788483224441.
- Meixueiro, J.J.G., Pérez, M.A.C., Mascle, A.A.L. (2010). *Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)*. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/978642/01_Metodolog_a_PTAR.pdf.
- Meneses, B.Y.M., Patiño, M.P.A., Betancour, P.J.F. (2018). *Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de Spirulina sp, sedimentación primaria y precipitación química*. Revista de investigación agraria y ambiental. 10 (1). <https://doi.org/10.22490/21456453.2326>.
- Mihelcic, J.R., Zimmerman, J.B. (2012). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Editorial Alpha. p.322-355. ISBN:6076222085, 9786076222089.
- Millan, S.R.A. (2022). *Estimación de los costos de las plantas de tratamiento de la empresa de acueducto y alcantarillado de bogotá -esp*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/6ac01956-ce91-49ca-9948-6b7df30b632f/content>.

- Moran, V.D.J.R.M. (2014). *Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, alta Verapaz*. [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]. Guatemala.
https://www.academia.edu/32993305/DISE%C3%91O_DE_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_PARA_EL?nav_from=c56fa1bf-bf27-4bc8-be36-3c064287c982.
- Noyola, A. (2020). *Manejo de aguas residuales: antes, durante y después del COVID 19*. [Webinar]. Instituto de Ingeniería UNAM.
https://www.agua.unam.mx/covid19/assets/pdf/AguasResiduales_AdalbertoNoyola.pdf.
- OMS. (2025). *Agua para consumo humano*. HWO. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- ONU (2021). *Agua: Desafíos globales*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/global-issues/water>.
- Ordoñez, J. (2018). *¿Cuánta agua consume un mexicano al día?*. Milenio.
<https://www.milenio.com/politica/comunidad/cuanta-agua-gasta-un-mexicano-al-dia>.
- Ortega, R.A.T., Sanchez, R.N. (2021). *Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 31 (2) p.121-134. DOI: <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>.
- Ortiz, R.G.A. (2020). *Evolución y perspectivas del marco jurídico del agua en México: nuevos retos y oportunidades para la gestión integrada del recurso hídrico*. Biblioteca jurídica UNAM.
<https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2598/6.pdf>.
- Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyacı, M., Yigit, N.O., Yetis, U., Kitis, M. (2016). *Minimización del uso de químicos en el agua de una fábrica textil de algodón y poliéster*. Revista de producción limpia. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.01.080.
- Parada, B.H.J. (2017). *Estudio de factibilidad financiera para la creación de un centro de acopio y enfriamiento de leche en San José de Chipche, ubicado en el cantón Alausí, parroquia Sibambe de la provincia de Chimborazo, para el año 2017*. [Proyecto de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Librería de Ecuador.

- <https://1library.co/document/q5m9n63y-estudio-factibilidad-financiera-creacion-enfriamiento-parroquia-provincia-chimborazo.html>.
- Pariapaza, R.R. (2015). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales*. Academia. https://www.academia.edu/14491146/DISE%C3%91O_DE_UNA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_2015?nav_from=bfd651e2-9330-4ca3-b4e0-f642eb581d75.
- Peña, A. A., Castillo, A.A., (2015). *Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por micro extracción en fase solida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM)*. Revista especializada en ciencias químico-biológicas. 18 (1) p. 29-42. ISSN 1405-888X. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2015000100003.
- Ponce, M.V. (2008). *La matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental*. Universidad Estatal de San Diego. https://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html.
- Power Depot. (2023). *Automatización y sistemas de bombeo*. Power Depot SA. De CV. <https://powerdepot.com.mx/perforacion-de-pozos-profundos/>.
- Ramalho, R.S. (1997). *Tratamiento de aguas residuales edición revisada*. Segunda edición. Editorial Reverte. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Canadá. ISBN: 978-84-291-7975-5.
- Rodas, R.R.E. (2003). *Determinación del costo directo de construcción de una planta de tratamiento con la ayuda de la programación pert-tiempo*. [Proyecto de tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala. <https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis/T6041.pdf>.
- Romero, R.A.J. (2013). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 3ra edición. Colombia. ISBN 958-8060-13-3.
- Russell, L.D. (2006). *Tratamiento de aguas residuales un enfoque practico*. Editorial Reverte. E.U.A. Operaciones Globales Ambientales. https://www.academia.edu/3695214/TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_ENFOQUE_PRACTICO.

- Salas, Q.D., Alberto, Z.M., Guerrero, J. (2007). *Costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región*. Revista Scientia et Technica. 13 (37). p. 591-596. ISSN 0122-1701.
- SEMARNAT. (2021). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Agua. 15 (6) p. 363-375.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6_Agua.pdf.
- Spellman, F.R. (2013). *Manual de operaciones de agua y agua residual de una planta tratadora de aguas residuales*. Publicaciones CRC. ISBN: 9781466553378.
- Tamburrino, T.A. (2015). *Transporte hidráulico de sólidos en tuberías*. [Material de clase, U-Cursos Magister en recursos y medio ambiente hídrico, Universidad de Chile].
https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/2/CI71J/1/material_docente/bajar?id_material=1238257.
- Taron, D.A.A., Guzmán, C.L.E., Barros, P.I., (2017). *Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales*. Dialnet. 21 (1). p. 73-78. ISSN-e 0121-3709.
- Tema Astra (2025). *Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Tratamiento de aguas residuales net. <https://tratamientodeaguasresiduales.net/plantas/>.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., Zurbrügg, C. (2018). *Reactor anaerobio de flujo ascendente*. SSWM. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/reactor-anaerobio-de-flujo-ascendente>.
- Tito, B. (2020). *Tipos de plantas tratadoras de aguas residuales (para tratamiento)*. Ingeniería Ambiental. https://ingenieriaambiental.net/plantas-tratadoras-de-aguas-residuales/#google_vignette.
- TYR AUTOMATION. (2025). *Proyectos: Tyr automation Racevedo control*. <https://tyrautomation.com/#work>.
- UAEM. (2023). *Procedimiento de evaluación y planificación. Sistema de Gestión Ambiental*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. P-SGA-01. p. 1-14.
- UDAX. (2022). *Regulaciones sobre el Uso y Protección del Agua en México: Marco Legal y Desafíos Actuales*. Revista Experiencia. <https://udax.edu.mx/experiencia/leyes-y-derecho/regulaciones-sobre-el-uso-y-proteccion-del-agua-en-mexico>.

