

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LAS PLANTAS TRATADORAS DE AGUA RESIDUAL
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ Y SU PROPUESTA DE
REHABILITACIÓN**

PRESENTA:

IBP. LAURA DANIELA HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. MA. CATALINA ALFARO DE LA TORRE

ASESORES:

DR. MARCOS ALGARA SILLER

DR. JUAN MANUEL MORGAN SAGASTUME

31 DE ENERO 2025

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

La Agenda Ambiental, el Laboratorio de Elementos Traza de la Facultad de Ciencias Químicas y el Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ingeniería de la UASLP

CON FINANCIAMIENTO DE:

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (CONAHCyT) de México

Becario No. 1212530 Periodo: agosto 2022 a julio 2024

AGRADEZCO A CONAHCyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

Becario No. 1212530

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS
DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**



Evaluación Integral de la Plantas Tratadoras de Agua Residual de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y su propuesta de rehabilitación © 2025 by Laura Daniela Hernández Rodríguez is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible este trabajo gracias a su asesoría, su participación, sus conocimientos, acompañamiento y apoyo moral.

Gracias a la Dra. Catalina Alfaro por su inmensa dedicación, detalle, disponibilidad y sabiduría y por ser un modelo de científica y educadora.

Agradezco la asesoría experta del Dr. Marcos Algara, Dr. Juan Manuel Morgan, Dr. Rodolfo Cisneros, Dr. Cristóbal Aldama, Dra. Concepción Vázquez, Dra. Silvia Romero y Mtro. Braulio García, el conocimiento en sus áreas fue fundamental.

Gracias al Dr. Marcos Algara y la Dra. Isabel Lázaro cuya gestión dio respaldo institucional a este trabajo de parte de la Agenda Ambiental de la UASLP.

A todos los actores clave que se entrevistaron, gracias por su tiempo y apertura.

Por su papel en la gestión, la logística, trabajo de laboratorio y de campo en este trabajo agradezco a Ara, Marijo, Maru, Maricela, Zory y Lore de la Agenda Ambiental; a Ymir, Noe, Gilberto y Nelson de los campus evaluados; a Anayeli, Erika Victorino y Jennifer López.

A nivel personal agradezco por su apoyo incondicional en este trabajo a Chuy, mi tía Mary, mi prima Martha, mis compañeros de clase y amigos. Y sobre todo agradezco a mi familia Max, Gael, Ernesto, Raúl A., Alicia y Raúl I. por su eterno apoyo y cariño.

CONTENIDO

Contenido	v
Resumen	ix
Abstract	x
1. Introducción	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	4
1.2 HIPÓTESIS	4
1.3 OBJETIVO GENERAL	5
1.3.1 Objetivos específicos	5
1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PTAR INSTALADAS EN LOS CAMPUS DE LA UASLP	5
2. Marco teórico	8
2.1 MARCO CONCEPTUAL	8
2.1.1 Manejo Integral del Agua	8
2.1.2 Planta de tratamiento de aguas residuales	10
2.1.3 PTAR Físico-químicas	13
2.1.4 Biotecnológicas	14
2.1.5 Humedales construidos	14
2.1.6 Impactos ambientales sociales	16
2.2 MARCO LEGAL	17
2.3 MARCO CONTEXTUAL Y ANTECEDENTES DE LAS PTAR DE LA UASLP	20
2.3.1 Sostenibilidad en la UASLP	23
2.3.2 Ejemplos de sostenibilidad y programas de manejo de agua en Universidades	27
3. Metodología	29
3.1 ANÁLISIS DOCUMENTAL	30
3.2 TRABAJO DE CAMPO	31
3.3 DIAGNÓSTICOS	32
3.3.1 Caracterización de agua	33
3.3.2 Diagnóstico	35
3.4 ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADAS	37

3.4.1 Muestreo “bola de nieve”.....	38
3.4.2 Análisis cualitativo	38
3.5 PRESUPUESTO	40
4. RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	40
4.1 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR ZONA UNIVERSITARIA PONIENTE (ZUP)	41
4.1.1 Caracterización técnica del estado actual de la PTAR ZUP	42
4.1.2 Caracterización socioeconómica y de gestión del estado actual de la PTAR ZUP	50
4.1.3 Factores cualitativos del estado actual de PTAR ZUP	51
4.1.4. Discusión del estado actual de PTAR	52
4.2. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR ZUP	53
4.2.1 Elementos técnicos, de gestión y socioeconómicos necesitados de la PTAR ZUP.....	53
4.2.3 Discusión de las características para habilitar la PTAR ZUP	64
4.2.4 Propuestas para PTAR ZUP	65
4.3 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA (FAV).....	66
4.3.1 Caracterización técnica del estado actual de la PTAR FAV.....	70
4.3.2 Caracterización socioeconómica y de gestión del estado actual de la PTAR FAV.....	77
4.3.3 Datos cualitativos del estado actual de PTAR FAV	78
4.3.4 Discusión estado actual de PTAR FAV.....	79
4.4. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR FAV	80
4.4.1 Elementos técnicos, de gestión y socioeconómicos necesitados para la rehabilitación de la PTAR ZUP.....	80
4.4.2. Factores cualitativos para rehabilitación de la PTAR FAV.....	86
4.4.3. Discusión de las características requeridas para rehabilitar PTAR FAV.....	88
4.4.4 Propuesta de rehabilitación de la PTAR-FAV	89
4.5 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN ALTIPLANO ORIENTE (AO).....	89
4.5.1 Caracterización técnica del estado actual de la PTAR AO	91
4.5.2 Caracterización socioeconómica y de gestión del estado actual de la PTAR AO	97
4.5.3 Datos cualitativos del estado actual de PTAR AO.....	99
4.5.4 Discusión estado actual de PTAR AO	100

4.6 ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR AO	101
4.6.1 Elementos técnicos, de gestión y socioeconómicos necesitados de la PTAR AO.....	101
4.6.2 Datos cualitativos para el mejoramiento de PTAR AO.....	105
4.6.3 Discusión de las características para mejorar la PTAR AO.....	107
4.6.4 Propuesta para PTAR AO.....	107
4.7 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR UNIDAD ACADÉMICA MULTIDISCIPLINARIA ZONA MEDIA (ZM)	108
4.7.1 Caracterización técnica del estado actual de la PTAR ZM.....	109
4.7.2 Caracterización socioeconómica y de gestión del estado actual de la PTAR ZM.....	115
4.7.3 Factores cualitativos del estado actual de PTAR ZM	116
4.7.4 Discusión del estado actual de PTAR ZM	118
4.8 ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR ZM	118
4.8.1 Elementos técnicos, de gestión y socioeconómicos necesitados para la PTAR ZM.....	118
4.8.2 Datos cualitativos para rehabilitación de la PTAR ZM.....	122
4.8.3 Discusión de las características para rehabilitar la PTAR ZM	124
4.8.4 Propuesta para la PTAR ZM	124
4.9 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN HUASTECA SUR (HS)	124
4.9.1 Caracterización técnica del estado actual de la PTAR HS.....	126
4.9.2 Caracterización socioeconómica y de gestión del estado actual de la PTAR HS.....	135
4.9.3 Datos cualitativos del estado actual de la PTAR HS	138
4.9.4 Discusión del estado actual de la PTAR HS	139
4.10 ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR HS	140
4.10.1 Elementos técnicos, de gestión y socioeconómicos necesitados de la PTAR HS	140
4.10.2 Datos cualitativos para el mejoramiento de la PTAR HS	143
4.10.3 Discusión de las características para rehabilitar la PTAR HS.....	144
4.10.4 Propuesta para la PTAR HS	145
4.11 ANÁLISIS DE LAS PTAR	145
4.12 ESTADO ACTUAL Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS DE LAS PTAR .	145
4.13 ELEMENTOS DE MEJORA TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS QUE REQUIEREN LAS PTAR .	151
4.14 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS PTAR.....	156

4.15 PROPUESTA DE ESCENARIOS DE LAS PTAR	159
5. Conclusiones	164
6. Prospectiva	165
7. Bibliografía	165
ANEXO 1.....	172
ANEXO 2.....	174
ANEXO 2.1	175
ANEXO 2.2	181
ANEXO 2.3	187
ANEXO 2.4	193
ANEXO 2.5	199
ANEXO 3.....	205
ANEXO 4.....	206
ANEXO 4.1	208
ANEXO 5.....	210
ANEXO 6.....	211
ANEXO 7.....	213

RESUMEN

El agua es un recurso vital cuya disponibilidad se ve cada día más disminuida por el aumento de su demanda por lo que, la implementación de estrategias técnicas para su reúso es urgente. El tratamiento de las aguas residuales reduce la necesidad de agua de primer uso, disminuye las descargas, incide en el impacto ambiental del agua, la energía y el suelo, además de representar un ahorro económico en el pago de recibos o pipas de agua.

La Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) en México, busca mejorar su sostenibilidad universitaria a través de su Grupo Universitario de Agua y su Programa Universitario de Agua coordinado por la Agenda Ambiental el cual, en su eje técnico considera el uso de Plantas Tratadoras de Agua Residual (PTAR), actualmente en la UASLP se tienen instaladas cuatro PTAR y una en proceso de habilitación; las cuales se ubican en los siguientes campus: Zona Universitaria Poniente (ZUP) en la ciudad capital de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria (FAV) en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (AO) en Salinas de Hidalgo, Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media (ZM) en Rioverde y Unidad Académica Región Huasteca Sur (HS) en Tamazunchale.

Este estudio tuvo como objetivo llevar a cabo una revisión del estado actual de la infraestructura física y la operación de las PTAR instaladas en los diferentes campus de la UASLP, considerando la factibilidad técnica, económica y de gestión para su funcionamiento y generando una propuesta para su operación y/o rehabilitación. Se realizó un diagnóstico del estado actual de cada PTAR a través de un análisis documental, visitas, análisis fisicoquímicos y evaluación de la infraestructura junto con un análisis cualitativo de 23 entrevistas a actores clave; con este diagnóstico y análisis se generaron posibles escenarios futuros de cada una de las plantas, los cuales buscaron ser una guía para tomadores de decisiones con un involucramiento participativo para lograr sustentabilidad universitaria.

Considerando que es necesario tener un manejo integral del agua que contemple la educación y comunicación ambiental para generar un sentido de pertenencia, una aportación a la divulgación científica y tomando en cuenta que cada caso es único, se proponen los siguientes escenarios:

Los humedales construidos de AO y HS tienen un funcionamiento pasivo y un dimensionamiento inadecuado del área, en donde requieren principalmente mantenimiento, seguimiento, vinculación y comunicación institucional, por lo que podrán tener una calidad de agua que cumpla con la normativa aplicable.

En las PTAR biotecnológicas ZUP y FAV se debe hacer un rediseño de acuerdo a la calidad y cantidad del agua del influente y se debe obtener o asignar un recurso económico para su equipamiento y mantenimiento, que sobre todo disminuya el agua de primer uso.

En ZM se requiere obtener el recurso económico para la rehabilitación y operación, así como, priorizar la vinculación y comunicación institucional.

PALABRAS CLAVE: *PTAR, gestión y manejo sostenible del agua.*

ABSTRACT

Water is a vital resource whose availability is diminishing by the increase of demand, the implementation of technical strategies for its reuse is urgent. Wastewater treatment reduces the need for first-use water, it reduces discharges, and influences the environmental impact of water, energy and soil, in addition to representing economic savings in bill payments or water pipes.

The Autonomous University of San Luis Potosí (AUSLP) in Mexico, seeks to improve its university sustainability through its University Water Group and its University Water Program coordinated by the Environmental Agenda, which, in its technical axis, considers the use of Waste Water Treatment Plants (WWTP), currently in the AUSLP there are four WWTP installed and one in the process of enablement; they are located on the following campuses: West University Zone (WUZ) in the capital city of San Luis Potosí, Faculty of Agronomy and Veterinary (FAV) in the municipality of Soledad de Graciano Sánchez, Academic Coordination Altiplano West Region (AW) in Salinas de Hidalgo, Multidisciplinary Academic Unit Middle Zone (MZ) in Rioverde and Academic Unit South Huasteca Region (SH) in Tamazunchale.

This study aimed to carry out a review of the current state of the physical infrastructure and operation of each WWTP installed on the different AUSLP campuses, considering the technical, economical and management feasibility for their functioning and generating a proposal for their operation and/or rehabilitation. A diagnosis of the current state of the WWTP was carried out through a documentary analysis, visits, physicochemical analysis and an evaluation of the infrastructure along with a qualitative analysis of 23 interviews from key actors; with this diagnosis and analysis, possible future scenarios were generated for each of the plants, these seek to be a guide for decision makers by a participatory involvement to achieve campus sustainability.

Considering that it is necessary to have an integrated water management that includes environmental education and communication to generate a sense of belonging, a contribution to scientific divulgation, and taking into account that each case is unique, the following scenarios are proposed:

The AW and SH constructed wetlands have a passive operation and inadequate sizing of the area, where they mainly require maintenance, monitoring, and institutional communication and linkage, therefore water quality may comply with the applicable regulations.

In the WUZ and FAV biotechnological WWTP, a redesign must be done according to the quality and quantity of the water influent and an economic resource must be obtained or assigned for their equipment and maintenance, which above all, reduces first-use water.

In MZ it is necessary to obtain the economic resource for its rehabilitation and operation, as well as prioritize institutional linkage.

KEY WORDS: *WWTP, sustainable water management*

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital que requiere de propuestas de manejo y tratamiento para que los seres humanos podamos seguir contando con ella en la calidad y cantidad que la necesitamos para nuestras actividades y nuestra salud.

Considerando el panorama global del agua en donde el nivel de estrés hídrico mundial aumentó en 0.3 puntos porcentuales entre 2015 y 2019 (FAO, 2022), éste se presenta cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. Las situaciones de crisis hídrica obligan a orientar esfuerzos hacia alternativas que disminuyan el empleo del agua de primer uso como puede ser el reciclaje del agua a través las Plantas Tratadoras de Agua Residual (PTAR).

En el mundo, la cobertura de tratamiento de agua es del orden de 70% en países desarrollados, 35% en países de ingresos medios y 8% en países pobres (UNwater, 2021). Con el propósito de equilibrar dicha cobertura, los Objetivos de Desarrollo Sostenible en su Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento en la meta 6.3 propone que de aquí a 2030, se debe mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial. Particularmente en la meta 6.3.1: Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada, en 2020 se logró una cobertura mundial del 43.09% la meta 6.b: Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento (ONU, 2021) en México se reporta 64% de tratamiento de agua residual para esta meta 6.3.1 (UNwater, 2021).

Además de los ODS, el organismo responsable de la administración y regulación del agua en México es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y mantiene los indicadores del Programa Nacional Hídrico (PNH), donde reporta en el indicador 1.3: Proporción del agua residual municipal recolectada en 2021 el 67% del agua residual fue tratada (CONAGUA, 2023).

La demanda de agua per cápita es cada vez mayor, en el 2012 el consumo de agua por mexicano era de 280 litros al día (Centro Virtual de Información del Agua, 2017) y en 2021 se reportan 366 litros promedio diarios per cápita (ONU-Hábitat, 2021) el cual es un contraste importante considerando que la OMS reporta que la cantidad mínima diaria es de 100 litros por día (CONANP, 2019). Debido al crecimiento de la ciudad, la población y sus necesidades; es necesario proponer e implementar mecanismos para reducir el consumo de agua de primer uso, entre estas acciones son el reúso y/o el reciclamiento del agua.

En el estado de San Luis Potosí se reporta que el 27.6% del agua residual es captada de los centros urbanos y es tratada lo cual es menor al porcentaje mencionado a nivel nacional; además se reconoce que entre 30% a 50% del agua para abastecimiento público se pierde por causa de fugas en las redes y domicilios (INTERAPAS, 2021) esto nos indica grandes pérdidas de agua de primer uso debido a faltas de mantenimiento, lo cual en conjunto indicada una carencia en el manejo del agua.

El acuífero de San Luis Potosí abastece a casi el 50% de la población de la zona metropolitana del Estado y enfrenta serios problemas de sobreexplotación, pues se extrae el doble de la recarga (CONAGUA, 2022). Para atenuar el problema se aprovecha el caudal de la presa El Realito, lo que ha permitido dejar de operar un número significativo de pozos del sistema que actualmente abastece a la zona conurbada (INTERAPAS, 2022). Se reporta haber tratado 36 millones m³/año de agua residual en 2021, equivalente a un aproximado de 74% de las aguas residuales a través de sus PTAR públicas y reporta la operación de 48 PTAR privadas (INTERAPAS, 2021).

La Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) depende principalmente, del abasto público de agua de las ciudades en las que se ubica por lo que la escasez que existe en cada ciudad, también le impacta, generando la necesidad de presupuestar gastos fijos para el pago de pipas, en específico por el desabasto de agua de la red en diferentes colonias como aquellas donde se ubican la zona universitaria centro, oriente y poniente de la capital; ha habido necesidad de instalar o modificar la infraestructura hídrica para el almacenamiento de agua así como pago por servicios externos; además, es posible que exista desperdicio y contaminación por residuos del agua de abastecimiento a los campus debido a que no se tiene la información detallada del manejo del agua y de los residuos en todas las dependencias de la Universidad.

Sin embargo, se deben tomar medidas hacia el manejo apropiado del agua en primera instancia por el conocimiento de la escasez hídrica a nivel estatal y realizar un diagnóstico completo en la institución que sustente acciones de ahorro en el consumo de agua de primer uso y una planeación con respecto al tratamiento de las aguas residuales que se generan ya que éstas van al drenaje sanitario municipal o a un cuerpo receptor como es el caso del campus de Tamazunchale, en la Huasteca Potosina.

Es importante señalar que la rectoría de la UASLP cuenta con la Agenda Ambiental, una oficina dedicada a la implementación de la perspectiva ambiental y de desarrollo sostenible tanto en sus actividades sustantivas como en sus planes de estudio e investigación (Nieto-Caraveo, 1998). En la Agenda Ambiental se encuentra el Sistema de Gestión Ambiental (SGA), implementado en 1998, el cual surgió como uno de los dos proyectos principales con los que inició su operación en el año en el que se formaliza la Agenda Ambiental.