- UNESCO. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado*. WWAP. ISBN 978-92-3-300058-2.
- UNESCO. (2021). *Valorar el agua para la economía. Informe Mundial sobre el Desarrollo del Recursos Hídricos*. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es/valorar-el-agua-para-la-economia>.
- UNESCO. (2023). *Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU-Agua)*. <https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>.
- UNESCO. (2024). *Las crisis del agua amenazan la paz mundial (informe)*. <https://www.unesco.org/es/articulos/las-crisis-del-agua-amenazan-la-paz-mundial-informe-0>.
- Valencia, S., Gutiérrez, C.J., Díaz, J.D., Hilarión, G.L., Castañeda, O.C. (2019). *PGI6 carga de enfermedad diarreica aguda asociada a mala calidad del agua, falta de saneamiento e higiene de manos en Colombia, 2016*. Revista Valor en los temas regionales de salud. 19 (suplemento), p.35. ISSN 2212-1099. <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2019.08.193>.
- Vargas R.D.F. (2018). *Propuesta de un sistema de tratamiento primario de aguas residuales mediante un reactor anaeróbico de flujo ascendente Yungay 2017*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26322>.
- Vilanova, R., Santin, I., Pedret, C. (2017a). *Control y operación de estaciones depuradoras de aguas residuales: modelado y simulación*. Revista Iberoamericana de automática e informática industrial. 14 (3) p. 217 – 233. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.05.004>.
- Vilanova, R., Santin, I., Pedret, C. (2017b). *Control en estaciones depuradoras de aguas residuales: estado actual y perspectivas*. Revista Iberoamericana de automática e informática industrial. 14 (4) p. 329 – 345. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.09.001>.
- Villeta, T.J.A. (2016). *El impacto económico de la reutilización de las aguas residuales*. Perspectivas en asuntos ambientales. 5 (51), 51 – 68. https://documento.uagm.edu/cupey/perspectivas/p_perspectivas_5_impacto.pdf.

- Xylem. (2025). *Sistemas de bombeo de aguas residuales*. Xylem Watermark
[https://www.xylem.com/es-mx/solutions/municipal-water--
wastewater/wastewater/wastewater-pumping/](https://www.xylem.com/es-mx/solutions/municipal-water-wastewater/wastewater/wastewater-pumping/).
- Zamudio, S.V. (2020). *Marco legal del agua en México, con énfasis en la gestión comunitaria*. Creative Commons. [https://agua.org.mx/wp-
content/uploads/2020/10/Marco-legal-del-agua-en-Me%CC%81xico_web_1.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2020/10/Marco-legal-del-agua-en-Me%CC%81xico_web_1.pdf).

CAPÍTULO X. ANEXOS

Anexo 1. Entrevista al Director de Desarrollo de Infraestructura de Obras de la UAEM.



El presente instrumento forma parte de un proyecto de investigación de la Especialidad en Gestión Integral de Residuos (EGIR) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Tiene como objetivo evaluar el conocimiento técnico de los principales responsables de la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas.

Entrevista semiestructurada para personal de la UAEM

Folio: 01

Presentación:

Gracias por aceptar la entrevista. El objetivo de la entrevista es conocer que aspectos son concernientes para las personas encargadas de la operación, mantenimiento y sustentabilidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas (PTAR de la FCB y la ETL).

Nombre del entrevistado: Antonio Javier Jacobo Rosas

Nivel académico: Arquitecto

Cargo: Director de desarrollo de infraestructura de Obras de la UAEM

1. ¿Qué equipos de tratamiento están utilizando en la PTAR?
-Un sistema biológico de lodos activados como tecnología y como equipos son empleados filtros que limpian el agua residual entrante, además la planta cuenta con un equipo para la depuración de los residuos de mayor tamaño como un proceso inicial, parte de ser un equipo prefabricado, por la empresa ACLARA.
2. ¿Usted cuenta con capacitaciones para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?
-No, solo fungo como coordinador y planeador en el seguimiento de la obra.
3. ¿Quién es la persona encargada de la operación y/o mantenimiento de la PTAR?
-Desconozco quien esté en el cargo, esa parte no la decide obras, la facultad debió asignar a un encargado.
4. Si no los capacitan ¿considera que es necesario capacitar al personal para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

-Si es íntegramente necesario, la capacitación debe ser polivalente y la obligación de las empresas es otorgar la información necesaria acerca del mantenimiento, además la UAEM debe capacitar cada unidad, para que en adelante se encarguen de su PTAR, partiendo desde la instrucción, capacitación, educación, el personal y el mantenimiento.

5. ¿Qué empresa realiza el mantenimiento de la PTAR?

No la hay, porque no ha ocurrido un mantenimiento todavía.

6. ¿Tienen un contrato con la empresa para realizar el mantenimiento de la PTAR?