El SGA es el encargado de la sostenibilidad en la infraestructura, políticas en los campus y cuenta con programas institucionales y estrategias de control de emisiones, manejo de residuos y su disposición, disminuyendo así la generación de sustancias peligrosas de la mayoría de los laboratorios químicos de las diferentes dependencias para lo cual se siguen protocolos de tratamiento de residuos y/o preparación para confinamiento de los residuos peligrosos. Lo anterior ha incidido en una calidad mejorada de las aguas residuales que se descargan a los sistemas de drenaje y que finalmente se descargan en el sistema municipal.

En específico, uno de los programas del SGA es el Programa Universitario de Agua (PUA) el cual se propuso en el 2007 (Morales, 2008) y se realizaron los primeros estudios en este marco en 2011. El PUA tiene propuestos 3 ejes: el eje técnico, eje de investigación y el eje de educación ambiental. En su eje técnico considera la instalación y ejecución de Plantas Tratadoras de Agua, mediciones de entradas y salidas de agua tanto cuantitativas como cualitativas e implementación de captación de agua de lluvia y otras ecotecnias relacionadas (Agenda Ambiental, 2019). Además, en 2023 ante la crisis hídrica del Estado, la rectoría de la UASLP propuso la conformación del Grupo Universitario del Agua, el cual se formalizó oficialmente en el Consejo Directivo de la UASLP en mayo de 2023, está formado por grupos de investigación que colaboran para abordar de manera integral los retos y problemáticas asociadas al recurso hídrico en el Estado.

El manejo apropiado del agua, además de impactar positivamente en el ambiente, también representa un ahorro económico ya que la UASLP ha llegado a gastar hasta 29 mil m³ de agua al año equivalente a \$2 millones de pesos MXN aproximadamente en pago de recibos de agua (Agenda Ambiental, 2022) y no se tienen datos de la calidad de sus descargas, aunque, como se describió previamente se está haciendo un esfuerzo a nivel institucional, para no descargar residuos químicos y/o biológicos peligrosos.

La UASLP, además de formar profesionistas y generar conocimiento, debe ser un ejemplo de autonomía y sustentabilidad tanto para sus alumnos como para la sociedad, aún más, por ser una universidad pública. Como institución tiene la capacidad de liderar y sumarse a los esfuerzos del manejo apropiado del agua y encaminarse hacia la sostenibilidad al regular y administrar las descargas de agua, con el objetivo de asegurar el cumplimiento con los límites permisibles que la normativa mexicana establece principalmente por responsabilidad ambiental, así como para ver reflejada positivamente la inversión de recursos tanto económicos como humanos que la UASLP ha realizado.

En el marco del proceso en que la UASLP se esfuerza para lograr ser una institución ambientalmente sostenible, se realiza esta investigación en la que en una primera etapa, se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva para recuperar la información que existe respecto al manejo de agua en la UASLP y sus PTAR (Plantas de Tratamiento de Agua Residual); después, en una segunda etapa, se realizaron visitas y entrevistas estructuradas las cuales fueron gestionadas previamente, en las cuales participaron actores clave, con el fin de

entender el proceso de tratamiento desde su arranque, operación y/o suspensión cuando así ocurrió, así como establecer una propuesta para su posible puesta en marcha. Se finalizó con una etapa de análisis de la información para emitir un diagnóstico utilizando elementos técnicos, de gestión y socioeconómicos, considerando tanto el estado actual como los escenarios futuros.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La severidad de la problemática ambiental y económica es de preocupación y ocupación a nivel mundial. Es claro que los seres humanos debemos tomar medidas para asegurar la disponibilidad de agua para nuestras actividades, esto a través de los avances tecnológicos que se han logrado en años de evolución colectiva para poder reutilizar el agua por tratamientos efectivos, que aseguren los límites permisibles y que respeten el ciclo natural del agua ya perturbado. Es necesario entender bien estos mecanismos para respetarlos, cuidarlos e incluso replicarlos.

Tener y mantener programas institucionales respaldados, es una manera para que las organizaciones logren generar autonomía y sustentabilidad en los procesos diarios que hacen que sus objetivos y metas se cumplan, caso en que la UASLP no es excepción.

Educar con base en el ejemplo es una forma sólida de educar y la UASLP forma profesionistas para incorporarse al mundo laboral por lo que deben coadyuvar para desarrollar la responsabilidad social y ambiental que se debe vivir en todos los sectores.

Este proyecto busca tener un acercamiento al manejo del agua en la UASLP; específicamente sus 5 PTAR considerando la vanguardia tecnológica y mecanismos de gestión, para lograr una prospectiva que tenga un impacto positivo en la sostenibilidad del recurso vital.

1.2 HIPÓTESIS

La rehabilitación y operación de las PTAR con las que se cuenta actualmente en algunos campus de la UASLP es factible en los aspectos técnicos, económicos y de gestión.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Revisar el estado actual de la infraestructura física y la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en los diferentes campus de la UASLP, considerando la factibilidad técnica, económica y de gestión para su funcionamiento; y generar una propuesta para su operación y/o rehabilitación.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Hacer un análisis de la situación actual del estado de infraestructura y operación de las PTAR de la UASLP.
2. Identificar las acciones de mejora y/o de actualización del proceso de tratamiento para la puesta en operación de las plantas de tratamiento en el corto plazo.
3. Generar una propuesta para cada PTAR, que permita su operación sostenible, considerando su factibilidad técnica, económica y de gestión

1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PTAR INSTALADAS EN LOS CAMPUS DE LA UASLP

La UASLP cuenta con una población total de 44,096 de alumnos y profesores (UASLP, 2022) repartidos en 6 campus en todo el estado de San Luis Potosí, México. Las PTAR estudiadas están ubicadas en los campus siguientes: en la capital de San Luis Potosí en Zona Universitaria Poniente (ZUP) (Figura 1), en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez en la Facultad de Agronomía y Veterinaria (FAV) (Figura 2), en el municipio de Salinas de Hidalgo en la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (CARAO) (Figura 3), en el municipio de Rioverde en el campus Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media (UAMZM) (Figura 4), y en el municipio de Tamazunchale el campus Coordinación Académica Región Huasteca Sur (CARHS) (Figura 5).



Figura 1. Vista aérea de Zona Universitaria Poniente



Figura 2. Facultad de Agronomía y Veterinaria



Figura 3. Coordinación Académica Región Altiplano Oeste



Figura 4. Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media



Figura 5. Coordinación Académica Región Huasteca Sur

Las descripciones detalladas de los sitios de cada PTAR se encuentran en la sección 5 de Resultados y discusión en donde se menciona lo pertinente de acuerdo con los objetivos. En la Tabla 1 se muestran los aspectos generales de las PTAR y en la Figura 6 su ubicación.

Tabla 1. Información general de PTAR de la UASLP

Campus	ZUP	FAV	CARAO	UAMZM	UAMHS
Ubicación:	Manuel Nava 200, Col. Universitaria, San Luis Potosí, SLP	Carretera San Luis - Matehuala Km. 14.5 Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.	Santo Domingo Salinas # 200, Salinas de Hidalgo, S.L.P.	Carretera Rioverde-San Ciro, Km 4, Río Verde - San Ciro 502, El Carmen, Rioverde, S.L.P.	Carr. Tamazunchale - San Martín Km 1.9-Km. 5, Tamazunchale, S.L.P.
Tipo:	Biotechnológica aerobia y anaerobia	Biotechnológica aerobia	Sistema de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal	Fisicoquímica con tecnología de coagulación-floculación	Sistema de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal
Año de creación:	2013	2006	2015	2014	2013



Figura 6. Ubicación de PTAR en los campus de la UASLP

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan las consideraciones teóricas que sustentan a esta investigación.

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 MANEJO INTEGRAL DEL AGUA

La crisis hídrica ha sido llamada crisis de manejo, 129 países incluyendo a México no están manejando sus recursos hídricos de forma sustentable (UNwater, 2021). Para comprender la gestión del agua en México, desde una visión amplia, es necesario tomar en cuenta que depende directamente de la articulación de tres ámbitos que están organizados y jerarquizados en dicho orden: el de la gestión pública, el de la gestión privada y el de la gestión social. A su vez, cada uno está formado por grupos con intereses y agendas distintas, por lo que la gestión global depende, en última instancia, del balance de fuerzas entre ellos y de los consensos que conformen el núcleo de preocupaciones compartidas (López-Ramírez, 2020).

En la Ley de Aguas Nacionales (LAN) el artículo XXVIII define "Gestión del Agua" como el proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental, (1) el control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende su distribución y administración, (2) la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, y (3) la preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente. La gestión del agua comprende en su totalidad a la administración gubernamental del agua (LAN, 2023).

Aquí podemos notar la concepción de la incidencia del sector gubernamental en el manejo del agua tanto con los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, donde se incluye a las universidades, quienes se deben coordinar con los demás entes para lograr el desarrollo sustentable de sus comunidades que incluye tanto su aprovechamiento como el daño a los ecosistemas, aspectos que también pueden ser atribuibles a las entidades educativas.

El concepto de "gestión" o también llamado "manejo", en el área ambiental puede definirse como el conjunto de acciones y estrategias para organizar las actividades humanas que afectan el medio ambiente para lograr el desarrollo sostenible y así prevenir, mitigar o corregir problemas ambientales, involucra operar, dirigir, generar y aplicar lineamientos. En el caso del manejo del agua, hay que definir qué es manejo "adecuado" o "sustentable" del recurso hídrico. En 2020, la Water foundation, declaró que el manejo sustentable del agua

significa que se usa el agua de una manera que satisface las necesidades actuales ecológicas, sociales y económicas, sin comprometer la habilidad de satisfacer esas necesidades en el futuro.

Cuando se incorpora el concepto “manejo integral del agua” se hace referencia a que se debe considerar un enfoque ecosistémico en donde las condiciones y características del ecosistema pueden incidir en el ciclo hidrológico y que se revise la disponibilidad del agua para los humanos integrando tanto variables ambientales como sociales y los intereses de los usuarios (Tudel, 2006). El trabajo de Tudel (2006) propone los siguientes ejes rectores del manejo integral del agua 1. Conservación del ciclo hidrológico, 2. Uso integral y sustentable del agua, 3. Mejorar la calidad de vida de la población, 4. Seguridad ante riesgos hidrometeorológicos. Es decir, cuando se considera el agua como un elemento primordial, no se puede pensar en un solo tema o una sola necesidad, sino que se deben tomar en cuenta los factores ambientales y sociales que se encuentran alrededor.

En el manejo integral del agua se pueden tener diferentes alcances, dependiendo de los contextos donde se desea aplicar; será diferente en un país, una región que considera la cuenca, el tipo de empresa, organismo público y/o institución educativa.

Para analizar los aspectos de un manejo integral del agua se han considerado conceptos relacionados con el uso integral y sustentable del agua, aspectos técnicos y de cultura del agua. En relación a los aspectos técnicos que consideran el manejo integral del agua, se debe tomar en cuenta la infraestructura hidráulica, el monitoreo del uso del agua, que incluye principalmente: sus usos, la cantidad (balances hídricos), la calidad, la revisión de fugas, la diversidad de fuentes del agua de primer uso, en donde se incluyen opciones como aprovechamiento del agua de lluvia, la captación de neblina y el reciclaje del agua a través del tratamiento de agua residual, ya sea para su reutilización o para mejorar su calidad.

En el manejo integral se ha encontrado que existe una tendencia hacia la gestión o economía circular del agua; debido a que, en la actualidad, como en otros recursos, existe un manejo lineal de los recursos asociados al agua. La economía circular del agua busca minimizar residuos y maximizar eficiencia de recursos, enfatiza la necesidad de reducir, reusar y reciclar los recursos hídricos; así como la reparación, la remediación y la regeneración del agua (Figura 7). En lugar de considerar el agua como un bien desechable, este enfoque colabora sistémicamente para lograr cerrar el círculo del ciclo del agua; promoviendo la resiliencia y la sostenibilidad frente a la creciente escasez de agua y la degradación ambiental (Obiuto et al, 2024). Con este enfoque de circularidad, incluso, se puede dejar de ver a las PTAR como el paso final del agua y darle peso a su gestión sostenible para lograr el reúso, además de que deja de ser una carga financiera para las instituciones.

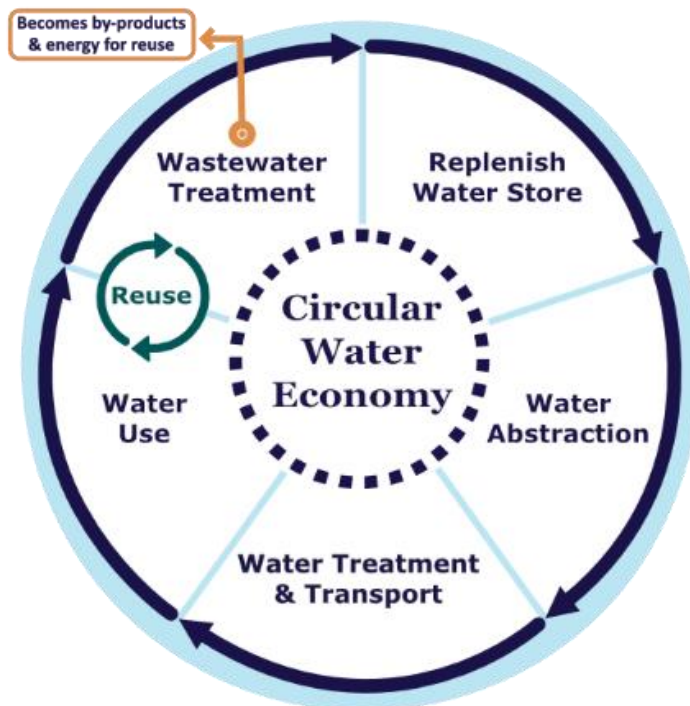


Figura 7. Economía circular del agua (Proyect O, 2020)

En la actualidad, las infraestructuras hidráulicas centralizadas convencionales constituyen la columna vertebral de las sociedades modernas. Estas infraestructuras, en espacios urbanos incluyen sistemas de tratamiento y distribución de agua potable, sistemas de tratamiento y descarga de aguas residuales y sistemas de drenaje de aguas pluviales. Se observa la necesidad de generar un cambio de paradigma para la gestión sostenible de los recursos y la infraestructura hídrica (Younos, 2011). Las infraestructuras hídricas como las PTAR son parte de los aspectos técnicos del manejo integral del agua y tienen un rol importante para disminuir la extracción y el uso de agua subterránea y superficial. Es posible afirmar que son parte de las soluciones económicas y sustentables de los problemas ambientales basados en el agua.

2.1.2 Planta de tratamiento de aguas residuales

Se concibe el tratamiento de agua residual desde el siglo XIX en principio de forma empírica y después se fue tecnificando hasta llegar a las tecnologías que conocemos hoy en día. Surge a raíz de las preocupaciones por la salud pública y los impactos ambientales adversos de las descargas de agua residual sin tratar.

Además de la importancia que tiene el tratar el agua residual, en los últimos años se han encontrado más usos para esta agua. No se debe perder de vista que el agua residual es una mina de oro, debido a que de ella es posible obtener energía, nutrientes, pigmentos, biosólidos, etcétera. Por lo tanto, en lugar de seguir llamando

como PTAR a la estación donde se depura el agua residual, ésta debe concebirse como una instalación para la recuperación de recursos valiosos (Obiuto et al., 2024).

Un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable. Se pueden hacer muchas combinaciones de operaciones y procesos unitarios. No obstante, prácticamente todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales son únicos en algunos aspectos. A través de los años los sistemas de tratamiento han evolucionado para obtener un agrupamiento general de operaciones y procesos unitarios de acuerdo a los contaminantes que constituyen “el blanco” que se busca tratar (Valdez y Vázquez, 2003).

Los procesos de tratamiento de las aguas residuales se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Cuando en un tratamiento predomina la aplicación de fuerzas físicas, se les conoce como procesos unitarios físicos. La mayoría de los métodos evolucionaron directamente de la observación del hombre de la naturaleza; éstos fueron los primeros en ser empleados para el tratamiento de aguas residuales como el cribado, mezclado, floculación, sedimentación, flotación y adsorción, los cuales son típicos procesos físicos.

Los procesos unitarios químicos son métodos de tratamiento, en donde la remoción de los constituyentes es lograda por la adición de químicos o por otras reacciones químicas como precipitación, transferencia de gas, adsorción y desinfección (Metcalf y Eddy, 2014). Un ejemplo de transferencia de gas consiste en agregar oxígeno al agua para generar reacciones aeróbicas; otro proceso químico común consiste en agregar cloro para la desinfección de agua residual.

Los procesos unitarios biológicos ocurren cuando se remueven constituyentes por actividad biológica. El tratamiento biológico es usado principalmente para remover las sustancias orgánicas biodegradables coloidales o disueltas, que se encuentran en el agua residual. Básicamente estas sustancias son convertidas en (a) gases que pueden escapar a la atmósfera y (b) tejido celular biológico que puede ser removido por sedimentación o por otro proceso de separación de sólidos. El tratamiento biológico también es empleado para remover el nitrógeno y el fósforo del agua residual. Con un control ambiental adecuado, el agua residual puede ser tratada biológicamente en muchos casos (Metcalf y Eddy, 2014).

Una vez tratada el agua, se busca que se pueda volver a incorporar a los cuerpos de agua asegurando que tiene una calidad que no contamine, o se busca su reúso como una alternativa de fuente de agua para actividades que no requieren agua de calidad para uso y consumo humano; esta demanda se incrementará conforme las fuentes naturales de agua disminuyen su disponibilidad. El reúso de agua residual tratada depende de la calidad que requiere el servicio o la actividad destino y su disponibilidad y disposición no dependen necesariamente de sistemas de abastecimiento, condiciones del clima y el sistema de alcantarillado; favoreciendo el reúso al utilizar una PTAR.

En ocasiones, una infraestructura inadecuada y sistemas de manejo limitados producen un incremento en el estrés sobre el recurso, lo que puede llevar a una predecible crisis de agua en algunos lugares (Pandey et al., 2012). Es por esto que la infraestructura hídrica y el manejo integral de una PTAR son muy importantes, debido a que normalmente se priorizan sus aspectos técnicos, pero para impactar positivamente en la sustentabilidad de la infraestructura es necesario considerar los aspectos económicos, los impactos sociales y ambientales; así como los detalles de la gestión y educación. Además, es importante mencionar que se impacta en el sentido de pertenencia que puede tener la PTAR en la comunidad, se puede afirmar que se agrega valor a través del empleo de tecnologías de vanguardia y que la claridad de las regulaciones oficiales permite prevenir que los cambios en la administración descarten, omitan o descuiden la infraestructura, el presupuesto y/o el mantenimiento, ocasionando un impacto negativo en la operación y el tiempo de vida de la PTAR.

Es importante diferenciar entre la operación y el mantenimiento que son aspectos complementarios a asumir por el horizonte de vida de la PTAR. La operación en este contexto se refiere a la operación adecuada de los procesos de la PTAR y el mantenimiento son todas las acciones que se realizan para mantener el equipo en las condiciones necesarias para su funcionamiento óptimo; siendo que el equipo puede ser el panel de control, la vegetación de un humedal y la bomba, por dar unos ejemplos.

Debido al desarrollo de la propia institución y su contexto, es natural que se requiera renovar o replantear las PTAR existentes, así como proponer la instalación de nuevas, para esto, se deben considerar algunos criterios para atender estas necesidades. Estos pueden ser: soportar la creciente población, manejar la demografía cambiante, manejar las características cambiantes y las características fisicoquímicas del agua residual, cumplir con las normativas de descarga y/o de uso del efluente, empatar las necesidades del agua de reúso incluso potabilización, alcanzar objetivos de manejo de agua pluvial; y reemplazar infraestructura obsoleta e inoperante (Metcalf y Eddy, 2014).

Existen varios tipos de plantas tratadoras de aguas residuales, normalmente están compuestas de pretratamiento, tratamientos primarios, secundarios y en algunos casos terciarios de los cuales no se detalla en este estudio.

El tratamiento primario tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Remueve sólidos gruesos y finos, pero también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO_5 y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos (Rojas, 2002).

El tratamiento secundario busca reducir la carga orgánica mediante procesos biológicos en donde se reduce o convierte la materia orgánica disuelta que contiene proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%) y aceites y grasas (10%) (Chandrappa y Das, 2014) también se separan los sólidos o flóculos sedimentables que puedan

ser separados por métodos mecánicos o físicos. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento y pueden tener eficiencias de remoción de la DBO_5 entre el 85% al 95% (Rojas, 2002).

A continuación, explicamos algunos procesos de tratamiento primario como son los físico-químicos, y procesos secundarios como los biológicos en donde se encuentran los procesos biotecnológicos y los humedales construidos.

2.1.3 PTAR FÍSICO-QUÍMICAS

Como se mencionó, hay diferentes configuraciones de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR). En cuanto a la combinación de procesos unitarios físicos y químicos vamos destacar para fines de esta investigación los procesos de coagulación y floculación.

Tanto la coagulación, como la floculación, son procesos físico-químicos que forman parte del tratamiento primario avanzado, llamados así por los altos porcentajes de eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales que es del orden de 75-85 %, así como de materia orgánica, determinada como representada por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), los cuales fluctúan entre un 75% a 85%. El principio consiste en precipitar simultáneamente las diversas clases de contaminantes, atrapándolos en flóculos y coágulos, debido a la acción de coagulantes y floculantes, entonces son removidos posteriormente del cuerpo de agua mediante procedimientos como la sedimentación, flotación y micro tamizado (Vázquez, 2015).

La coagulación química es el proceso de desestabilizar partículas coloidales para que el crecimiento de las partículas pueda ocurrir como resultado de la colisión de partículas. Incluye todas las reacciones y mecanismos involucrados en la desestabilización química de las partículas y en la formación de partículas más grandes por floculación pericinética. Esto se logra al desestabilizar a las cargas negativas de los sólidos suspendidos con cargas opuestas de los coagulantes para que se puedan agrupar al tener la carga neutra y los sólidos suspendidos se mantienen en suspensión. La floculación es usada para describir el proceso por el que el tamaño de la partícula aumenta y como resultado de la colisión de partículas, se producen partículas por agregación (Metcalf y Eddy, 2014). Es importante mencionar que la coagulación y la floculación son pasos sucesivos de manera que se colisionan las partículas y luego crecimiento del flóculo seguido de un proceso de sedimentación (MRWA, 2009).

Los términos orto-cinética y la peri-cinética se usan en el marco de la floculación y se refieren a como ocurre el contacto entre las partículas en un agua residual de las PTAR.

La floculación orto-cinética es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas como paletas giratorias y es cuando los contactos entre ellas son producidos por el movimiento del fluido.

La floculación peri-cinética es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano (Lorenzo, 2006).

2.1.4 BIOTECNOLÓGICAS

El concepto de biotecnología hace referencia al uso de organismos vivos o sistemas biológicos como bacterias, hongos, plantas, enzimas, tejidos o células vivas junto con tecnología para resolver una problemática. En las PTAR biotecnológicas se suelen usar microorganismos para degradar los componentes del agua residual. Estos procesos biológicos pueden dividirse en 2 categorías: procesos de crecimiento suspendido y crecimiento adherido (o biopelícula); el diseño y operación exitosa de estos procesos requiere un entendimiento de los tipos de microorganismos involucrados, las reacciones específicas que desempeñan, los factores ambientales que afectan su desempeño, sus necesidades nutricionales y sus reacciones cinéticas (Metcalf y Eddy, 2014).

En la presente investigación se analizan y proponen PTAR biotecnológicas con procesos combinados, aerobios, que requieren oxígeno y anaerobios que no requieren oxígeno, PTAR anaeróbicas con flujo ascendente, procesos aerobios de crecimiento adherido con difusores, aerobios de crecimiento adherido y lecho móvil, así como, lagunas facultativas aerobias y procesos anóxicos de desnitrificación.

2.1.5 HUMEDALES CONSTRUIDOS

Generalmente, los humedales son de dos tipos (i) naturales y (ii) construidos y han sentado una base sólida para el tratamiento de aguas residuales en comparación con sistemas de tratamiento convencionales. Los humedales construidos son una alternativa económica para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales como domésticas, agrícolas, industriales, etc. (Vymazal, 2011).

Los humedales construidos son un abordaje más sustentable y amigable con el medio ambiente para reducir la contaminación y el uso de recursos locales, gracias a su alto nivel de eficiencia de remoción de tintes, metales pesados, micro contaminantes, bacterias, nutrientes y contaminantes orgánicos. Los humedales construidos actúan como un estuario y sirven como biofiltros para eliminar los contaminantes de las aguas residuales (Pawęska et al., 2011).

Se debe considerar que los humedales construidos utilizan elementos como el nitrógeno y el fósforo como nutrientes para el crecimiento de su vegetación; en el caso del nitrógeno, la vegetación convierte, mediante un

proceso de desnitrificación a nitrógeno gaseoso; el fósforo se remueve físicamente adherido al sustrato y el fósforo disuelto se acumula en los sedimentos por adsorción y por precipitación. Además del uso de nitrógeno y fósforo los humedales construidos utilizan los contaminantes disueltos de las aguas residuales como alimento para los microorganismos, quienes transforman o degradan los compuestos orgánicos en gases que pueden mezclar en el agua o ir hacia la atmósfera, de esta manera ocurren procesos simbióticos entre los microorganismo, la vegetación y sus raíces en donde se intercambia oxígeno, nutrientes y minerales en sistemas complejos en los que se desarrollan de manera simultánea procesos físicos, químicos y biológicos (Rivas, 2023).

Además de la depuración de aguas residuales, los humedales ofrecen beneficios ambientales agregados como son los siguientes: mejoran la calidad ambiental, crean y restauran nichos ecológicos, generan mejoramientos paisajísticos, contribuyen en la generación de zonas de amortiguamiento de crecidas de ríos y avenidas, son fuente de agua en procesos de reutilización de aguas residuales para riego, y aportan ventajas de otras actividades de carácter lúdico y económico (Rojas, 2015).

Los humedales construidos plantados con macrófitas emergentes son de los siguientes tipos:

- a) Sistemas de flujo libre o humedales de flujo superficial (HFS)
- b) Sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS)
- c) Sistemas con flujo vertical subsuperficiales (HFV)
- d) Sistemas híbridos (SH)

La clasificación anterior está relacionada con el sentido preferente del movimiento del agua en los lechos de los humedales.

Como se describe más adelante, los humedales construidos con los que cuenta la UASLP son del tipo flujo horizontal subsuperficial. En estos sistemas el agua se distribuye en un extremo del lecho, se infiltra, fluye en sentido horizontal a través de un medio granular de relleno y entre las raíces de las plantas. Al final y en el fondo del lecho, el agua tratada se recoge y se evacua por medio de tuberías y/o vertederos.

Las profundidades de estos humedales no suelen exceder los 0.60 m. y para facilitar el flujo del agua deben ser construidos con una pendiente en el fondo, pero manteniendo en lo posible condiciones hidráulicas de flujo laminar. Los lechos deben ser aislados del suelo subyacente para evitar la contaminación de suelos y de las aguas subterráneas.

2.1.6 IMPACTOS AMBIENTALES SOCIALES

Desde hace unas décadas se comenzó a señalar que la crisis ambiental es, en realidad, una crisis civilizatoria, en la que no se puede separar la degradación de la dimensión físico-biológica del deterioro social (Leff, 1998) este es el caso también del manejo del agua.

Como se ha mencionado, el agua es un recurso vital para toda la vida en la tierra; sin embargo, el mal manejo del agua juntamente con el de residuos ha impactado negativamente los ciclos del agua, así como los ciclos del nitrógeno, fósforo y la acidificación de los océanos; de tal manera que se ha provocado el deterioro de los ecosistemas y la interrupción del ciclo natural de agua debido al aumento de las temperaturas. De acuerdo con Jaramillo (2024), la urbanización, la deforestación y la extracción de agua subterránea han perturbado el ciclo natural del agua, en consecuencia, aumentó también el riesgo de inundaciones o sequías. Considerando la mínima cantidad de agua dulce con la que contamos (2.5%) en el planeta, ésta se incorpora al ciclo hidrológico con una mala calidad, lo cual impacta a los ecosistemas, por lo que es necesario buscar maneras de limpiar o tratar el agua que retorna.

“Cuando el agua escasea, está contaminada o las personas tienen un acceso desigual o nulo, pueden aumentar las tensiones entre comunidades y países” (ONU, 2024). La carencia de agua puede llegar a crear violencia sobre todo al ser el agua un recurso vital, por lo que se debe tomar en serio el migrar a un manejo equitativo, asequible y accesible del agua y considerar que el ser humano es un ser social que vive en comunidad y su comunidad no solo es entre los de su especie, sino que existe interdependencia con los demás seres vivos y elementos de la naturaleza.

Estos argumentos abonan a la importancia de una buena gestión del agua que incluya el panorama mundial y estatal pero también local entre barrios y municipios a nivel doméstico, industrial y educativo considerando el pago justo, misma disponibilidad y cuidados.

Desde una perspectiva socioambiental es importante tomar en cuenta a los actores clave de una problemática como puede ser el manejo del agua. Conocer las perspectivas de los actores clave puede servir para identificar sus necesidades y motivaciones, se pueden identificar conflictos de interés y resistencias. Al entender estas perspectivas se pueden encontrar soluciones que sean funcionales y colaborativas. Es aquí donde el análisis cualitativo ofrece valor en una investigación, complementa el análisis cuantitativo y fortalece las soluciones de manejo de agua a las que se puede llegar. Cuando se unen estos métodos se les llama métodos mixtos y se definen por Hernández et al. (2010) como: “Un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información obtenida y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.” Aquí se puede notar la importancia y complementariedad del análisis

de la percepción de los actores clave de un estudio, donde al codificar sus ideas se puede obtener un entendimiento que responda a las preguntas de investigación.

Los impactos del cambio climático aumentan y crece la población, por lo que existe la necesidad de unirse a nivel mundial para proteger y conservar el agua. La salud pública y la prosperidad, los sistemas alimentarios y energéticos, la productividad económica y la integridad ambiental dependen del buen funcionamiento y la gestión equitativa del ciclo del agua (ONU, 2024).

Los impactos ambientales y sociales de un buen manejo del agua pueden ser invertidos hacia algo positivo que no perturbe los ciclos naturales del planeta y que cree cohesión y educación entre las comunidades; dentro de este buen manejo se incluye el tratamiento del agua residual.

2.2 MARCO LEGAL

Lo que concierne al manejo del agua y las plantas de tratamiento de aguas residuales en México, se debe mencionar primeramente el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que establece que las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponden a la nación y en el párrafo quinto de su artículo 4º. establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en el Artículo 117 establece que la prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país, que las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo y que la participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.

De forma puntual la Ley Nacional de Aguas y su reglamento ofrecen un ordenamiento legal que permite administrar y preservar las aguas de propiedad nacional y el reglamento establece la forma de realizarlo. Así mismo esta ley regula la explotación, uso o aprovechamiento, control, preservación de su calidad y cantidad para lograr un desarrollo sustentable; en materia de contaminación establece que se requiere de permiso de descarga para verter en forma permanente o intermitente aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales. En el caso de descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado corresponde a los municipios establecer las características de la calidad con que deberá descargar.

La vigilancia y otorgación de permisos a quien da tratamiento del agua residual se realiza a través del organismo federal denominado Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en coordinación con el estado y los municipios. Este organismo tiene la facultad de sancionar cuando existe incumplimiento, como puede ser la descarga de contaminantes a aguas nacionales como ríos, así como su infiltración en suelos; de esta manera se cuidan y se vigilan los ecosistemas y la salud de la población.

Para proporcionar especificaciones en relación al cuidado del agua específicamente el agua residual que es producto de las actividades del agua de primer uso, existen y se aplican normas oficiales mexicanas (NOM) y normas mexicanas (NMX), las cuales apoyan los aspectos específicos, sobre todo técnicos, como los métodos para analizar la calidad de agua, por ejemplo. Las leyes federales y las normativas NOM tienen un carácter obligatorio en nuestro país y las NMX sirven de guía para el manejo apropiado del agua y son obligatorias para algunos casos como los laboratorios certificados.

La NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación tiene como objetivo proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales. A partir de su última reforma, es más estricta respecto a los límites permisibles de los efluentes; además, a diferencia de la emitida en 1996 tiene cambios en los límites de contaminantes permitidos por ejemplo los límites de los sólidos suspendidos totales, el nitrógeno total, fósforo total bajaron, el pH cambio de 5-10 a 6-9 y se eliminó el parámetro de DBO₅ e influye la DQO; además la norma actual considera más especificaciones de descargas como por ejemplo la contaminación por infiltración. El aspecto más importante en cuanto al reto técnico económico que supone el cumplimiento de la nueva norma, está soportado por la regulación de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y el logro de las concentraciones de contenido de materia orgánica determinada como Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Morgan et al., 2023); la norma precedente establecía el límite permitido de materia orgánica en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

La NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece las concentraciones máximas permitidas en agua residual para riego de áreas verdes, pero existe una norma que se concentra solamente en las características de las aguas residuales tratadas aplicadas a espacios de esparcimiento o con los cuales los seres vivos tienen contacto que es la NOM-003-SEMARNAT-1997. Dicha NOM establece los límites de contaminantes para aguas residuales que se reutilicen en servicio al público. Al emplear esta norma, se separan los límites en tipo de reúso con contacto directo o indirecto. La NOM-001-SEMARNAT-2021 y la NOM-003-SEMARNAT-1997 son complementarias de tal manera que el tratamiento de las aguas residuales debe enfocarse a su cumplimiento para el reúso del agua tratada y/o su descarga a un cuerpo receptor, al suelo o a un sistema de drenaje.

Además de la normativa mexicana es conveniente considerar estrategias para el cuidado y vigilancia del agua, empleadas en otros países o en otros sistemas, como es el caso de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) en Estados Unidos de América. Un documento valioso generado por EPA es la “Clean Water Act”, la cual es utilizada como marco de referencia para proteger las aguas de la superficie en Estados Unidos desde 1972 y que no permite que se descarguen contaminantes en las aguas nacionales con límites en los efluentes.

Existen sistemas de gestión ambiental en todo el mundo, los cuales son empleados para mejorar sus prácticas ambientales incluyendo su manejo del agua, que puede estar vinculado a una necesidad de agua de primer uso, eficiencias de recursos, ahorros de recursos económicos y competitividad para certificaciones ambientales. Se encuentran ejemplos de estos sistemas tanto en instituciones privadas como públicas, quienes se han beneficiado de obtener buenos manejos para dar cumplimiento a normas como la ISO 140001 en las empresas o para certificar sus programas educativos en las universidades. Entre los ejemplos de universidades públicas que han tenido éxito en sus programas de manejo de agua encontramos al programa PUMAGUA que es considerado internacionalmente uno de los proyectos más exitosos en el mundo según “Smart Water Management Project” en 2019, el programa se basa en el monitoreo permanente de la calidad y cantidad de agua y el tratamiento de las aguas residuales de los campus para su reúso en el riego de áreas verdes.

El tratamiento de las aguas residuales que generan las instituciones públicas de educación no está establecido como una obligación, posiblemente se entiende que sus aguas se descargan a un drenaje municipal y es el municipio quien se hace cargo del tratamiento. Sin embargo, no toda el agua residual que se genera en una institución como las universidades tiene una calidad típica de las aguas residuales domésticas; los residuos que se generan en las diferentes unidades de operación de una institución como los laboratorios químicos o de estudios biológicos y en los talleres pueden contribuir con contaminantes poco biodegradables, tóxicos y por ende reconocidos como peligrosos. Lo anterior obliga a las instituciones a realizar un análisis de su responsabilidad ambiental y social en la generación de residuos que debieran tener un manejo y disposición apropiados.

En la UASLP existe un Marco Legal y un Sistema de Gestión Ambiental en los que se sustenta su responsabilidad ambiental. Es en este marco que se desarrolla este trabajo de tesis.

El Estatuto Orgánico de la UASLP, el documento más importante de la normativa universitaria señala en el Artículo 127 VII: “Son derechos universitarios de manera enunciativa y no limitativa el derecho a instalaciones con un medio ambiente sano, seguro y sustentable” (UASLP, 2022).