-Aquí ocurre un proceso llamado “Heredas”, en este caso una vez que fue entregada la planta es responsabilidad de las unidades servidas continuar con los servicios, llámese mantenimiento, cuidado de los equipos, monitoreo, así como también los riesgos y beneficios de cada acción que se lleve en la planta.

7. ¿Con que frecuencia se realiza el mantenimiento de la PTAR?

-Se está considerando un mantenimiento desde el año 2019, ya que cualquier situación acerca de los costos no lo maneja tal cual mantenimiento, aquí solamente son atendidas las demandas ya solicitadas de cada una de las condiciones para el funcionamiento de la planta.

8. ¿En qué horario se realiza el mantenimiento?

-No aplica debido a la situación en que se encuentra la PTAR.

9. ¿Cuál fue el costo inicial de la PTAR con respecto a su edificación y sus equipos?

-Desconozco el costo por las cotizaciones de obra y el paquete de origen.

10. ¿Qué cantidad del presupuesto se destina para que se realicen las operaciones y el mantenimiento de la PTAR dentro de un año natural?

-No se ha proyectado un presupuesto, la unidad de biomédicas debe conocer cuanto del presupuesto se debe asignar a su mantenimiento.

11. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza a la PTAR?

-De ningún tipo, la planta hasta el momento no se ha confirmado ningún intento por realizar algún tipo de mantenimiento.

12. ¿Cuánto sería el tiempo de vida útil que le queda a la PTAR antes de que sus aparatos caigan en la obsolescencia?

- Están en condiciones de operar, prácticamente están sin usar, todo depende del uso y la carga que le den.
13. ¿A qué aparato corresponde el principal costo de mantenimiento o reparación?
- Las bombas conllevan el mayor gasto de todos los recursos.
14. ¿Cuáles son los residuos generados hacia la PTAR?
- Está diseñada o más bien fue diseñada para tomar en cuenta la carga de los servicios sanitarios de todo el alumnado, además claro de los servicios circundantes, por tanto, no creo que los residuos sean un motivo por el cual la planta deba detenerse.
15. ¿Qué residuos se generan de la operación de la PTAR y que se hacen con los residuos?
- Desconozco la parte final del proceso, hasta donde conozco la UAEM no posee ninguna medida.
16. ¿Qué problemas han surgido en la operación de la PTAR?
- Problemas de monitoreo, y problemas de bombeo, pero son hasta el momento los que se conocen.
17. ¿Qué medidas ambientales se toman en cuenta en el mantenimiento de la PTAR?
- Hasta el momento solo los posibles puntos de carga de la PTAR y descarga al alcantarillado, y la red de drenaje interna de la UAEM.
18. ¿Cómo se asegura la sostenibilidad de la PTAR?
- Mediante un estudio cada 6 meses que evalúe los puntos de descarga más importantes, en específico verificar los datos de mayor pertinencia en la descarga del agua.
19. ¿Cómo se compara esta PTAR con otras dentro de la UAEM?
- El diseño del paquete fue distinto en cuestión del origen, debido a que esta planta está en condiciones de operación, así como también el resto de los servicios con los que muchas otras no cuentan.
20. ¿Qué beneficios aporta la PTAR a la comunidad UAEM?
- La UAEM en distintas ocasiones no posee una medida, probablemente la inversión en estas plantas pueda cambiar la educación de lo referente a cuidado del medio ambiente.
21. ¿Qué mejoras se deben implementar para el futuro de esta PTAR?

-Hay una propuesta de formar con la tecnología que se podría destinar para 2 plantas, una planta de mayor tamaño, en específico el escaso compromiso por parte de las unidades involucradas. Puede ocasionar a los espectadores.

22. ¿Hay algún aspecto que le gustaría destacar?

-Verificar los fundamentos, la capacitación al personal y además la educación imperante en un centro de estudios.

Agradecemos su disposición y apoyo para contestar esta entrevista. Cabe mencionarle que la información recabada será utilizada únicamente con fines educativos.

Anexo 2. Entrevista al Secretario en Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UAEM.



El presente instrumento forma parte de un proyecto de investigación de la Especialidad en Gestión Integral de Residuos (EGIR) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Tiene como objetivo evaluar el conocimiento técnico de los principales responsables de la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas.

Entrevista semiestructurada para personal de la UAEM

Folio: 03

Presentación:

Gracias por aceptar la entrevista. El objetivo de la entrevista es conocer que aspectos son concernientes para las personas encargadas de la operación, mantenimiento y sustentabilidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas (PTAR de la FCB y la ETL).

Nombre del entrevistado: Julio Cesar Lara Manrique

Nivel académico: Doctor en Innovación y Gestión Educativa

Cargo: Secretario de Investigación en la Facultad de Ciencias Biológicas

1. ¿Qué equipos de tratamiento están utilizando en la PTAR?

-La planta no ha sido entregada oficialmente, por tanto, hay un desconocimiento en torno al equipamiento con el que cuenta, y sobre todo con el estado actual con el que guarda este equipo, de las pocas cosas que se sabe es que cuenta con una tecnología denominada discos, cuenta con una bomba, filtros, pero en general no han sido entregadas las especificaciones y propiamente la estructura que contiene el agua.

2. ¿Usted cuenta con capacitaciones para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

-No, simplemente he fungido como una persona que le ha dado seguimiento a los procesos para su mantenimiento y funcionamiento, sin que haya sido capacitado propiamente, sin embargo, podría fungir como el responsable de la unidad biomédica, sin embargo, no ha habido una comunicación estrecha para que pueda establecer justamente eso, una capacitación en materia.