En el Plan Institucional de Desarrollo (PIDE) 2024-2030, se reconoce la función de la Agenda Ambiental, el Sistema de Gestión Ambiental y la implementación del Programa Universitario del Agua (PUA). En el eje Estratégico 7: Innovación disruptiva en la gestión, se menciona la Estrategia 74 “Analizar las oportunidades de mejora e inversión en infraestructura para un uso más eficiente de la luz y agua en las entidades académicas y de gestión” la línea de acción 384 se enfoca en “Identificar las necesidades de paneles solares, condensadores de agua, entre otros elementos que permitan el uso más eficiente de luz y agua en cada entidad académica y de gestión (PIDE 2024-2030, 2023). Con base a lo anterior y a través de los esfuerzos de la UASLP para llegar a ser una institución ambientalmente sostenible y socialmente responsable, la instalación y el seguimiento de PTAR en sus campos es congruente con los propósitos antes mencionados, así como la instalación de nuevas plantas de tratamiento donde sea técnica y económicamente factible.

Como se describe más adelante, en este trabajo se hizo un esfuerzo en identificar los actores clave en las entidades académicas y de gestión que pueden contribuir al manejo y soporte técnico, económico y administrativo para el mantenimiento y operación de las PTAR instaladas y que son objeto de esta tesis. En este contexto, se identifica a la Secretaría Administrativa que de acuerdo al Artículo 117 del Estatuto Orgánico de la UASLP, es la dependencia encargada de la administración y contratación de los recursos materiales de la Universidad. Así mismo, de acuerdo al Artículo 112 I. del mismo documento, la estructura institucional se organizará para prestar las siguientes funciones: a) Administrativas que serán de gestión y de extensión. b) Académica. c) De investigación (Estatuto orgánico de la UASLP) recursos que pueden ser las PTAR, su mantenimiento menor y/o sus insumos.

2.3 MARCO CONTEXTUAL Y ANTECEDENTES DE LAS PTAR DE LA UASLP

La UASLP es una institución pública de educación superior cuya autonomía es reconocida oficialmente desde 1923 y que tiene presencia en 6 municipios del estado de San Luis Potosí. Para su operación la Universidad utiliza el agua de formas diversas y en diferentes tiempos para sus actividades sustantivas las cuales han sido definidas como “formación, investigación e interacción con la sociedad”. Sin embargo, no hay que perder de vista que existen diferencias en cuanto a los propósitos y los alcances de su introducción en cada actividad. Por ejemplo, mientras que la inserción de la sustentabilidad en algunas actividades de la educación superior apunta hacia cambios importantes en el quehacer mismo de estas instituciones, como sería el caso de la investigación, otros casos se concentran en la preocupación más inmediata de su operación y la evaluación de su desempeño, adquiriendo un carácter mucho más instrumental (Noyola-Cherpitel, 2018).

En esta reflexión podemos vincular la sustentabilidad en el quehacer de la universidad, que incluye el manejo integral y sostenible de sus recursos como es el agua.

El uso del agua en la Universidad es parecido al uso residencial o doméstico, pero difiere porque también utiliza el agua para sus laboratorios y talleres que forman parte indispensable de sus actividades de investigación y docencia. El agua residual que se produce es manejada de forma diferente, en algunas entidades se cuenta con drenaje municipal a donde se envía el agua residual para su tratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales; hay entidades de la UASLP que no cuentan con drenaje y por lo mismo, han hecho esfuerzos para tener PTAR propias.

Para la implementación y el manejo de estas PTAR en esta investigación se han considerado los factores técnicos, económicos y de gestión que involucran a diferentes personas, instituciones, organismos y empresas que en este estudio nombramos como “actores clave”.

Dentro de las entidades de la UASLP, algunos actores clave, como la Secretaría Administrativa, tienen un rol importante en la gestión de las PTAR porque manejan los recibos de pago del agua y administran las áreas comunes; en esta investigación se encontró que el Departamento de Diseño y Construcción el cual es una entidad de gestión dependiente de la rectoría tiene un papel importante debido a que se ha involucrado en el diseño y construcción de algunas PTAR y es responsable de supervisar las construcciones, aunque no hayan realizado su diseño. En el desarrollo de la investigación se identificaron a profesores de las facultades de Ingeniería y Ciencias Químicas que participaron en estos proyectos con su conocimiento y en el diseño de las PTAR.

Las administraciones de las dependencias de la UASLP y sus áreas de mantenimiento, tienen la función de cuidar las instalaciones de sus entidades, así como proporcionar las actividades sustantivas que apoyen en el quehacer y objetivo final de la universidad, que consiste en educar y generar conocimiento. Para ello aseguran el agua de primer uso con pozos, sistemas de agua entubada e incluso con pipas de agua; esta agua es comprada en algunos casos y es almacenada en cisternas, a las cuales también se les deben proporcionar mantenimiento, como reparar fugas y hacer limpieza periódica. En algunas entidades, se pondera o prorratea el consumo de agua y se cuida su uso y se previene su desperdicio con el apoyo del personal de mantenimiento. Las administraciones se ocupan de manejar los recursos económicos y generar y obtener presupuestos, tanto para la puesta en marcha, como para el mantenimiento de las PTAR; esto a través de un presupuesto financiero programado, o bien con un recurso extraordinario generado como recursos propios.

La dirección de las entidades son elementos clave debido a que aquí se realiza la toma de decisiones, se generan instrucciones y se asignan responsabilidades al equipo de trabajo. En la UASLP, el rector es la máxima autoridad de la institución, autoriza los nombramientos y presupuestos requeridos, enseguida los directores de

las Facultades, Institutos y entidades de gestión coordinan y administran las actividades alineadas con los objetivos que proponen la misión y visión de la universidad. En las Facultades existen cuerpos académicos (CA) que han contribuido con su investigación a la propuesta de las PTAR, así como grupos creados por la rectoría para abordar el tema del agua como el Grupo Universitario del Agua el cual es una iniciativa que fue aprobada por el H. Consejo Directivo Universitario en mayo de 2023 y que está conformado por profesores de diferentes dependencias (Facultades de Ciencias Químicas, Ingeniería, Medicina, Derecho, Agronomía y Veterinaria, Ciencias de la Comunicación y Economía, los institutos de Geología y Metalurgia, y la Agenda Ambiental), cuyo objetivo es abordar de manera integral los retos y problemáticas asociadas al recurso hídrico en el Estado.

Particularmente el CA en Hidrosistemas adscrito a la Facultad de Ingeniería con participación en la Maestría en Tecnología y Gestión del agua ha participado en el diseño y evaluación de algunas de las PTAR. Asimismo, es necesario mencionar el posgrado que ofrece el Programa Multidisciplinario en Ciencias Ambientales (PMPCA) el cual por primera ocasión participa en el abordaje de este tema a través de este trabajo de investigación.

La carrera de Ingeniería ambiental de la Facultad de Ingeniería y el programa de Maestría en Tecnología y Gestión del Agua son los programas de la UASLP que han tenido mayor colaboración y aportación al tema del manejo del agua de la UASLP y sus PTAR asignando estudiantes y profesores a través de estrategias de colaboración como servicio social, proyecto integrador y tesis.

La Agenda Ambiental de la UASLP tiene un rol importante en la creación y el seguimiento de las PTAR que tiene y pueda tener la UASLP debido a que su función es ser enlace entre los actores clave, de reporte de indicadores de las acciones de sostenibilidad de la UASLP y promoción del reciclaje y manejo apropiado del agua a través del Programa Universitario del Agua (PUA). El PUA forma parte del Sistema de Gestión Ambiental que se propuso como programa institucional de gestión en el 2019 y que se impulsa en la institución a través de dicha dependencia. Al momento el PUA ha registrado la existencia de las PTAR y las ha considerado dentro de sus indicadores de desempeño ambiental.

Los organismos operadores de agua y las diferentes dependencias municipales, estatales y federales encargadas tienen un rol en el manejo del agua de la UASLP y por ende en los campus del estudio; en el caso de que las PTAR operen, el papel de la entidad de gobierno pertinente debe vigilar y revisar los reportes que expide la UASLP para la operación y control de sus PTAR, en el caso del agua de primer uso se llevan a cabo negociaciones y se mantienen concesiones de los pozos o se paga por el agua entubada a los organismos municipales, en otros casos, se reportan arreglos y fugas del sistema de tuberías, o bien en algunos municipios

se proporciona soporte para el desazolve o bombeo del agua de las PTAR; en el caso de los campus sin drenaje municipal se deben mantener permisos de descarga.

Las empresas que ofrecen servicios de diseño e implementación de procesos de tratamiento de aguas residuales como Imbrium y ACCUI tienen un rol importante debido a su participación en el diseño, construcción y operación de las PTAR, siguiendo un protocolo de licitación. La UASLP realiza los concursos y evalúa los proyectos de PTAR de acuerdo a las convocatorias previamente preparadas; Esta evaluación considera la revisión, la verificación del diseño, la construcción y los programas propuestos para capacitación, operación y mantenimiento.

2.3.1 SOSTENIBILIDAD EN LA UASLP

La UASLP busca ser coherente en su discurso por lo que desea tener una perspectiva ambiental y de sostenibilidad en todo su quehacer; por lo que en 1998 creó la Agenda Ambiental (<https://ambiental.uaslp.mx/>), una oficina de gestión y de coordinación transversal entre entidades académicas y administrativas que busca impulsar, articular y apoyar iniciativas que contribuyan a la incorporación de la perspectiva ambiental y de sostenibilidad en todas las funciones sustantivas y de gestión no sólo hacia el interior de la Universidad, sino con impacto en la sociedad en general.

Para cumplir sus objetivos, la Agenda Ambiental trabaja a través de 4 ejes: 1. Educación e Investigación, 2. Gestión Institucional, 3. Vinculación y Proyectos, 4. Comunicación.

El eje de gestión institucional se basa en el Sistema de Gestión Ambiental (SGA) el cual busca mejorar el desempeño ambiental de la UASLP como organización en todas sus funciones sustantivas para transformarla en una institución ambiental y socialmente sostenible con la participación de la comunidad universitaria. Responde a los lineamientos del PIDE, a los ejes rectores de la UASLP y ha sido pionera en su tipo en el país funcionando como un mecanismo para mejorar el desempeño ambiental de la institución regido tanto por indicadores nacionales e internacionales como los propuestos en los Objetivos del Desarrollo Sostenible y por lineamientos propios (Agenda Ambiental, 2024).

Dentro del SGA se encuentra el Programa Universitario del Agua (PUA) creado en el 2008 aunque no asociado, pero sí complementario al SGA; actualmente el PUA es uno de los cuatro programas que se impulsan en el SGA y se encarga del manejo apropiado e integral del agua en todo el quehacer de la UASLP, a través de aspectos técnicos de eficiencia y tratamiento, investigación e innovación y comunicación a la comunidad (Figura 8). Sus objetivos específicos son:

- Sensibilizar a la población universitaria al respecto del manejo del agua por medio de difusión e impartición de educación ambiental (conferencias, talleres y de campañas de comunicación) de

manera gráfica o por uso de TIC's. Contribuir a que la comunidad de la UASLP, tenga una cultura del cuidado del agua, y que ésta se lleve a cualquier lugar que frecuente nuestra comunidad.

- Establecer lineamientos para el correcto manejo del agua en la UASLP y obtención de indicadores.
- Implementar ecotecias en las instalaciones de la UASLP, como la instalación de inodoros ahorradores y colectores pluviales en los techos de los edificios.
- Construir, activar y dar seguimiento a plantas tratadoras de agua destinadas a: riego, consumo humano, recirculación
- Difusión y estrategias de comunicación de información relevante que están relacionadas con la temática del agua.
- Considerar la transversalidad de los programas de Agenda Ambiental para asegurar que no quedan exentos del uso de agua, como los programas de consumo responsable de energía y del diseño de jardines.

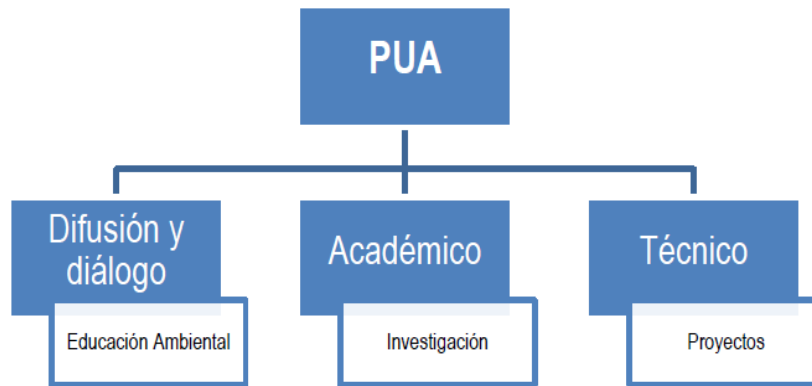


Figura 8. Estructura del Programa universitario de Agua

En el PUA se hace énfasis en la importancia de un manejo integral del agua y la inclusión de las plantas tratadoras de agua residual como alternativa de reciclaje del agua para su reúso y de esta forma disminuir el consumo de agua abastecida por el municipio.

Recientemente (2022), la Agenda Ambiental adoptó el programa Greenmetric Ranking como un mecanismo para generar indicadores de desempeño ambiental en la institución; este es un ranking internacional en donde participa la UASLP y es de utilidad para medir, evaluar y comparar la sostenibilidad de sus campus universitarios y comparar con otros alrededor del mundo. Este indicador considera como un criterio importante el “agua”; en donde se espera que las universidades disminuyan racionalmente el uso de su agua, aumenten programas de conservación del agua, programa de reciclaje, el uso de aparatos, equipos y mecanismos que contribuyan al logro de la eficiencia hídrica, y la medición del consumo de agua tratada como un ejemplo de sus indicadores clave.

Es importante mencionar que el PUA, aunque es un programa formalizado dentro del SGA y la Agenda Ambiental, hasta el momento no se han tenido los mecanismos de autoridad para hacer obligatorios lineamientos y propuestas dentro de la UASLP; pero, pueden sugerir y/o hacer recomendaciones a todas las entidades para implementar sus programas efectivos con el apoyo de la Secretaría Administrativa y la Rectoría.

La Universidad Autónoma de San Luis Potosí, consciente de la importancia del cuidado del medio ambiente, ha establecido lineamientos que le permiten la creación y transferencia del conocimiento en prácticas ambientales sostenibles, fundamentadas con el Modelo Educativo y el Plan Institucional de Desarrollo (PIDE UASLP 2024-2030) con el objetivo de consolidarse como una Universidad Sustentable.

La Agenda Ambiental toma como base los indicadores establecidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2015-2030) de la Organización de las Naciones Unidas y los impulsa en la UASLP; con la publicación de los 17 ODS junto con sus 169 metas, las organizaciones tratan de superar las diferencias de integración entre políticas, estrategias y formas de aplicación con modelos propuestos para interpretar la conectividad de los 17 ODS, que en la Figura 9 podemos observar cómo se ven agrupados en tres grandes ejes: económico, social y ecológico o “biosfera”.

Una de las herramientas que cada vez se hace presente a nivel global para lograr el cumplimiento de los ODS es la “Economía Circular”, que se percibe como un modelo crucial para que la economía industrial busque el desarrollo sostenible (Hysa et al., 2020). Este concepto de economía circular se correlaciona con el descrito de agua circular donde recomienda regresar al ciclo original del agua y son conceptos necesarios que se deben tener presentes en esta investigación en donde se está viendo la operación de las PTAR en el marco del manejo integral del agua y al incluir en este manejo la circularidad se podrán mantener a largo plazo de mejor manera las PTAR.

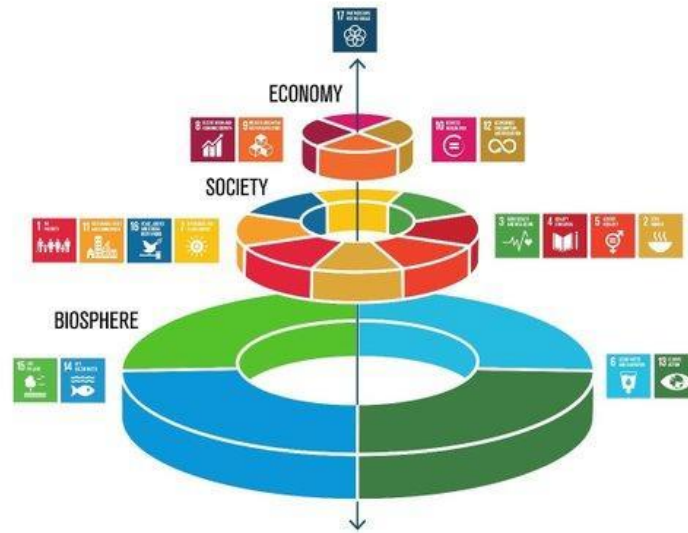


Figura 9. Pastel de bodas de los ODS (Stockholm Resilience Center, 2016)

En el tema de esta investigación, los ODS 6 y 11 son los de mayor importancia. El ODS 6 - Agua limpia y saneamiento, donde se trata de cuidar los derechos humanos tanto de la comunidad universitaria como de la sociedad que la rodea, así como cuidar los ecosistemas y prevenir la calidad y la escasez de agua en la Universidad. El ODS 11- Ciudades y comunidades sostenibles, debido a que las PTAR forman parte de campus universitarios ubicados en ciudades que deben cumplir con la sostenibilidad en sus infraestructuras y su manejo de agua.

En relación con la Meta 6.3 del ODS 6, es posible mencionar que entre los 73 países que en 2022 informaron tanto sobre la generación total de aguas residuales como sobre su tratamiento el 76% de los flujos totales de aguas residuales recibieron al menos algún tratamiento. De los 42 países que especificaron el nivel de tratamiento, el 60% de los volúmenes de aguas residuales fueron tratados de forma segura (es decir, involucra el tratamiento secundario). En todas las regiones del mundo, muchos ríos, lagos y acuíferos todavía se encuentran en buenas condiciones: en 2023, el 56% de las masas de agua evaluadas en 120 países tienen agua de buena calidad. Sin embargo, los países con los programas de monitoreo más completos muestran que la calidad del agua de sus acuíferos se está degradando desde 2017 (ONU, 2021)

En síntesis, los ODS y sus metas orientan los esfuerzos de la UASLP hacia la sostenibilidad y genera la oportunidad de ubicar sus programas en un panorama global.

Además, hay que considerar que para la sostenibilidad de cualquier organización o institución, el mantenimiento, el control y, sobre todo, el manejo de sus recursos y servicios básicos son de suma importancia. En el caso del agua se puede traducir en un monitoreo y seguimiento interno de la cantidad que se consume y en qué calidad se obtiene y desecha el agua que se está recibiendo y entregando de diferentes maneras,

algunas de estas maneras implican un pago o una concesión de carácter federal que suma responsabilidades como es el caso de los pozos en terrenos pertenecientes a la UASLP. Para asegurar los límites permisibles de contaminantes en el agua se debe considerar que existen otros procesos ligados al agua, tales como el manejo de residuos, el mantenimiento y reemplazo tecnológico de la infraestructura y la intervención política-institucional; por lo cual se requiere un acercamiento integral al tema.

La responsabilidad de ser un ejemplo tiene una gran importancia para la UASLP; por lo mismo, debe evaluar y aportar los parámetros establecidos en la legislación vigente en materia de agua, es de interés institucional, sobre todo, si se considera su responsabilidad ambiental y social.

Con base en lo anterior, es función de la universidad mantener y realizar esfuerzos internos y locales en los campus, con el conocimiento y experiencia de los investigadores a través de proyectos focalizados. Ha habido muchos trabajos académicos y esfuerzos administrativos que abordan el manejo del agua y propuestas de mejora. El 26 de junio del 2023 el Grupo Universitario del Agua entregó propuestas académicas para la “Zona Metropolitana” como parte de las “Acciones para un uso y manejo sostenible del agua en el estado de San Luis Potosí”, en donde se incluyeron propuestas para las PTAR municipales, como parte de un plan integral para la ciudad y aunque las propuestas son para el exterior de la UASLP es un ejemplo de lo que se puede hacer al interior para ser un ejemplo para las necesidades del manejo del agua del estado.

Entre todas las acciones de sostenibilidad en la UASLP y puntualmente su actuar en torno al manejo de agua, se considera en este estudio la existencia de cinco plantas tratadoras de agua residual en los campus de la UASLP y la necesidad de evaluación a través de la búsqueda y recolección de información; así como tener una visión holística que considere que forman parte de un programa institucional e integral y que no se trata de elementos aislados que involucran a diversos actores clave.

2.3.2 EJEMPLOS DE SOSTENIBILIDAD Y PROGRAMAS DE MANEJO DE AGUA EN UNIVERSIDADES

Existen buenos ejemplos de sostenibilidad universitaria a nivel nacional e internacional. En algunas Universidades se cuenta con un departamento, una secretaria, o una entidad especializada que atiende el tema y forma parte de la administración. Estos organismos tienen implementados programas, ejes o campañas para los diferentes temas ambientales como pueden ser: residuos, movilidad urbana, vegetación, fauna, energía eléctrica, soberanía alimentaria, y manejo del agua entre otros, también pueden formar parte del departamento de control o normativo ya que manejan protocolos y lineamientos, como es el caso de las secretarías quienes establecen normas internas que dan obligatoriedad a los programas ambientales así como sanciones internas cuando hay incumplimiento.

Las estructuras administrativas son para atender los temas de sostenibilidad que atañen a las instituciones, normalmente forman parte de las actividades sustantivas de la universidad y en ocasiones consideran la participación planeada y activa de los alumnos, como es el caso de la Universidad de Wageningen en Países Bajos donde los alumnos tienen su propia oficina denominada: "Green office"; esta oficina no es exclusiva de la universidad, sino que se extiende a la sociedad en general, logrando, como en muchos casos, impactar las cadenas de valor de la región en donde se encuentran. De acuerdo con la revista Greenmetric, la universidad de Wageningen es la universidad más sustentable del mundo. Se observa que a través de regulaciones oficiales operan de forma interdisciplinaria, con un acercamiento basado en la ciencia con una estrategia de alcance nacional y local logrando la cooperación para obtener respuestas socialmente inclusivas y confirmadas científicamente. En esta universidad, el uso de agua ha sido reducido en sus edificios usando agua gris cuando es posible para limitar el uso de agua potable. En los sistemas de enfriamiento se reduce el agua utilizada o se usa agua de manantial, hay cuerpos de agua que colectan agua superficial y es posible retornarla al subsuelo (Wageningen, 2024).

Existen muchos casos de estudio que son ejemplo de buen manejo del agua en escuelas o campus universitarios, e incluso incorporan aspectos integrales, como son indicadores financieros. Un caso de estudio en la India, muestra que se realizó un análisis del costo - beneficio del reúso de aguas grises en escuelas, en donde se concluye que los beneficios internos y externos del reúso son sustancialmente mayores que los costos internos y externos (Godfrey et al., 2009).

En Latinoamérica hay casos muy interesantes, como el de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, en donde un Reactor de biopelícula de lecho móvil fue estudiado como sistema de tratamiento piloto para tratar las aguas grises del campus universitario; su principal objetivo fue caracterizar la calidad y cantidad de agua gris de diferentes fuentes del campus y monitorear la calidad de su efluente después del tratamiento, el cual incluía el reactor y un sedimentador a escala piloto. Se monitoreo la calidad del agua con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, entre los resultados se tuvieron eficiencias de remoción de DBO₅ y DQO de 59% para *E. coli* del agua de las regaderas y 70% de coliformes en los lavabos y una baja remoción de fosfatos. En términos generales se reportó que la calidad del agua fue apropiada para los estándares brasileños para riego de áreas verdes (Chripim y Nolasco, 2017).

En universidades mexicanas se observan ejemplos donde hay formas variadas de organización, en algunas se requiere más personal y complejidad logística como es el caso de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) la cual tiene diversos programas ambientales que dan servicio y ejemplo a su comunidad que es muy extensa; en 2023 reportaron una población estudiantil de 373,682 alumnos. Su programa de manejo de agua PUMAGUA tiene una visión integral que permite lograr un manejo eficiente del agua que se traduce en beneficios sociales, ambientales y económicos (PUMAGUA, 2013). A su vez, coordinan, apoyan y monitorean

sus PTAR las cuales existen en los campus foráneos y en Ciudad Universitaria en la Ciudad de México. En el campus principal cuentan con 4 PTAR (Entrevista 1) y como ejemplo se reportó una “reducción del 75% en el consumo de agua potable en un edificio del Instituto de Ingeniería, en parte gracias a que cuenta con su planta de tratamiento para reúso del agua en inodoros” (PUMAGUA, 2013). Internamente PUMAGUA depende de la dirección de servicios generales y para aspectos técnicos se apoyan del Instituto de Ingeniería para la revisión técnica de las PTAR.

Otro ejemplo es la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) la cual obtuvo el primer lugar a nivel nacional en el 2023 en el Greenmetric ranking donde se mide la sostenibilidad de las universidades. Este logro puede deberse en gran parte a que la UANL cuenta con la Secretaría de Sustentabilidad y su programa de uso eficiente del agua como iniciativa integral dedicada a promover el uso sustentable del recurso hídrico, no sólo reduciendo el consumo de agua sino también educando. En este programa se reporta (UANL, 2023) el 100% de uso de fuentes alternativas de agua con aparatos de condensación y captación de agua de lluvia y tienen un programa de mantenimiento de la red de agua potable y tratada que involucra aspectos técnicos de mantenimiento como reparaciones y sustitución de las instalaciones hidráulicas minimizando fugas. Con estos ejemplos se puede notar el incremento del tratamiento de aguas en diferentes contextos humanos como las escuelas y universidades que ponen el ejemplo a las futuras generaciones. Las universidades son consideradas agencias importantes que producen y promueven el conocimiento acerca de la sustentabilidad en sus propias funciones y hacia la sociedad (Disterheft et al., 2013). Ubicando el nivel de compromiso que la UASLP tiene o puede tener para ser una universidad sustentable y haciendo alusión a la necesidad irrefutable y diversidad de usos que tiene el agua, es inminente tomar medidas urgentes que consideren las propuestas de programas de manejo integral y apropiado del agua, así como su seguimiento.

3. METODOLOGÍA

El objeto de estudio de esta investigación son las cinco PTAR descritas en la Tabla 1 las cuales se encuentran en diferentes campus de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y de las cuales se realizó una evaluación y propuesta de rehabilitación.

En este trabajo de investigación se combinan métodos cuantitativos y cualitativos con base en las necesidades de cada objetivo específico, el nivel de alcance descriptivo considerando la posibilidad de llegar a una explicación del estado actual de las PTAR y de las estrategias para su puesta en operación donde sea posible. El diseño metodológico considera una secuencia temporal ambispectiva debido a que se combinan retrospectiva y prospectiva por la recolección de datos previos y la recolección de datos e información conforme

van sucediendo. El trabajo tiene soporte en una bitácora de campo en donde se registró el estatus de las PTAR y de la información disponible en el momento del diagnóstico, y las observaciones durante las visitas de campo y las entrevistas. Estas últimas permitieron obtener información de gran utilidad al obtener información detallada más completa.

Se utilizó un enfoque participativo en todos los aspectos de la investigación, involucrando a los actores clave de cada rubro pertinente, de tal manera que se pudieran desbloquear entendimientos valorando el conocimiento empírico y la experiencia, se espera que, bajo este enfoque, sea posible por parte de la UASLP, la generación de estrategias en un futuro, con base en la información.

En concordancia a los objetivos específicos y sus metas o alcances de acción, se desarrollaron metodologías para responder a cada uno de ellos, las cuales se puntualizan en la Figura 10.

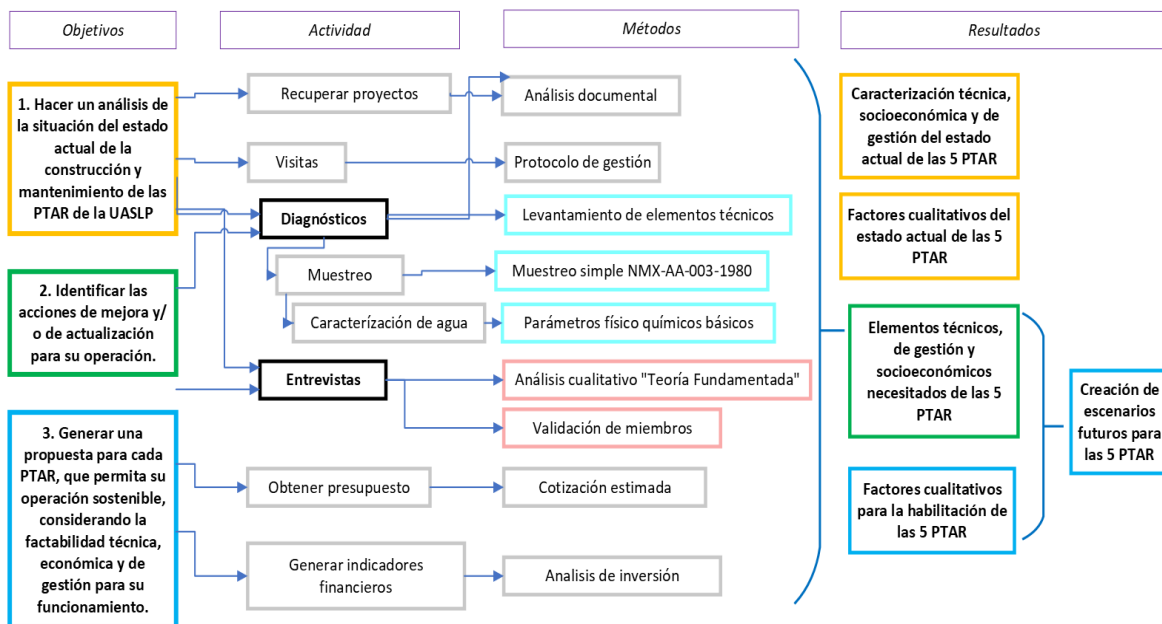


Figura 10: Diagrama representativo de las metodologías para responder a cada uno de los objetivos específicos planteados en esta investigación.

3.1 ANÁLISIS DOCUMENTAL

El análisis documental puede simplificarse en la extracción del significado de un documento y en este estudio se utilizó para recuperar algunas tesis del repositorio institucional de la UASLP, proyectos técnicos de las PTAR, artículos científicos, libros físicos y digitales, artículos de divulgación, estudios hidrológicos, manuales de operación, planos arquitectónicos, un estudio hidrológico cotizaciones empresariales y oficios institucionales

compartidos directamente de los diseñadores, recabados en revistas digitales y buscadores electrónicos. Por ejemplo, se utilizó la biblioteca electrónica de la UASLP, “Google Académico”. Los documentos que resultaron base de esta investigación son: (1) “Proyecto: Planta Tratadora de Aguas Residuales ZUP-UASLP” de empresa Imbrium; (2) Tesis de maestría de hidrosistemas “Diseño y evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en dos campus universitarios”; y (3) “Reporte técnico No. 214129” de la PTAR Zona Media.

Bajo la premisa de que la información tiene un carácter cíclico y de constante uso y mejora, en este trabajo fue muy valioso recuperar y articular la información ya existente generada en torno a las PTAR de la UASLP y lo relacionado al manejo integral del agua de la institución, de forma que se obtenga un producto vinculado y transferible. Aquí, es pertinente la definición de análisis documental siguiente: “es el conjunto de operaciones que permite desentrañar del documento la información en él contenida. El resultado de la metamorfosis que el documento sufre en manos del documentalista culmina cuando la información liberada se difunde y se convierte en fuente efectiva de información. Entonces el mensaje documentado se hace mensaje documental, información actualizada” (López-Yepes et al., 1981). Esta definición nos ayuda a entender el objetivo del uso de esta metodología en el contexto de este trabajo, en donde es necesario analizar y reelaborar de forma sintetizada la información para facilitar su acceso.

3.2 TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron visitas a los campus en donde se encuentran las 5 PTAR para lo cual se utilizó un “Protocolo de comunicación y gestión institucional” (Anexo 1) con el objetivo de lograr visita apropiadamente cada una de las visitas, respetando la formalidad institucional, asegurando obtener la mayor información y de la mejor calidad en la visita y facilitar el flujo de información. Durante las visitas se realizó la toma de muestras de agua, el levantamiento para aportar al llenado del “Diagnóstico” así como “Entrevistas semiestructuradas” a los actores clave; los cuales son personas físicas que se identificó que tuvieron o tienen un vínculo o involucramiento con las PTAR ya sea en el ámbito de diseño, construcción, mantenimiento, administración y/o investigación. Las consideraciones para definir dichos actores clave fueron a partir del resultado del análisis documental, así como a través de las entrevistas semiestructuradas que se detallan en la sección 3.4. Se visitaron los sitios una vez en Zona Media (ZM) y Huasteca Sur (HS), y varias veces en caso de Zona Universitaria Poniente (ZUP), Facultad de Agronomía y Veterinaria (FAV) y Altiplano Oriente (AO). Para realizar estas visitas se contó con el soporte financiero por parte del PMPCA. El detalle de las fechas y “Materiales de campo” de las salidas de campo se presenta en el Anexo 2.

3.3 DIAGNÓSTICOS

La palabra diagnóstico está definida como la determinación del estado actual del objeto, y cuando el objeto es de naturaleza técnica podemos decir “diagnóstico técnico” que consiste en saber medir los parámetros que caracterizan el estado técnico de los elementos, hasta establecer su estado real y determinar su posible estado límite. El diagnóstico emplea métodos, principios e instrumentos de medición para llegar a conclusiones respecto al estado técnico de los sistemas y además pronosticar los recursos necesarios para restablecer la funcionalidad y los requisitos del sistema (Batista, 2006).

En este trabajo, el diagnóstico (Anexo 3), se concibe como un análisis técnico básico que reúne la información necesaria para caracterizar las PTAR con base en los elementos técnicos del estado actual de construcción, operación y mantenimiento. El análisis se realizó considerando el diseño original de las PTAR y lo observado en las visitas de campo. Asimismo, esta información tiene como objetivo aportar a conocer los elementos técnicos y de gestión necesarios para su propuesta de rehabilitación, rediseño, o para proponer la suspensión de la planta.

El diagnóstico (Anexo 2) de las PTAR se realizó aplicando el formato: “Anexo 1- Formato para el levantamiento de información técnica en campo para plantas de tratamiento de aguas residuales” del libro Tratamiento y reúso de agua residual municipal: Metodología para estimar el potencial de reúso en una región y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento” (Morgan et al. 2023). De acuerdo con la información referida, el formato que se auto describe como: “un formato hace un levantamiento de información técnica de las PTAR en campo en donde predominan las características y necesidades de cada caso, el formato está pensado para no especialistas para poder tomar decisiones más objetivas ubicadas en el contexto.

A partir de la información mostrada en el Anexo 1 (Morgan et al. 2023) se consultaron los criterios o elementos que eran posibles de obtener, debido al alcance de este trabajo, así como las limitaciones de la información existente, el acceso de equipo de campo y de laboratorio y el grado académico de perito según el área. También se agregaron al diagnóstico otros elementos considerados importantes en este trabajo de investigación, con el objetivo de obtener más información. Los elementos evaluados de las PTAR incluyen la revisión por inspección visual de su infraestructura civil, instalaciones eléctricas, de instrumentación y control de acuerdo al tipo de tratamiento y aplicando una evaluación descrita en la sección 3.3.2.4.

Para el análisis cuantitativo de los datos, se utilizó el programa Excel para realizar comparaciones con información proporcionada por otros trabajos de investigación, como es el caso de las PTAR biotecnológicas. Se consideraron los factores que tienen una influencia en los diferentes tipos de reactores, considerando principalmente: características físicas y químicas del tipo de agua residual, la concentración de los contaminantes a tratar, la presencia o ausencia de oxígeno, la eficiencia de tratamiento, la confiabilidad del

tratamiento, las condiciones climáticas bajo las que opera, el número de procesos biológicos involucrados en el sistema de tratamiento, las habilidades y experiencia de quien lo opera y el costo relativo en el contexto al lugar y temporalidad para la construcción y operación de diferentes configuraciones posibles del reactor (Rittman & McCarty, 2001).

Otras consideraciones técnicas pueden ser el análisis de los procesos unitarios físicos, químicos y biológicos y las combinaciones requeridas para obtener el grado de remoción de constituyentes, así como el tratamiento requerido para que el agua residual se pueda reusar o disponer en el ambiente (Metcalf y Eddy, 2003).

Hay referencias extensivas del funcionamiento de estos procesos que consideran el tipo, cantidad y calidad de agua a tratar y las características de ubicación.

En todos los apartados del diagnóstico se ha considerado un espacio para registrar comentarios relacionados con aspectos subjetivos; estos comentarios contienen información relevante para entender mejor los aspectos cualitativos asociados al funcionamiento de las PTAR. Debido a que se emplea un enfoque holístico, en este trabajo se incluyen los planos disponibles de cada PTAR y un registro de las fotografías de cada PTAR.