3. ¿Quién es la persona encargada de la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

-No lo sé, además sería importante destacar que no ha habido una instrucción por parte de la administración de la Facultad de Biología, ni por parte de la Escuela de Técnicos Laboratoristas para designar a una persona responsable que le de seguimiento, es un error que evidentemente se debió subsanar. Obviamente debería ser una persona que cumpliera con el perfil, es decir que conociera del tratamiento de aguas residuales, y que, además, ya fuera una asignación oficial, que contara con actividades específicas para el monitoreo de la planta.

4. Si no los capacitan ¿considera que es necesario capacitar al personal para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

-Totalmente, es necesario contar con una persona que lleve a cabo todos los procesos asociados al mantenimiento de la planta y que a mi forma de ver específicamente debería ser una persona dedicada al cien por ciento y que cumpliera con el perfil, además, que provenga del área de mantenimiento.

5. ¿Qué empresa realiza el mantenimiento de la PTAR?

-Es por parte de la Universidad, mediante un formulario, no solo para las plantas de tratamiento, también para todo lo general de mantenimiento de las instalaciones, sin embargo, para el tema del agua, no existe sin bien entiendo un personal designado para el mantenimiento, ni alguien que cumpla con el perfil, por tanto, es urgente que exista una persona dedicada al cien por ciento.

6. ¿Tienen un contrato con la empresa para realizar el mantenimiento de la PTAR?

-Directamente ellos (Obras y mantenimiento) deberían haber comunicado a Técnicos Laboratoristas y la Facultad de Biología, para que en su caso se pudiera nombra, acreditar o perfilar a una persona a cargo para que le dieran seguimiento o monitoreo.

7. ¿Con que frecuencia se realiza el mantenimiento de la PTAR?

-Me parece que primero debiera existir la opción de dejar funcionando la planta, de manera que una vez se hayan detectado todas las fallas se deberían detectar diferentes parámetros, para determinar que el funcionamiento sea el correcto, y contar con una persona que estuviera al pendiente del funcionamiento y mantenimiento, al ser permanente, por lo menos serio monitoreo una vez por semana.

8. ¿En qué horario se realiza el mantenimiento?
- No se ha llevado a cabo hasta donde tengo entendido.
9. ¿Cuál fue el costo inicial de la PTAR con respecto a su edificación y sus equipos?
- Es un tema que desconozco, en primera porque no fue de mi conocimiento el tiempo en que se ejecutó la obra como tal, y además al no haber una entrega como tal se desconocen estos temas, adicionalmente al no haberse entregado la obra no se cuenta exactamente el dato, y finalmente no hay un manual de procedimientos que permita determinarlo, bajo esas condiciones se estima que la planta tuvo un costo aproximado de un millón seiscientos mil pesos.
10. ¿Qué cantidad del presupuesto se destina para que se realicen las operaciones y el mantenimiento de la PTAR dentro de un año natural?
- Este dato no lo puedo proporcionar en primera instancia, porque desconocemos en estricto sentido como opera la planta, además que no está funcionando en condiciones óptimas y al no tener si quiera el manual de procedimientos, es muy difícil dar un dato aproximado en torno a ello, lo que si se, es que se tiene que dar un recurso, para asegura la correcta operación una vez que se ponga en marcha de forma eficiente.
11. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza a la PTAR?
- De lo que yo tengo conocimiento, es que al no haberse entregado la planta de forma oficial, ha funcionado sin ningún control operacional que permita determinar esta condición, lo que si es cierto es que la planta al no estar funcionando solamente ha recibido acciones para corregir los daño o problemas urgentes, por ejemplo, que se ha obstruido la canalización de las grasas o que definitivamente se han reventado la tubería y solamente ha recibido acciones en ese sentido cuando la planta ha colapsado, por ese tipo de situaciones, contundentemente nunca ha recibido mantenimiento porque, en realidad nunca ha sido puesta en marcha.
12. ¿Cuánto sería el tiempo de vida útil que le queda a la PTAR antes de que sus aparatos caigan en la obsolescencia?
- Desconocemos esto debido a que no ha ocurrido una entrega oficial de la planta.
13. ¿A qué aparato corresponde el principal costo de mantenimiento o reparación?

-En teoría son las bombas porque se trata de un equipo que está constantemente funcionando a distintas descargas de corriente eléctrica que pudieran vulnerar su funcionamiento, o inclusive que se vea forzado su mantenimiento, toda vez que las cargas que llegan de agua residual, que prácticamente las bombas estén funcionando permanentemente, sin que necesariamente se lleven a cabo el trabajo de manera adecuada.

14. ¿Cuáles son los residuos generados hacia la PTAR?

-Típicamente son aguas grises y negras que llegan justamente a la planta proveniente de la escuela de técnicos laboratoristas y de la facultad de ciencias biológicas, digamos que ahí no hay tanto problema porque esas aguas fueron contempladas en ese proyecto, la situación problemática radica en el vertimiento de grasas provenientes de los locales de comida, debido a que también están conectados a esta planta, y no han funcionado correctamente las trampas de grasas, lo cual ha provocado un colapso en la tubería y propiamente del poco funcionamiento que ha tenido la planta tratadora

15. ¿Qué residuos se generan de la operación de la PTAR y que se hacen con los residuos?

-Si desconocemos como opera difícilmente podríamos definir que podríamos encontrar, en ambos sentidos no debería ocurrir ningún problema, el problema radica en el vertimiento de grasas, porque desconocemos el método como opera, difícilmente podríamos detectar los residuos que no han sobrepasado al sistema.

16. ¿Qué problemas han surgido en la operación de la PTAR?

-Desde el diseño como tal, desconocemos el método como opera, difícilmente se pueden tener o detectar los problemas desde el inicio, pero el punto es que si la planta no ha funcionado podemos esperar que prácticamente todo este en negativo, así haya tenido un buen diseño, si no está funcionando, evidentemente no podemos valorar esa parte.