Se realizaron los 5 diagnósticos mediante el análisis documental de los proyectos y el registro de información generada de las visitas físicas; en donde se recolectó una muestra de agua de influente y efluente (cuando fue posible); además, se revisó visualmente el estado de cada PTAR y la congruencia con el diseño original. Finalmente, se detallan la caracterización simple del agua y los elementos del diagnóstico a continuación.

3.3.1 CARACTERIZACIÓN DE AGUA

Se buscó obtener muestras de agua del influente, y cuando fue posible, también del efluente; con el propósito de tener solamente una referencia y para corroborar que satisface las especificaciones de la calidad que se consideró en el diseño original, que en el caso del influente es, en la mayoría de los casos es agua residual municipal (agua negra sin tratar) como se describe en la tabla 3-18 (Anexo 3) “Composición típica de un agua residual doméstica sin tratamiento” (Metcalf y Eddy, 2014). Se tomaron muestras simples y se determinaron algunos parámetros *in situ*.

En dos sitios se obtuvo información del efluente; en la PTAR de tipo humedal construida en el campus Altiplano Oriente (AO) y la PTAR del campus Huasteca Sur (HS). Se compararon los resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) con la normativa correspondiente, para tener una referencia de su calidad. En ambos sitios la normativa que rige a los efluentes existentes es la NOM001-SEMARNAT-2021 que establece los “límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación”. El agua tratada no se reusa en ninguno de los 2

sitios, en el campus Altiplano Oriente en Salinas de Hidalgo se almacena y posteriormente se bombea y descarga en el predio del campus y en el campus Huasteca Sur en Tamazunchale se descarga en un río que desemboca al Río Moctezuma.

El análisis de la calidad de agua es de tipo cuantitativo y se realizan comparaciones bajo las mismas unidades, con las especificaciones proporcionadas por la literatura y la normativa pertinentes.

- **Método de muestreo**

En cada PTAR se tomó una muestra de agua de influente y del efluente donde fue posible, empleando recipientes de 200 mL lavados y enjuagados con agua destilada y con tapa hermética. Se siguió el procedimiento de “muestreo simple” utilizando el protocolo para tomar muestra en descargas libres propuesto en la NMX-AA-003-1980, con el objetivo de obtener muestras de los afluentes y efluentes encontrados.

In situ se analizaron los parámetros fisicoquímicos básicos de pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto con equipo de campo del Laboratorio de Metales Traza de la Facultad de Ciencias Químicas. Las muestras de agua se transportaron en frío y posteriormente se almacenaron a 4°C en el laboratorio hasta su análisis. Los parámetros analizados fueron Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ingeniería. El detalle de estos procesos se describe más adelante y en la Tabla 2.

En el caso del afluente se abrió el registro donde inicia el proceso de tratamiento de las PTAR y otro en el caso del efluente, a la salida de la PTAR, en donde el agua se descarga, una vez que el agua pasó por las diferentes etapas de la planta.

En esta investigación se entiende que un muestreo simple como el llevado a cabo, no tiene representatividad debido a que se requieren obtener por lo menos muestras compuestas con capacidad mínima de 2 litros en diferentes momentos del año, asegurando que en su promedio representan la calidad del agua tanto del afluente como del efluente; considerando que se trata de instituciones educativas con periodos vacacionales y población flotante. Sin embargo, se realiza la caracterización para tener un primer acercamiento, para exponer el tema y para tener un punto referencia; además de que es de utilidad para conocer las prácticas de la comunidad en el proceso de toma de muestras. En la Tabla 2 se presentan los parámetros medidos, así como las metodologías y equipo utilizados.

Tabla 2. Metodologías utilizadas para determinar la calidad del agua

Parámetro	Metodología	Equipo
Potencial de Hidrógeno (pH)	Método potenciométrico	Medidor Portátil de pH, conductividad y temperatura Modelo PC18 marca Conductronic
Temperatura	Sonda de inmersión con sensor de temperatura.	Medidor portátil de pH, conductividad y temperatura Modelo PC18 marca Conductronic.
Oxígeno disuelto	Electrodo selectivo de campo	Equipo portátil. Modelo Ox25.
Sólidos Suspendidos Totales (SST):	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2023)	Mufla, balanza analítica, crisol Gooch
Demanda Química de Oxígeno (DQO):	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno de Reflujo Cerrado (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (2023)	Digestor, kit Hanna instruments
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO ₅) y residuales tratadas - método de prueba	Potenciómetro multiparamétrico portátil HANNA ® HI98194

Otros parámetros. Durante las visitas, se llevó a cabo la revisión por observación, de la presencia de olores, el color y la presencia de grasa; aunque es necesario hacer una caracterización más completa del agua que abarque todos los parámetros establecidos en la NOM001_SEMARNAT_2021 Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación y que considere el protocolo de muestreo más adecuado.

3.3.2 DIAGNÓSTICO

La información obtenida en el diagnóstico (Anexo 2) se analizó de forma cuantitativa y cualitativa. De forma cuantitativa se compararon los datos obtenidos como el tipo de agua a través de referencias de datos

esperables que son recomendados en literatura existente según el tipo de PTAR; también, la información fue contrastada con proyectos y casos de estudio parecidos. Aparecen datos del diagnóstico, que impactan el funcionamiento y seguimiento de las PTAR y que requieren ser analizados de forma cualitativa debido a que impactan en la permanencia de la PTAR o al menos en un horizonte de tiempo breve.

- **Información General.** En el primer apartado “Información General” se recupera información que permita tener claridad respecto a las asignaciones y contacto administrativo, así como datos que ayuden a ubicar a la PTAR en el contexto ambiental; además de que sean de utilidad para futuros estudios ambientales.
- **Descripción básica.** En este apartado se describen datos útiles para entender el proceso de creación y gestión, así como sus necesidades de rediseño y su trayectoria en el tiempo.
- **Datos de operación según diseño.** En esta tercera sección se recaban datos de diseño que varían de acuerdo al tipo de PTAR y que consideran las características promedio del agua tanto del afluente como del efluente.
- **Funcionamiento de la PTAR.** En esta sección se analizan los datos técnicos del diseño original; además de que, se incluyen detalles de sus procesos e infraestructura y observaciones que documentan la conservación de la PTAR en su estado actual, basadas en inspección visual asignando una escala que utiliza los niveles o criterios: excelente, bueno, regular, malo, terrible e inexistente. A continuación, se definen los niveles o criterios empleados:
 - ✓ “Excelente”. La infraestructura y procesos que visualmente se encuentran como originalmente y que tienen una calificación máxima 5 de 5.
 - ✓ “Bueno”. La infraestructura y procesos que visualmente se encuentran cercanos a su estado original con una medida de 4 de 5.
 - ✓ “Regular”. La infraestructura y procesos que visualmente se encuentran en un estado intermedio respecto a su original y aun se puede conservar con una medida de 3 de 5.
 - ✓ “Malo” a la infraestructura y procesos que visualmente se observan en un mal estado respecto a su original y que requieren reemplazo o reparación, con una medida de 2 de 5.
 - ✓ “Terrible”. La infraestructura y procesos que visualmente que están en un estado muy malo respecto a su estado original en donde se requiere un reemplazo por completo, con una medida 1 de 5.
 - ✓ “Inexistente”. La infraestructura y procesos que visualmente no existen, ya sea por robo o pérdida, con una medida de 0 de 5.

Es importante mencionar que estas definiciones son de utilidad como referencia para este trabajo; en caso de requerir un análisis técnico exacto será necesario la evaluación por parte de un perito evaluador.

- **Otros aspectos técnicos.** Aquí se consideran aspectos económicos, de operación y de seguimiento; así como cualquier otra información técnica obtenida.
- **Impacto Social de la PTAR.** El objetivo de esta sección es incluir la dimensión social, que también influye en la permanencia de la Planta.

3.4 ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADAS

Las entrevistas semiestructuradas forman parte de los instrumentos metodológicos y se utilizaron dos tipos; para actores clave (Anexo 4) y para miembros de la comunidad universitaria (Anexo 4.2). La estructura de la entrevista que se presenta en el Anexo 4 tiene como objetivo obtener información respecto a la PTAR, así como de la persona entrevistada y su percepción de la problemática, considerando el contexto. El tiempo estimado para realizar esta entrevista es de 20 a 40 minutos. La entrevista que se muestra en el Anexo 4.2 tiene como objetivo obtener información relacionada con la PTAR desde la perspectiva del alumnado o personas indirectamente relacionadas con el tratamiento del agua. El tiempo estimado para realizar esta entrevista es de 10 a 15 minutos.

Los actores clave que se identificaron son tomadores de decisión, diseñadores y expertos de PTAR, involucrados en gestión, administración y con relación de causa, dentro y fuera de la UASLP, como diseñadores de algunas PTAR que pertenecen a empresas privadas.

La entrevista semiestructurada es definida como una herramienta para la obtención de datos o información del sujeto de estudio mediante la interacción oral con el investigador. Permite el acceso a los aspectos cognitivos que presenta una persona o a su percepción de factores sociales o personales que condicionan una determinada realidad. La entrevista permite caracterizar con mayor flexibilidad pues inicia con una pregunta que se puede adaptar a las respuestas en el marco de una situación social que se cuestiona con una finalidad definida en los entrevistados (Troncoso y Amaya, 2012).

Se utilizó el tipo de entrevista semiestructurada semiestandarizada, la cual se caracteriza por ser un método para reconstruir las teorías subjetivas, referidas al hecho de que el entrevistado tiene un caudal complejo de conocimientos sobre el asunto en estudio (Flick, 2012). En este trabajo se considera el estudio de la percepción de los actores clave que corresponde al campo de estudio subjetivo analizado bajo la metodología cualitativa.

La entrevista en el Anexo 4 cuenta con 16 preguntas abiertas y 10 preguntas cerradas con espacio para dar más información si el informante lo decide; además, cuenta preguntas adicionales y específicas, relacionadas con perfil del informante. A partir de las preguntas cerradas se obtiene un análisis cuantitativo y con la información asociada a las preguntas abiertas se realizó el análisis cualitativo descrito en la sección 3.4.2.

Algunas de las entrevistas fueron solicitadas previamente a través de un oficio u correo, otras fueron realizadas durante las visitas. Se llevó a cabo un protocolo de entrevistas en donde se detallan verbalmente las características de la entrevista al participante, manteniendo un carácter de neutralidad. Después de la entrevista se revisó la transcripción y se envió al correo del participante en donde además se adjunta el Consentimiento Informado (Anexo 5) definido para esta investigación, con la finalidad de respetar la ley de datos personales y asegurar el uso correcto de la información. Además, al enviar dicha entrevista se solicita la revisión de la información bajo el método de validación de miembros o “*member check*” definido como una técnica para ayudar al investigador a mejorar la precisión, credibilidad, validez y transferibilidad en un estudio (Creswell, 1994), se verifica la autenticidad de lo que el informante dijo o quiso decir en la entrevista de forma que se obtiene una validación de la entrevista.

Para definir a los entrevistados o actores clave se siguió la metodología de muestreo que se describe a continuación.

3.4.1 MUESTREO “BOLA DE NIEVE”

Para las entrevistas se seleccionaron los participantes con el método de muestreo denominado “bola de nieve”, el cual es un método popular de la investigación cualitativa con características de trabajo en redes y referencias donde se comienza con un número pequeño de contactos iniciales (semillas) caben en el criterio del investigador y son invitados a participar en la investigación; estos participantes recomiendan a otros contactos que caben en el criterio y que potencialmente están dispuestos a participar y así sucesivamente (Parker et al., 2019). De esta manera se definieron los participantes en las entrevistas, por juicio propio y solicitar a dichos participantes referencias de a quién entrevistar- También se utilizar el muestreo discrecional en el que se seleccionan a las personas con base en su conocimiento, juicio y experiencia. Por el tipo de instrumento empleado, no se requiere un número mínimo de muestras.

3.4.2 ANÁLISIS CUALITATIVO

En este trabajo se define como información cualitativa, aquella que no puede ser comparada directamente con datos de la literatura, es la información obtenida de las entrevistas, así como de los diagnósticos y pláticas informales; el investigador no descubre, construye el conocimiento en conjunto con los sujetos de estudio (Balcázar et al., 2013). La información cualitativa es la información que ofrecen los actores clave que se entrevistaron y es información que complementa, corrobora o cuestiona la información cuantitativa obtenida. Para el análisis de la información cualitativa en este estudio se utilizó la Teoría Fundamentada que explora un fenómeno, a medida que se recopilan datos se van realizando categorías y metacategorías que explicarían las razones del comportamiento humano o de las situaciones a estudiar, abriendo la posibilidad de profundizar en aspectos que pueden no haber sido considerados al inicio del estudio (Vivar et al., 2010).

Se realizó primero una transcripción de la entrevista semiestructurada y se realizó una codificación abierta en donde se extraen palabras y frases y se clasifican de acuerdo con las categorías descritas en la Figura 11 y que son Económico, Técnico y Motivantes; los detalles de esta codificación se aprecian en el Anexo 6. Esta información se acomoda en una matriz utilizando el programa Excel y después se realiza la codificación axial con las categorías indicadas. Una vez definidas las categorías se realiza un conteo, comparación y contrastes para obtener figuras representativas. Esta técnica es elegida para poder encontrar los factores que son la tendencia de “por qué no operan las PTAR” y al mismo tiempo podrían ser la clave para que si operen.

Para los resultados de las percepciones de los entrevistados se utilizó el programa “ATLAS.ti” el cual es un software de análisis cualitativo asistido por computadora que sirve como herramienta para apoyar en ubicar, codificar y anotar información, ofrece funciones de visualización. Mediante este programa se obtuvieron representaciones visuales con las frecuencias de las categorías y nubes de palabras que representan las más mencionadas en los casos del estado actual y en los casos de los escenarios futuros; además se describieron las representaciones con textos argumentativos y con citas representativas de los hallazgos. Al incluir este tipo de análisis se puede apreciar que el funcionamiento de las PTAR es multifactorial lo que se refiere que hay varios factores que influyen en su operación como lo son factores de gestión como la vinculación, los factores técnicos como el diseño, factores económicos como los costos de mantenimiento.

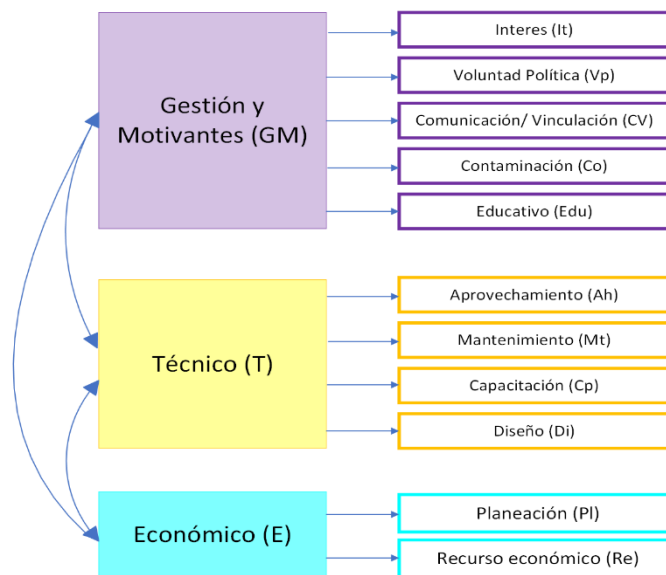


Figura 11. Codificación abierta y axial del análisis cualitativo.

3.5 PRESUPUESTO

El aspecto económico incluido en los objetivos es importante para poder establecer una propuesta de puesta en marcha, cuando es el caso, para poder comparar los costos de inversión inicial, de rehabilitación y de mantenimiento y así poder entregar información completa a los tomadores de decisiones. En algunas de las PTAR analizadas no se requiere obtener una cotización por requerir elementos sin costo económico considerable, pero en otras es necesario solicitar cotizaciones formales a diferentes empresas especializadas para tener un costo de referencia de la reactivación de las PTAR. Estas cotizaciones deben estar asesoradas por los diseñadores y expertos de las PTAR. Se reconoce que éstas son cotizaciones de referencia y que deben actualizarse y licitarse al momento que se decida reactivar las PTAR, así como planear obtener o solicitar el recurso. Para este apartado también se consideran las entradas de agua recibida cuando pueden ser cuantificadas, como es el caso en algunos sitios a través de los recibos de agua, en donde se indica cantidad de agua consumida en metros cúbicos y el pago realizado; este valor se promedia de forma anual para poder hacer una comparación con los costos de inversión inicial y anual.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información generada en esta sección se extrajo del análisis de la información anteriormente obtenida. La información relevante de las PTAR se presenta en los Anexos 2 y 4. Esta información trata de exponer con claridad el estado actual en el que se encuentran las plantas de tratamiento de agua residual de la UASLP, así como proponer escenarios futuros, de manera que la información procesada sea de utilidad para que los responsables puedan tomar decisiones respecto a la operación, el mantenimiento, la rehabilitación o la suspensión de ellas.

Para este trabajo la caracterización pretende responder a las preguntas: ¿qué?, ¿cuándo?, ¿quién?, y ¿cuánto?, considerando tres aspectos: características técnicas, de gestión y socioeconómicas. Para tratar de explicar con mayor profundidad, se realizó un análisis cualitativo que busca responder el cómo y porqué del estado actual de las PTAR, así como identificar los factores o elementos necesarios para los escenarios futuros.

PTAR Zona Universitaria Poniente

4.1 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR ZONA UNIVERSITARIA PONIENTE (ZUP)

La planta de tratamiento de aguas residuales de Zona Universitaria Poniente (PTAR ZUP) se encuentra en proceso de construcción, nunca ha operado y su descripción corresponde a las etapas construidas y la comparación del diseño original, los trabajos encontrados, la información generada y la literatura pertinente.

En la Tabla 3 se presenta información general de la PTAR ZUP que se diseñó en aprovechamiento de la ampliación de la biblioteca Biomédica en el 2013 considerando su ubicación, la cual es la parte más baja de la Zona Universitaria Poniente (ZUP), con la idea de ahorrar en gastos de energía por uso de un sistema de bombeo.

Para caracterizar y analizar la PTAR es importante explicar el manejo actual del agua de dicha zona y el contexto del lugar; esta información es relevante para considerar la factibilidad de la puesta en marcha de la PTAR.

La ZUP se encuentra en una zona urbanizada, en uno de los nodos importantes de la ciudad capital de San Luis Potosí donde se conecta al poniente con el resto de la ciudad, tiene una gran afluencia de personas ya que es un espacio donde convergen 11 entidades académicas, 8 entidades de gestión y 4 cafeterías con un cálculo aproximado de 13,664 alumnos y profesores (UASLP, 2022) sin considerar al personal administrativo y trabajadores. La ZUP tiene 13 hectáreas aproximadamente, se llevan a cabo actividades desde las 6:00 a las 21:00 horas, las cuales varían durante el año, se tienen 160 días hábiles oficiales de clases que son los de mayor actividad y 45 semanas al año de actividad de investigación y administrativa.

Dentro de esta área se encuentran aulas, bibliotecas, talleres, estacionamientos, canchas deportivas, cafeterías, laboratorios, plantas piloto, facultades, centros de investigación, institutos, sanitarios, auditorios, áreas abiertas y áreas verdes que pertenecen a la UASLP y es relevante mencionar que la ZUP colinda con el Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto”, que es el hospital público más grande del Estado, este dato es relevante cuando se piensa en los impactos de los posibles riesgos.

Tabla 3. Información general de PTAR ZUP

A. Ubicación:	Manuel Nava 200, Col. Universitaria, San Luis Potosí, SLP
B. Ubicación geográfica (Longitud, Latitud)	22°08'44"N, 101°00'54"W
C. Procedencia del agua de primer uso:	1 pozo
D Usos del agua de primer uso:	Sanitarios, laboratorios, riego de áreas verdes
E Destino de agua residual:	Drenaje municipal

4.1.1 CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR ZUP

El agua de primer uso que se utiliza en ZUP proviene de un pozo (Figura 11a) que maneja el organismo operador INTERAPAS. Rueda (2004) reportó que 3 m³/d del agua del pozo, se destinan a ZUP y que además se tienen otras tomas de agua entubada en el campus. En este estudio los responsables del manejo del agua reportan obtener toda el agua para ZUP del pozo y se observa que se llena diariamente una cisterna de 135 m³ aprox. de donde se distribuye el agua a las cisternas de las entidades de la ZUP que varían en capacidad de entre 1.2 m³, 10 m³ y 25 m³.

Esta agua de primer uso se utiliza para el riego de 28,620.3 m² de áreas verdes representando 14.3 m³/d (Rueda, 2004) con vegetación mayormente no endémica. Se tienen contabilizadas 132 especies vegetales de los estratos arbustivos y arbóreos en ZUP (PUB, 2021) en donde solo el 33% del arbolado urbano es de especie nativa (Buendía et. al, 2022). El agua de primer uso se utiliza también para los sanitarios, laboratorios, talleres y 17 regaderas del gimnasio (Figura 11b), el agua residual obtenida es manejada a través del drenaje municipal; en la Figura 11c se observa el drenaje que puede ser vinculado a la PTAR. El riego es relevante ya que el efluente de la PTAR está proyectado para riego y los usos del agua en la ZUP impactan en la calidad del agua que llega al afluente de la PTAR.



Figura 11. a) Pozo de agua subterránea de parte alta Sureste de ZUP, b) Regaderas de ZUP en gimnasio, Facultad del Hábitat c) Ubicación de PTAR y tubería vinculada (López, 2024)

La proyección de esta PTAR fue planteada por primera vez en 2010, en la tesis de maestría de Alain Ricardo Picos Benítez dirigida por el M.I. Jorge Alberto Rodríguez Robledo y titulada “Estudio para la reducción del consumo de agua en la zona universitaria poniente de la UASLP mediante sustitución de muebles sanitarios, captación de agua de lluvia, cambio de jardinería y reutilización de agua tratada”. En el documento se propusieron las siguientes alternativas para fomentar el ahorro de agua dentro de la ZUP: (1) Cambio de muebles actuales por muebles de bajo consumo, (2) Ahorro de agua debido al cambio de jardinería actual por xerojardinería, (3) Captación y utilización de agua de lluvia, y, (4) Tratamiento y reutilización del agua residual.

En el año 2013 la empresa Imbrium realizó el proyecto técnico de la PTAR ZUP bajo parámetros técnicos generales estimados debido a que no hicieron determinaciones de volúmenes y de calidad del agua residual a tratar, de acuerdo con la literatura y las características de diseño que se muestran en la Tabla 4 de forma que así se construyó la obra civil que se encuentra actualmente. En este diseño se consideró un tratamiento biológico anaerobio, seguido de un tratamiento aerobio de tipo Reactor Aerobio de Flujo Ascendente (RAFA) detallado más adelante.

En mayo de 2024, la estudiante de Ingeniería Ambiental (Facultad de Ingeniería UASLP) Jennifer Gabriela López Torres desarrolló el proyecto integrador: "Evaluación de la capacidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Zona Universitaria Poniente de la UASLP" en el cual se caracterizó la calidad del agua residual en el drenaje que potencialmente puede ser tratado en la PTAR (Tabla 5).

En la conformación de la PTAR, el tanque homogenizador tiene el objetivo de regular el flujo que pasaría a los siguientes tanques, su tiempo de retención hidráulico (TRH) (Tabla 4) no coincide con lo que requiere este caso, ya que es de 6 horas y se requiere un mínimo de 10 horas para sobrellevar los flujos de afluente que son fluctuantes por las dinámicas de la UASLP. López (2024) también observa este parámetro y recalcula el flujo para que se obtenga el TRH necesario; obtiene un flujo de 241.92 m³/d el cual aseguraría que se cumpla con las condiciones para tratar un agua residual sanitaria mediante las unidades de tratamiento ya existentes. Cabe mencionar que en la propuesta de 2010 se consideró un TRH de 10.1 h en el reactor RAFA (UASB) que coincide con lo calculado por López, (2024).

En el diseño original los lodos aerobios proyectados son digeridos en reactor anaerobio y al salir en forma líquida pueden ser dispuestos en los jardines funcionando como fertilizante (25 kg) (Tabla 4), la concentración mínima de los lodos anaerobios será de 22,000 mgSST/L en cumplimiento con la NOM-004-SEMARNAT-2002. El biogás, es muy poco (139 m³/d) y no debe de utilizarse, se debe expulsar y quemar adecuadamente a flama abierta en un sitio alto alejado de la población por una tubería por el edificio más alto y cercano para que sea seguro, se proyectó en el diseño original en el último piso del edificio colindante que corresponde a la Facultad de Enfermería.

Tabla 4. Características Técnicas de la PTAR ZUP relevantes

A. Tipo	Biotecnológica
B. Año de inicio de la construcción	2012
C. Año de operación / tiempo de operación	No operó/ NA la construcción no está concluida
D. Área de PTAR (m ²)	115
E. Número y tipo de tanques o etapas del diseño	Se consideraron en el diseño una PTAR de 6 etapas: pretratamiento, homogeneización, proceso anaerobio, proceso aerobio, sedimentación y cloración

F. ¿Cómo planeaba llegar el agua residual (AR) a la PTAR?	Por gravedad
G. Población a la que se planeaba dar servicio (#)	11350 (en 2013) 13664 (2022)
H. Tiempo de retención hidráulico (h) planeado	6.04 en el homogenizador, 8.07 en el reactor anaerobio, 9.9 en el reactor aerobio, 2.9 en el sedimentador
I. Generación de desecho (lodos) planeado	Si, 23-27 kg/d de biomasa pueden ser retirados mensualmente y dispuestos en jardines.
J. Consumo energético (kWh) planeado	0.73 (2 bombas)

En la Tabla 5 se pueden apreciar las características fisicoquímicas del influente que fueron recuperadas del diseño original de 2013 del cual se basaron para la construcción, además se incluyen los resultados de la caracterización de calidad de agua de Picos (2010) así como de López (2024). Ésta última es la más completa ya que se evaluaron en total 13 parámetros mediante muestreo puntual y muestreo compuesto de 3 horas (8:00, 10:00 y 12:00 horas) y 3 días diferentes, lunes, miércoles y viernes. La toma de muestras se realizó en abril 2024, es decir, en una temporada de afluencia máxima, además se realizaron aforos del caudal y dicha caracterización se hizo del punto del drenaje, que sería el que se conectaría potencialmente a la PTAR en cuestión.

Picos (2010) observó que en la mayoría de los parámetros hay una correspondencia entre el diseño, las evaluaciones y lo encontrado en la literatura, con excepción del caudal del afluente el cual sería el agua residual a tratar, es decir, los valores reportados y los de diseño son cercanos; López (2024) midió un caudal mucho menor al reportado por Picos (2010) ya de acuerdo con el documento éste fue calculado teóricamente utilizando el número de personas usuarias de la ZUP en el momento de su investigación. Sin embargo, López (2024) realizó el cálculo en el sitio de manera más confiable al determinar el caudal. Lo anterior hace énfasis en la diferencia de un valor teórico y uno calculado; es decir, el valor teórico se estima considerando toda la población de ZUP y el valor calculado en el punto de drenaje que se podría conectar a la PTAR es más fidedigno porque representa la cantidad y calidad a recibir y haciendo notar que la distribución del drenaje en ZUP está dividido, no está conectado todo hacia la PTAR.

En cuanto a la calidad del agua, la DBO₅ determinada en 2024 tuvo un valor significativamente menor (69.0 mg/L) contrastando con el valor de 350.8 mg/L (Picos, 2010) y 750.0 mg/L considerado para el diseño por Imbrium (2013). La DBO₅ mide el oxígeno disuelto utilizado por microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica y es un parámetro importante en la estimación de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, y así, permite dimensionar la PTAR (Metcalf, 2014). Otro criterio importante para el diseño es la relación entre la DBO₅ y la DQO. La relación DBO₅/DQO fue de 0.093 en mediciones del 2024 y 0.75 en las mediciones del 2010, mientras que la PTAR se diseñó para una

relación de 0.49 considerando el diseño teórico del 2013. Los valores de 2010 y 2013 se encuentran dentro de lo esperado para un agua residual municipal sin tratar que es entre 0.3 a 0.8 y cuando la tasa es menor de 0.3 el agua residual puede contener componentes tóxicos o podría necesitar que se agreguen microorganismos a través de un inóculo, los cuales deberán de aclimatarse y estabilizarse para lograr la degradación de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 2014). La presencia de componentes tóxicos en el afluente de ZUP es muy posible debido a que existe una cantidad considerable de laboratorios de diferentes tipos y pertenecientes a diferentes entidades de los que no se puede garantizar que lleven buenas prácticas de manejo de residuos peligrosos (RP) y de residuos de manejo especial; aun cuando se reporta oficialmente que en ZUP se trata el 75% de los RP en 12 entidades según Reporte Greenmetrics 2021. Este es un punto para considerar cuando se planea tener una PTAR que funcione, en donde se debe prever la presencia de residuos peligrosos y que éstos no afecten el tratamiento, también se pueden programar revisiones periódicas de la calidad del agua del afluente.

El Nitrógeno Total Kjeldahl que se conforma por el nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal, López (2024) menciona que es demasiado alto, pues no corresponde a ningún valor de un centro de población promedio, pero esto es entendible por el uso de sanitarios y comedores de la ZUP, un valor de este tipo de 215 mg/L contrastado con el evaluado en 2010 de 62.75 mg/L es superior, pero cae dentro de lo esperado en un agua residual típica donde el nitrógeno total es de 35 (Metcalf & Eddy, 2014). Dependiendo del tipo de compuestos de nitrógeno presentes, la remoción de nitrógeno puede requerir procesos de amonificación, nitrificación y desnitrificación de forma tal, que se puedan reducir a compuestos como amonio, urea, aminas, aminoácidos y proteínas (Gallert & Winter, 2005).

Otro dato a discutir es el flujo del efluente que se estima en 75.2 (m³/d), este sería suficiente para llenar la cisterna principal de ZUP en 2 días (Tabla 5); este volumen permitirá cubrir el riego estimado de 14.3 m³/d, pero no el de todos los servicios de la ZUP, el cual se estima en 561.6 m³/d (Rueda, 2004). Esta información coincide con el proyecto original que aspiraba a regar la zona con agua tratada. En cuanto al riego, sería interesante volver a evaluar el área de la vegetación de la ZUP que ha cambiado del 2004 al 2024, principalmente por la construcción de edificios, banquetas y pasillos, así como cambios en el tipo de vegetación, debido a que en un manejo integral del agua se debe priorizar disminuir primero la demanda de agua de primer uso; así como disminuir el costo energético del bombeo.

No existe un efluente, debido a que nunca ha operado la PTAR, los parámetros en el diseño original para el efluente fueron proyectados para tener una calidad de agua para riego, cumpliendo con la norma NOM-001-ECOL-1997, pero en 2024 se podrían ajustar a la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, para su posterior reutilización. En la Tabla 5, se incluyen estos parámetros para su comparación

Tabla 5. Análisis Físicoquímicos de PTAR ZUP

	Parámetro	Diseño	Evaluado	Literatura y Normativa
I N F L U E N T E	A. Cantidad (m ³ /d) del influente a tratar	397 (Imbrium, 2013)	373.03 (Picos, 2010), <u>2.298 (López, 2024)</u>	Agua residual típica para flujo fuerza mediana 380L/cápita día (Metcalf & Eddy, 2014)
	B. DQO (mg/L)	1000 (Imbrium, 2013)	715.29 (Picos, 2010), 737 (López, 2024)	508
	C. SST (mg/L)	No considerado	11 (López, 2024) 270.83 (Picos, 2010)	195
	D. DBO ₅ (mg/L)	750 (Imbrium, 2013)	350.83 (Picos, 2010) <u>69 (López, 2024)</u>	12
	E. Nitrógeno total (mg/L)	No considerado	62.75 (Picos, 2010), <u>215 (López, 2024)</u>	35
	F. Fósforo total (mg/L)	No considerado	9.75 (Picos, 2010) 17 (López, 2024)	5.6
	G. Grasas y aceites (mg/L)	100	60.24 (Picos, 2010), 43.06 (López, 2024)	76
	H. Coliformes fecales (NMP/100mL)	10 ⁷ -10 ⁸	99.02 (Picos, 2010)	10 ⁵ -10 ⁸
	I. pH	6 a 11 (Imbrium, 2013)	8.24 (López, 2024)	6 a 9
	J. Temp (°C)	25	22.35 (López, 2024)	35
E F L U E N T E	K. Cantidad (m ³ /d) del efluente tratado	75.2 (Imbrium, 2013)	No hay efluente	
	L. Calidad del efluente a tratar	Diseñado para riego de áreas verdes	No hay efluente	Riego de áreas verdes (NOM001, 2021) Reuso con contacto directo (NOM003, 1997)
	M. DQO (mg/L)	60 (NOM001, 2021)	No hay efluente	60 (NOM001, 2021)
	N. SST (mg/L)	reducción del 70 al 80% (diseño, 2013),	No hay efluente	30 (NOM001, 2021) 20 (NOM003, 1997)
	O. DBO ₅ (mg/L)	reducción al 80%	No hay efluente	20 (NOM003, 1997)

En las Figuras 12, 13 y 14 se puede apreciar que en obra civil se han construido 4 de las 6 etapas consideradas en el diseño original; el tanque homogeneizador, el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), el reactor aerobio y el sedimentador; faltando, la infraestructura de pretratamiento y el clorador de acuerdo con el diseño;

además, no se consideró el espacio para el almacenamiento del agua tratada por lo que no existe ninguna infraestructura al respecto.

El tratamiento principal estaría sustentado en el reactor RAFA o también llamado UASB por sus siglas en inglés (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor). Este reactor biológico utiliza microorganismos que trabajan en ausencia de oxígeno (anaerobios) para degradar la materia orgánica a través de un manto de lodos que fluye a baja velocidad ascensional. La propuesta de diseño del UASB es adecuada en cuanto a que remueven la mayor parte de la materia orgánica ahorrando energía, también es favorable porque estos reactores resisten bien cargas orgánicas bajas y altas, así como periodos de inactividad, además en el diseño original se propone un selector de bacterias que se entiende ayuda a establecer las condiciones microbiológicas para el “arranque” de la planta para su etapa de aclimatación, también, se menciona que es un mecanismo que ayuda a hacer ajustes cuando hay cambios pequeñas variaciones de temperatura en las estaciones del año al controlar las condiciones de operación del selector que seleccionara las bacterias que sedimentaran bien y que crearan floculos. Estos son casos que pueden suceder en la UASLP ya que puede cambiar la cantidad de agua residual en los periodos vacacionales que hay menos personas y puede haber cambios de temperatura tanto por el clima como por agua que puede llegar caliente o con residuos peligrosos de los laboratorios. Otra ventaja que tiene la PTAR es que, al estar por debajo del nivel del piso y en la parte más baja del campus, como así se encuentra la construcción, se disminuyen los costos energéticos por bombeo.

Para la operación del reactor se debe considerar el control de la temperatura, la presencia de tóxicos y metales pesados en el agua a tratar, caso que puede ser el de ZUP ya que en las facultades existen laboratorios, evento que puede ser prevenido analizando el agua y tomando medidas correctivas en el tanque homogeneizador que es donde se mezcla el agua residual previo a pasar a los siguientes procesos; a la par de la gestión en las entidades académicas para el adecuado manejo de los residuos de los laboratorios.

El diseño original es favorable en cuanto a que los tanques están bajo tierra, de manera que no ocupan espacio y los procesos ocurren en tanques cerrados de forma que no debe haber olores si la PTAR está trabajando apropiadamente. Sin embargo, se deben tener cuidados especiales ante los posibles problemas de las PTAR biotecnológicas como la formación de espumas y aumento del lecho de lodos (foaming y bulking) que pueden provocar derrames. Lo anterior debido a la ubicación de la PTAR que se encuentra en un espacio con mucha afluencia de personas y podría ser un riesgo biológico, físico y ambiental; esto se puede prevenir revisando los parámetros a través de constantes análisis cualitativos y cuantitativos de agua de todas las etapas del proceso.

En la inspección física se observó agua acumulada en los tanques 1, 2 y 4 (Figura 12), probablemente por alguna infiltración de la lluvia en la parte superior de estos tanques, ya que se observan algunas grietas pequeñas en la superficie de la construcción donde entra la luz, además del agua, se observa con claridad

material de construcción y basura común. No existe ninguna tubería de conexión entre los tanques y tampoco con el drenaje.