17. ¿Qué medidas ambientales se toman en cuenta en el mantenimiento de la PTAR?

-Dependiendo del proceso, pero en términos generales, asegurar que el agua tratada cumpla en materia normativa con las especificaciones, a efecto que por lo menos se pueda infiltrar a subsuelo o utilizar el agua residual tratada para riego de áreas

verdes, sin embargo tampoco se tiene certeza de ello, creo que no se cuenta con la infraestructura necesaria para contener el agua tratada y tampoco se ha dado el monitoreo por un laboratorio certificado que precisamente de fe o certifique que el agua cumple con los criterios de acuerdo a la normatividad.

18. ¿Cómo se asegura la sostenibilidad de la PTAR?

-Aquellas que cumplan con el seguimiento necesario, la entrega y el monitoreo constante.

19. ¿Cómo se compara esta PTAR con otras dentro de la UAEM?

-Es un problema recurrente, las plantas de tratamiento se han convertido en un problema que más haya de resolver el punto focal que es el tratamiento de aguas, se han convertido la mayoría en un problema debido a que no han tenido ni el mantenimiento, ni el aseguramiento de una operación continua, y por lo tanto no se tiene el dato en torno a alguna otra que esté funcionando de forma adecuada. Salvo en este caso entiendo que la del CEIB y Ciencias Agropecuarias tengo entendido que se encuentran de mejor manera.

20. ¿Qué beneficios aporta la PTAR a la comunidad UAEM?

-Digamos que actualmente por la forma en cómo se encuentra más haya que se obtenga un beneficio, está convirtiéndose en un problema ambiental debido a que no se está llevando a cabo el tratamiento del agua y por tanto se está convirtiendo en un foco de infección, puede ser también que pueda haber accidentes, en el sentido en que se pueda derramar el agua y que este contamine el suelo, como al propiamente algún cuerpo de agua y el entorno.

21. ¿Qué mejoras se deben implementar para el futuro de esta PTAR?

-Es una pregunta difícil, pero en primera instancia se debe conocer el manual de operación de la planta para que partiendo de ahí se pueda llevar a cabo un diagnóstico, lo más objetivo y profesional posible para saber el estado que guardan los equipos, hacer el vaciado completo de los contenedores y en base a eso, plantear con ello un diagnóstico que permita conocer si hay que cambiar equipos, si hay que modificar de cierta manera el proceso, si hay que hacer inversiones y en que se tienen que realizar las inversiones, pero necesitamos conocer el estatus real, una vez obtenido esto, se estaría en la posibilidad de proyectar digamos que algún

presupuesto para su mantenimiento y monitoreo para que se cumpla con el propósito del tratamiento.

22. ¿Hay algún aspecto que le gustaría destacar?

-Pues yo creo que el principal aspecto, es que esta infraestructura con independencia que no conocemos que sistema maneje, ya parte de una inversión fuerte que se realizó para llevar a cabo este proceso, yo creo por tanto que debería existir el compromiso por parte de la autoridad, en este caso de obras para que le den continuidad, se hagan los cambios necesarios y se lleve a cabo el monitoreo y empiece a encaminarse la planta para que así veamos los cambios a corto plazo y posteriormente tener un cambio significativo.

Agradecemos su disposición y apoyo para contestar esta entrevista. Cabe mencionarle que la información recabada será utilizada únicamente con fines educativos.

Anexo 3. Entrevista Jefa de Departamento en la Sección de Saneamiento y Calidad del agua de la UAEM.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS



EGIR
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN
INTEGRAL DE RESIDUOS

El presente instrumento forma parte de un proyecto de investigación de la Especialidad en Gestión Integral de Residuos (EGIR) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Tiene como objetivo evaluar el conocimiento técnico de los principales responsables de la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas.

Entrevista semiestructurada para personal de la UAEM

Folio: 04

Presentación:

Gracias por aceptar la entrevista. El objetivo de la entrevista es conocer que aspectos son concernientes para las personas encargadas de la operación, mantenimiento y sustentabilidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas (PTAR de la FCB y la ETL).

Nombre del entrevistado: Jael Rosas Sánchez

Nivel académico: Doctorado en Ingeniería Ambiental y Tecnología Sustentable

Cargo: Jefa del departamento de saneamiento y calidad del agua.

1. ¿Qué equipos de tratamiento están utilizando en la PTAR?

-La planta solo cuenta con el tratamiento biológico por lo que tu viste hay arriba fue este contenedor, si es que tomaste fotos, ahora según el proveedor, tiene una capacidad de 2 litros por segundo, los equipos de tratamiento, vamos por partes un tren de tratamiento contiene distintos equipos, en general hay un soplador, una bomba de filtración, un electro nivel para membrana, la mayoría están en la caseta, pero realmente en la vida real tenemos unos cambios muy importantes en cuestión de equipos te puedo decir que cuenta con un set de fibras de carácter patentable, en general toda la planta es de carácter a la patente por parte de la empresa (ACLARA), por ello no podemos darle mantenimiento abiertamente, y por ello tenemos problemas con ciertos equipos, en específico el secado de los lodos, en específico los equipos de secado de lodos, como válvulas, tubos, bomba de lixiviados, bolsas para lodos, además de las bombas de polimos son muy importantes al funcionamiento de la planta. Cabe destacar que no puedes interactuar del todo con el reactor

2. ¿Usted cuenta con capacitaciones para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

-Si tengo formación de tratamiento de agua, poseo constancia, en cuestiones de operación, además de un doctorado en cuestiones de la ingeniería pertinentes al funcionamiento de estas tecnologías.

3. ¿Quién es la persona encargada de la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

-Se supone que solicito a la dirección de la FCB que asignara a una persona encargada, a que recibiera la capacitación y poseyera las capacitaciones competentes en lo que se requiera para la operación de la planta.

4. Si no los capacitan ¿considera que es necesario capacitar al personal para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?

-Si, tú no puedes poner a alguien a operar una planta sin antes recibir los estudios necesarios, si o si debe cumplir con el perfil, ya sea por parte de la propia universidad o solicitar un externo, que debería incurrir en esas funciones.

5. ¿Qué empresa realiza el mantenimiento de la PTAR?

-Va a entrar en funciones la empresa es corporativo SPARTAN SA. DE CV., que yo sepa antes no existía ninguna empresa encargada. Al menos antes del 2019 la empresa del proveedor ACLARA les dios mantenimiento inicial.

6. ¿Tienen un contrato con la empresa para realizar el mantenimiento de la PTAR?

-Si, hay un periodo en este semestre para poder iniciar, todo por parte de licitación.

7. ¿Con que frecuencia se realiza el mantenimiento de la PTAR?

Tienen el periodo de estos seis meses sobre todo para atender problemas correctivos, cambios o lo que se llegara a implementar esto, de acuerdo con los equipos que se hayan instalado, y pedir una ficha técnica cuando se haya entregado los mantenimientos requeridos.

8. ¿En qué horario se realiza el mantenimiento?

-No hay información al respecto de esto.

9. ¿Cuál fue el costo inicial de la PTAR con respecto a su edificación y sus equipos?

-No, realmente no lo conozco, no entraba en funciones cuando fue edificada, ni cuando fue implementada.

10. ¿Qué cantidad del presupuesto se destina para que se realicen las operaciones y el mantenimiento de la PTAR dentro de un año natural?

-No hay, y esto es a grandes rasgos porque se buscó un recurso por parte de fondos en proyectos a nivel nacional.

11. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza a la PTAR?

-No había recibido mantenimiento abierto, hasta que se obtengan los datos por parte de la empresa externa.

12. ¿Cuánto sería el tiempo de vida útil que le queda a la PTAR antes de que sus aparatos caigan en la obsolescencia?

-Se desconoce, es parte del anterior punto, aunque es imperante saber que el soplador, las bombas y las tuberías probablemente tengan que ser los primeros en ser cambiados, debido a las cargas que manejan del agua residual, cabe destacar que esto solo es especulativo.

13. ¿A qué aparato corresponde el principal costo de mantenimiento o reparación?

- El soplador es el más caro, aunque nunca se había realizado mantenimiento, inclusive las fibras ultrafinas se desconocen totalmente si se pudiera cambiar por defecto de su uso, ya que se podría incurrir en cuestiones de violación de patentes, probablemente esto se tendrá en consideración en los siguientes meses.

14. ¿Cuáles son los residuos generados hacia la PTAR?

-Generalmente son baños, algún otro de los químicos en los utilizados en limpieza o muy raro podría ser algún agente químico que sea utilizado en laboratorios, además de las grasas que son influenciadas por las cafeterías, aun cuando las cafeterías deberían contar con sus propias trampas de grasas.

15. ¿Qué residuos se generan de la operación de la PTAR y que se hacen con los residuos?

-Desazolves de lodos, en general, con una empresa que debe contar con sus permisos, son de carácter no valorizable

16. ¿Qué problemas han surgido en la operación de la PTAR?

-Hasta el momento desconozco siquiera si han surgido reportes por algún problema.

17. ¿Qué medidas ambientales se toman en cuenta en el mantenimiento de la PTAR?

-Oficialmente ninguna

18. ¿Cómo se asegura la sostenibilidad de la PTAR?

-Se pretende que una vez que ya se entregue estabilizada, que la unidad académica se encargue de entregar un análisis y de verificar algún encargado a futuro.

19. ¿Cómo se compara esta PTAR con otras dentro de la UAEM?

-Esta planta es de patente, prácticamente la esencia es la misma, tratar el agua, solamente dos, agropecuarias el mismo tipo de tecnología, y el CEIB cuenta con otro tipo de tecnología muy similar en cuestiones de tecnología tratada.

20. ¿Qué beneficios aporta la PTAR a la comunidad UAEM?

-Siempre es esencial que estas plantas cumplan con los regímenes necesarios, inclusive ya hay muchos sitios públicos obligados a poseer en algún grado una planta o equipo de tratamiento de las aguas residuales en funcionamiento.

21. ¿Qué mejoras se deben implementar para el futuro de esta PTAR?

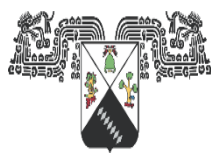
-Para empezar la instalación de la trampa de grasas, el pretratamiento de las cribas, una cisterna o una dirección del agua para aprovecharla, un mejor aporte para subir a la zona de mantenimiento.

22. ¿Hay algún aspecto que le gustaría destacar?

-En particular será necesaria una mejor gestión del aporte factible económico en cuanto al manejo que deberá poseer la planta. La factibilidad económica deberá incurrir en la correcta normatividad.

Agradecemos su disposición y apoyo para contestar esta entrevista. Cabe mencionarle que la información recabada será utilizada únicamente con fines educativos.

Anexo 4. Entrevista al Tecnólogo del agua y Operador de la PTAR piloto del IMTA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS



EGIR
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN
INTEGRAL DE RESIDUOS

El presente instrumento forma parte de un proyecto de investigación de la Especialidad en Gestión Integral de Residuos (EGIR) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Tiene como objetivo evaluar el conocimiento técnico de los principales responsables de la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas.

Entrevista semiestructurada para personal de la UAEM

Folio: 02

Presentación:

Gracias por aceptar la entrevista. El objetivo de la entrevista es conocer que aspectos son concernientes para las personas encargadas de la operación, mantenimiento y sustentabilidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Escuela de Técnicos Laboratoristas (PTAR de la FCB y la ETL).

Nombre del entrevistado: Luciano Sandoval Yoval

Nivel académico: Maestría en Ingeniería Ambiental

Cargo: Tecnólogo del agua – responsable de operaciones en la planta tratadora de aguas residuales del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

1. ¿Qué equipos de tratamiento están utilizando en la PTAR?
 - Bombas de aireación extendida para un sistema de lodos activados
2. ¿Usted cuenta con capacitaciones para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?
 - Capacitación para operación, mas no para el mantenimiento
3. ¿Quién es la persona encargada de la operación y/o mantenimiento de la PTAR?
 - Es un área aparte llamada servicios generales, que se encarga del mantenimiento y sus condiciones.
4. Si no los capacitan ¿considera que es necesario capacitar al personal para la operación y/o mantenimiento de la PTAR?
 - Si es esencial la capacitación, existen muchas personas con falta de entrenamiento, conocimientos y experiencia que desconoce el fundamento que hay detrás del funcionamiento de una planta tratadora, realizando las operaciones solo desde el conocimiento empírico y repetitivo, además de hecho

ejerzo como capacitante en el IMTA para los operadores de planta en otras instituciones.

5. ¿Qué empresa realiza el mantenimiento de la PTAR?

-Es realizado únicamente por el departamento de servicios del IMTA, nadie más.

6. ¿Tienen un contrato con la empresa para realizar el mantenimiento de la PTAR?

-El área de servicios generales del IMTA, es un organismo interno, así que no se abordan contratos.

7. ¿Con que frecuencia se realiza el mantenimiento de la PTAR?

-Solo hasta que surge un problema, generalmente no hay un tratamiento preventivo, más bien es solamente correctivo.

8. ¿En qué horario se realiza el mantenimiento?

-La planta opera desde las 8:00 hrs hasta las 16:00 hrs., de lunes a viernes, solamente en esos horarios es posible realizar algún arreglo a la planta.

9. ¿Cuál fue el costo inicial de la PTAR con respecto a su edificación y sus equipos?

-Me es desconocida esa información, hasta donde conozco la planta fue construida en 1997 y yo entre al cargo a partir desde el 2002.

10. ¿Qué cantidad del presupuesto se destina para que se realicen las operaciones y el mantenimiento de la PTAR dentro de un año natural?

-Nada del presupuesto es destinado y como parte del todo el IMTA absorbe todos los gastos asociados a tener en funcionamiento la planta tratadora.

11. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza a la PTAR?

-Solamente se realiza cambios por el termino de vida útil, generalmente soy reparaciones correctivas cuando el llámese tubo o bomba, filtro cae en desuso.

12. ¿Cuánto sería el tiempo de vida útil que le queda a la PTAR antes de que sus aparatos caigan en la obsolescencia?

-Aquí cabe hacer una distinción porque la tecnología como tal no caerá en la obsolescencia, por ejemplo, los lodos activados llevan décadas funcionando y seguirán mucho más tiempo, pero si hablamos solamente de equipos eléctricos o mecánicos, son en termino general hasta que se termina su tiempo útil, probablemente 3 años, o incluso menos, todo dependerá de la carga que le demos en su uso dentro de la planta.

13. ¿A qué aparato corresponde el principal costo de mantenimiento o reparación?
- Generalmente son los sopladores, como el equipo que es mayormente renovado.
14. ¿Cuáles son los residuos generados hacia la PTAR?
- Son residuos de carácter de uso de sanitarios, cocina y limpieza de instalaciones, además del agua recabada por el afluente que pasa a través del IMTA, porque de haber residuos químicos caerá en una infracción directa a los reglamentos del IMTA.
15. ¿Qué residuos se generan de la operación de la PTAR y que se hacen con los residuos?
- Estrictamente hablando de forma técnica, no habría residuos, porque el agua se puede reutilizar, los lodos de igual manera, así que todo se queda de manera sustentable.
16. ¿Qué problemas han surgido en la operación de la PTAR?
- Realmente no, desde huelgas, temblores, o la pandemia, no se detuvo su operación, en ocasiones se vuelve más lenta debido a que se generaron menores cantidades de agua residual.
17. ¿Qué medidas ambientales se toman en cuenta en la operación o mantenimiento de la PTAR?
- Al ser una planta muy pequeña, son de carácter interno, con un seguimiento a las normas esenciales en cuanto a la calidad del agua reintroducida, porque, aunque sea una planta pequeña se pueden morir los microorganismos al no tener agua.
18. ¿Cómo se asegura la sostenibilidad de la PTAR?
- Se alimenta del instituto, depende enteramente del IMTA, como un todo, desde el mantenimiento, honorarios, además de la investigación en áreas circundantes a la planta, ya que en esta es solamente una planta piloto que sirve para las áreas de macroinvertebrados, calidad del agua y otros departamentos, en correspondencia la planta cumple con ayudar al instituto en las áreas verdes, además de la certificación de sustentabilidad como institución responsable con el ambiente.
19. ¿Cómo se compara esta PTAR con otras dentro de las que ha ejercido como capacitante?
- Esta planta opera en mi opinión muy bien, cada planta debe ser pensada desde su creación y el área que va a servir.
20. ¿Qué beneficios aporta la PTAR a la comunidad del IMTA?

-Sirve como planta para investigación, en específico para la aplicación en la agricultura.

21. ¿Qué mejoras se deben implementar para el futuro de esta PTAR?

-De momento nada, probablemente ampliar los campos de estudio.

22. ¿Hay algún aspecto que le gustaría destacar?

-En términos generales la planta cumple excelentemente con la normatividad, además de ser sustentable en su utilización en los campos de investigación y desarrollo de áreas verdes.

Agradecemos su disposición y apoyo para contestar esta entrevista. Cabe mencionarle que la información recabada será utilizada únicamente con fines educativos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 12 de Mayo de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **CEJUDO ROBLEDO DANIEL**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10084085**, BAJO EL TÍTULO: **EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LOS ASPECTOS AMBIENTALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DR. ALEXIS JOAVANY RODRÍGUEZ SOLÍS
PRESIDENTE
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

ALEXIS JOAVANY RODRIGUEZ SOLIS | Fecha:2026-05-13 09:32:15 | FIRMANTE

hwSDWoiNs05VOBxNHwMiuSLBgasJD1FEQd/fdrvGb24TAie0N34la4dMzslUGSeQrbcp+2x2Bwgc0l0loaRZ8HED9mVoxlNlcA5BszGrPZ2xTGN6+PrSU7J2cRLZkme8lwMpEyg7u2Kg17doFX75uY0sNUrfWU+u0Te1Z0F+1hz4mNmBYhl+mbD+u1hTiPNdmpbuQJE5WDeTPH6oySKM9fc0Cod9nMSAoHZn//CrvL4LEIEH97sA6poxPvNN0+8fuPIkorKeA6uMuDKXgC0aMIYuXao/UzE0SkzQt7EXgvZwylmF+3hSUiK8QhU0pir4A6EalWNEf2mx5lg0V/p+Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



HUGsngBJy

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/hnyOs2cyW9C9B6c9knRIAtNtuNr3Sryy>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 12 de Mayo de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **CEJUDO ROBLEDO DANIEL**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10084085**, BAJO EL TÍTULO: **EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LOS ASPECTOS AMBIENTALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DR. JUAN MANUEL RIVAS GONZÁLEZ
SECRETARIO
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

JUAN MANUEL RIVAS GONZALEZ | Fecha:2026-05-13 11:22:33 | FIRMANTE

aZ4NPYGME57VzMT7gCimpfJNsAsb92wbBfpfgu0f2rAFV9MJAReKBfrQrjqewl6Rd8ticM2WSsdY9763Lv66mQxhW3D1cR3/kFjKJu1m7irxmjoKaFSfYRYx/1elPNvdJSR5ojLeIVw+6ptWUWFLOxAWnO34RiKqymXssyDOe9874y5jZleQKfka6v9Rnqn+ZiQZGDyNQqpGNJ4xHRIOISrMxgm2KDZjc00D0YAQA4LOHTComKhERpw7jW4U5/uF086xPU1rhZJVgKT5H9zC71/5r6mRHU8eAERqyiWRH8gsGeazz8OkxR7LPqWLagTDzLBqVzlt0pfdWxpdjoU+jg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



VayqCBpZR

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/EFKY0Y4zDWy8hhylZXGNzeNN3hRLJdet>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 12 de Mayo de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **CEJUDO ROBLEDO DANIEL**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10084085**, BAJO EL TÍTULO: **EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LOS ASPECTOS AMBIENTALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR
PRIMER VOCAL
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

MARIANA ROMERO AGUILAR | Fecha:2026-05-13 09:06:16 | FIRMANTE

U7hjetdDHjIQ7FSz6HVbLibi/y9vvvYmehHh1oKUFDm514VplDHYpWCop9haMAFFkDagz8MDfal7RPULt5LBR30ePa9xvVBbg+10xZgciBxoQKHKbZUMULrqAZ5fUjTv4m0KIlycc85qWc0wEJ9DikXjMrvIF1ygCgOYPOqqzyn4YD9UeMc3VTMk8HmTcTRkHBJLMxv7Xy3uJiM88+5OG5K7+x546dMLwkgNzJnlYGSuIn2nfzcwfv0I5f54YW8SBHOM6R+xfUilbb+A2PQR2QqlcaXDb7E9G923R19ytxFjZqB4AtcX4YedF8u8ivxVRM7R+qQJtlNuFxpSrreFCA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



5mijfrNeK

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/JzHjZ7f2iybj4Qv0T83eQsPYEBXp9zp0>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 12 de Mayo de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **CEJUDO ROBLEDO DANIEL**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10084085**, BAJO EL TÍTULO: **EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LOS ASPECTOS AMBIENTALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DR. JULIO CESAR LARA MANRIQUE
TERCER VOCAL
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

JULIO CESAR LARA MANRIQUE | Fecha:2026-05-13 09:24:31 | FIRMANTE

aLrUxrpamtkhGnU5QntcajKegTleEVmzqM+pU5u5hoXbv2ecVqDueewC6T2bzXXHF7vm0u8gfjNov0fQEW/CK4DrXrr9BJCYk6SCEWeZfQk79Mi/tUOxBGmrrEdMwaykRLbDrnY
VOEApNM7z08dirHGd0r3XHh6Vvc1x52GpTXwZDbRbcGq52q2kTdnPyAPssDq6DQVB5br4IQoHPIv/U6hxfSxnXzcWfluD5YpUb1sU9Wkz2s9/Fu7KWxSGBAUbhprLZ6eEA/Yec
v3D8fRqpaiBg3xX+pWqHGYNcw60HcCTEIKDhx5fuYCe5twQHntkRYpzrcxTe7GHYgGn+KQfGw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[gTeLHsGaQ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/vD4jP0NtAe0OQHcTacexuXEjY7BseOQ8>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029