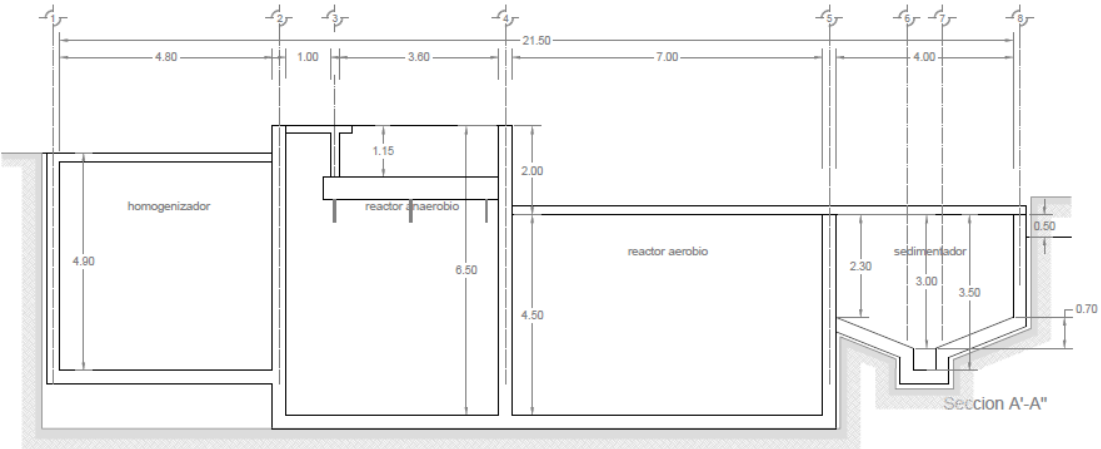


Figura 12. Plano arquitectónico de PTAR ZUP (Imbrium, 2013)



Figura 13. Vista exterior actual PTAR ZUP



Figura 14. Vista interior actual PTAR ZUP

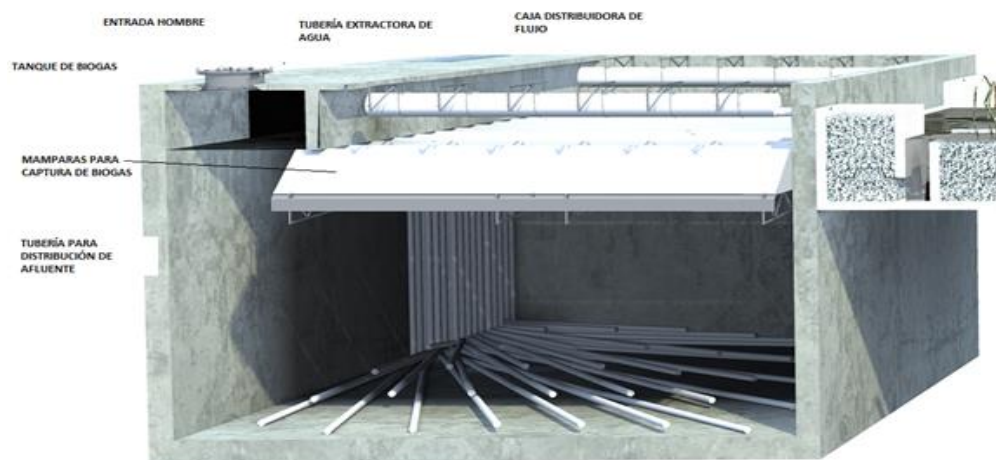


Figura 15. Diseño de reactor ANACONC™ UASB. Tanque 2. Tomada de Imbrium

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la evaluación del estado de conservación actual que fueron obtenidos considerando los resultados del análisis de la información recabada de las metodologías empleadas y juicios de valor que son resultado de un análisis cualitativo. Los criterios o los aspectos para evaluar se describieron en la Metodología en la sección 3. El análisis indica que para la PTAR ZUP, el avance de la obra proyectada es de 30% debido principalmente a que solo se encuentran construidas 4 de 6 etapas diseñadas y estas 4 etapas se encuentran sin terminar, en obra negra.

En esta parte de la evaluación, se resalta que es conveniente realizar un peritaje para evaluar el estado de conservación de las instalaciones civiles por parte un experto certificado.

Tabla 6. Funcionamiento de la PTAR ZUP

Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)		
Proceso o instalación	Estado de conservación	Comentarios
Pretratamiento: 2 cribas	Inexistente (0)	No se observan en la obra negra las 2 cribas, están faltando.
Tratamiento primario: Homogenizador	Bueno (4)	En estado de obra negra se observa el estado adecuado.
Tratamiento secundario: 1 reactor anaerobio y 1 reactor aerobio	Bueno (4)	En estado de obra negra se observa el estado adecuado.

Tratamiento avanzado: Sedimentador y clorador	Regular (3) e Inexistente (0)	En estado de obra negra del sedimentador se observa que tiene algunas formaciones de estalactitas. No se cuenta con obra negra de clorador.
Instalaciones civiles	Regular (3)	La obra negra está bien conservada, algunas paredes de los tanques pueden requerir reforzamiento.
Instalaciones mecánicas y de tubería	Inexistente (0)	No cuenta con ello ya que está en obra negra
Instalaciones eléctricas	Inexistente (0)	No cuenta con ello ya que está en obra negra
Instalaciones de instrumentos y de control	Inexistente (0)	No cuenta con ello ya que está en obra negra

4.1.2 CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y DE GESTIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR ZUP

En la Tabla 7 se puede comentar que en cuanto al estado socioeconómico actual no se tienen muchos datos relevantes por ser una PTAR en obra negra y por nunca haber funcionado. El proyecto lo solicitó la “Comisión de construcción” conformada por profesores, directores y jefes de entidades administrativas; dicha comisión buscó aprovechar el recurso federal de la remodelación de la biblioteca pensando en la acentuación de la crisis hídrica, con miras que en el futuro se pudiera gestionar un recurso para los pasos siguientes necesitados de la PTAR, se puede reconocer la inversión inicial que representó en su momento (\$1,150,000 MXN) y que actualmente es un inmueble pasivo no inventariado que pertenece al patrimonio de la UASLP.

Este inmueble no figura en ninguna entrega recepción y al no estar en el espacio de ninguna entidad pasa a ser un área común la cual es responsabilidad de la Secretaría Administrativa, quienes han colaborado en este proyecto de forma participativa y buscan conocer los escenarios futuros posibles, en particular que valoren la inversión realizada y las ventajas económicas de poner en marcha la PTAR; también se conoce del interés en colaborar de profesores de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Enfermería y Nutrición tanto en proyectos de investigación, gestión de recursos, mantenimiento y vigilancia intelectual.

Actualmente, en la ZUP no se han presentado ha tenido multas, ni penalizaciones potenciales, tampoco existe un costo económico significativo aparente por el agua de pozo que suministra a la zona universitaria, por servicio de entubamiento y servicio de drenaje. Sin embargo, este último año se comenzó a percibir un desabasto del suministro proveniente del pozo con reportes de tandeo de agua y en septiembre 2024 dicho desabasto de agua en ZUP conllevó a la compra de pipas de agua en las Facultades de Ciencias Químicas y Facultad de Ingeniería, haciendo notar que la problemática en la ciudad comienza a afectar a la ZUP. En el presente, los

intereses que se identifican se asocian directamente con la previsión de un ahorro económico por pago de agua, así como la generación de trabajos de investigación y la educación ambiental.

En la PTAR ZUP se observa una potencial pérdida de inversión, la cual estaba pronosticada que funcionará 15 años, hasta la fecha, la PTAR ha sido abandonada en los últimos 11 años. La puesta en operación de la PTAR podría contribuir al aprovechamiento sostenible del agua y el ahorro futuro en su costo como parte de las estrategias de un manejo integral del agua, cuestiones que se discuten en la sección 4.2.

Por no haber estado en funcionamiento no existen bitácoras de operación o personal operador, pero existe personal de mantenimiento dispuesto a ser capacitado para dichos fines, de acuerdo a las encuestas realizadas durante esta investigación.

Tabla 7. Características socioeconómicas y de gestión de la PTAR ZUP relevantes del estado actual

A. Inversión anual (\$)	\$125,000 MNX estimado
B. Inversión inicial (\$)	Desconocida, formó parte de presupuesto para remodelación de biblioteca biomédica. Estimado en \$1,150,000 MNX

4.1.3 FACTORES CUALITATIVOS DEL ESTADO ACTUAL DE PTAR ZUP

El análisis cualitativo busca responder al cómo y porqué del estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR ZUP), así como identificar los factores o elementos que ocasionaron, en este caso, que la construcción esté inconclusa. Un análisis de los factores que inciden en su estado actual se muestra en la Figura 15.

En la Figura 8 se observan las frecuencias de códigos que representan el porqué del estado actual de la PTAR ZUP con base en las entrevistas a los actores clave. Se identificaron 3 elementos relevantes, tal vez porque al estar la PTAR en obra negra poco se puede comentar e inclusive muy pocas personas conocen de su existencia.

En las encuestas se encontró que uno de los factores importantes ha sido el recurso económico, el cual ha sido una limitante para poder equipar la PTAR de acuerdo con el diseño del proyecto original. Este elemento se correlaciona con la cronología de la PTAR donde se prevé que se debe gestionar el recurso económico para el equipamiento.

- *"Por la falta de recurso económico para equiparla" R.L. (referente a la razón de la suspensión)*

Otro factor detectado y que es causa del estado actual de la PTAR, es la voluntad política; este factor se encuentra ubicado en el rubro de “Gestión - motivantes”, que debe existir para que se busque, se asigne y se gestione el recurso económico; además, se requiere liderar el proyecto para involucrar a las entidades potencialmente beneficiadas de ZUP. Hasta ahora, no se ha definido un líder o responsable para concluir su construcción y operar la PTAR.

El último factor identificado es el “Técnico - Mantenimiento”, en donde se considera que en el presente no se tiene un buen manejo de residuos en ZUP; tanto por falta de personal como por falta de vigilancia; causas que inciden directamente en el agua residual debido a que puede estar contaminada con componentes tóxicos no característicos de un agua negra cruda. Este dato tiene relación con lo discutido de la Tabla 5 en donde se obtuvo un valor bajo de DBO_5

- “Hace falta *personal, hay un descuido del influente*” F.M. (referente a la falta de control de los componentes del agua residual)

A partir del análisis de la información obtenida, se puede notar que las siguientes etapas de la PTAR debieron haber sido planeadas considerando un horizonte de tiempo no mayor a 3 años; es muy probable que el cambio en las administraciones haya afectado estas decisiones; así como la desintegración de la denominada “Comisión de Construcción”, que fue formada en el 2013.

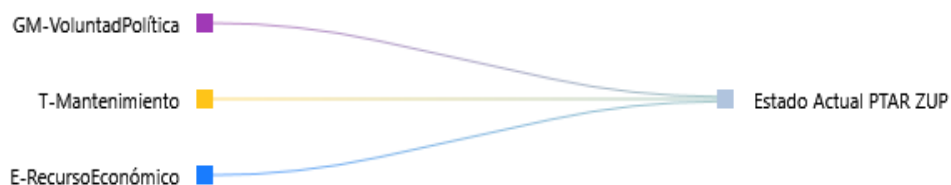


Figura 15. Elementos que explican el estado actual de la PTAR ZUP

4.1.4. DISCUSIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE PTAR

Conjuntando la información resultante de las caracterizaciones expuestas y el soporte generado a partir del análisis cualitativo es posible discutir de forma holística, el estado actual de PTAR ZUP. Con base en los aspectos técnicos de la PTAR ZUP, que han sido revisados en este estudio se destaca el cambio del influente ($242 \text{ m}^3/\text{d}$) obtenido de (López, 2024) para asegurar el tiempo de retención hidráulico de 10 horas y la posible presencia de residuos peligrosos en el agua residual a tratar; es decir, el diseño de la planta se debe revisar con base a las condiciones actuales y al crecimiento proyectado de la ZUP. Se especifican los posibles peligros que existen al tener una PTAR del tipo biotecnológica ubicada en un área con gran concentración de población; la cual se vería directamente afectada por un manejo equivocado del gas, de olores y espumas.

En cuanto a la gestión, es posible mencionar la vinculación constante que podría existir en el caso de la puesta en marcha de la PTAR. Se trata de una vinculación entre la entidad que asuma la operación, las entidades de la ZUP y la Secretaría Administrativa, cuidando la asignación detallada y pertinente de responsabilidades; las cuales pueden ser establecidas de manera formal a través del trabajo conjunto del Grupo Universitario del Agua y la Agenda Ambiental o de la autoridad que tome en sus manos la responsabilidad de la conclusión y/o operación de la PTAR. Los elementos socioeconómicos prioritarios, son la asignación del presupuesto inicial y el recurso anual para mantenimiento y operación.

4.2. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR ZUP

En esta sección se revisan los requerimientos para habilitar la planta de tratamiento de aguas residuales de Zona Universitaria Poniente (PTAR ZUP).

4.2.1 ELEMENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS NECESITADOS DE LA PTAR ZUP

Es importante mencionar que para el caso de ZUP, la presencia de residuos peligrosos en su agua residual no solo afecta la PTAR proyectada sino también la PTAR del municipio de San Luis Potosí, debido a que actualmente el agua residual se descarga en el drenaje municipal. Para prevenir esta contaminación, es urgente vigilar de manera efectiva el manejo de residuos que tienen las entidades de ZUP, actividades que ha impulsado la Agenda Ambiental desde 1998, a través del Sistema de Gestión Ambiental, en coordinación con las facultades.

Picos (2010) propuso un tratamiento combinado Anaerobio-Aerobio, mediante un reactor tipo RAFA o UASB, un filtro percolador, un sedimentador secundario y un tanque de contacto con cloro (Figura 16), se tiene como una diferencia entre los otros dos diseños propuestos un filtro percolador que utilizan rocas como material de empacado buscando obtener una mejor calidad de agua después del RAFA. Esta propuesta tenía en su objetivo inicial de buscar la reducción del consumo de agua en ZUP. La estimación la realizó con base a través del conocimiento del número de en la población de la ZUP y la calidad del agua residual (Tabla 5) con el propósito de que el efluente de la planta cumpliera con los límites permisibles de un agua para riego y para descarga en retretes (remoción del 94.42% de DQO, DBO₅ y SST).

En la Figura 17, López (2024) hace la “Propuesta de medidas correctivas para optimizar el funcionamiento de la PTAR” donde se agrega al diseño construido en obra civil (Imbrium, 2013) un pretratamiento, la trampa de grasas, reactor anóxico, clorador y un cárcamo de agua residual tratada.

Como parte de esta investigación, se realizó una consulta a la empresa ACCUI que se dedica al tratamiento de aguas residuales, la cual propone una PTAR (Figura 18) con flujo de diseño de 400 m³/d y una superficie de

61.36 m² con las etapas siguientes: cribado, trampa de grasas y aceites, homogeneizador, reactor MBBR, clarificador, sistema de purificación y sistema de desinfección. Las etapas coinciden con las propuestas por los demás autores a diferencia del reactor MBBR por sus siglas en inglés (Moving bed biofilm reactor) o Reactor de lecho móvil con biopelícula (RLMB) (Figura 19) que es un reactor biológico híbrido con lodos activados con mezcla de medio suspendido dentro del reactor por tamices de efluentes sin regreso de lodo activado incluye el medio suspendido en zonas anóxicas para desnitrificación biológica (Metcalf y Eddy, 2014).

El RLMB propuesto por ACCUI presenta ventajas para el caso de ZUP debido a que es compacto, soporta altas concentraciones de nutrientes, altos tiempos de estabilidad que son apropiados para los cambios en el flujo y en el clima, soporta altas temperaturas y presencia de residuos peligrosos, tiene menor producción de lodos, lo que implica menor desazolve, mínimo riesgo de generación de olores, y menor costo de operación. Lo anterior se debe a que no se requiere un control manual de lodo residual ni reciclaje de lodos, y tiene una menor probabilidad de que ocurra el bulking de lodos en el clarificador secundario (Metcalf y Eddy, 2014).

El costo por consumo de energía es menor al de los lodos activados y a otros reactores biológicos ya que presenta un estimado por ACCUI en \$110,000 MXN en 2024 para gastos por la energía utilizada en su diseño de PTAR. El área disponible actualmente para la instalación del sistema de tratamiento es suficiente considerando los 115m² calculados como disponibles, la propuesta técnicamente cumple con las necesidades de calidad de agua para riego de áreas verdes.

Entre las desventajas del reactor RLMB comparado con otros procesos de tratamiento, se encuentran: la energía empleada para procesar altas concentraciones de oxígeno disuelto, la necesidad de utilizar medios o materiales específicos, la dificultad para remoción del medio en el mantenimiento del difusor y el alto costo de inversión que vemos en la sección de aspectos socioeconómicos (Metcalf y Eddy, 2014) aun así los costos energéticos son menores para el tipo de reactor de lecho móvil con biopelícula contra otros reactores biotecnológicos pero sigue siendo un costo mayor que un tratamiento de humedales construidos por ejemplo.

De acuerdo con las propuestas de conformación de la planta de tratamiento, la etapa de pretratamiento es necesaria la cual consistiría en el uso de cribas donde se retiran los sólidos del agua residual, en este proceso se emplearía también una trampa de grasas. El diseño del reactor anaerobio RAFA es muy similar en todas las propuestas. Estudios de Banu et al. (2007) indican que el RAFA tiene capacidad para remover entre el 75 % y el 86 % de la DQO y del 70 % al 91 % de la DBO₅.

El reactor aerobio propuesto por IMBRIUM ya existe en la construcción de obra negra y es un proceso que difiere del filtro percolador que propuso en ese paso del tratamiento (Picos, 2010). El reactor aerobio que se propuso originalmente, se proyectó como un sistema de lodos activados secundario a manera de sistema de pulimento (Imbrium, 2013); la operación de este reactor representaría un alto gasto energético para mantener

las condiciones aerobias y generación de lodos residuales. En el diseño de IMBRIUM se plantea una recirculación del lodo al tanque aerobio, aunque la propuesta no menciona la cantidad. Además, el diseño no contempla el empleo del selector de bacterias para asegurar su buen funcionamiento.

El selector, como se propuso por la empresa en el diseño original, consiste en un tanque en el que hacen contacto los lodos aerobios que se recirculan al tanque aerobio desde el sedimentador y el agua cruda. Las condiciones del tanque permiten el desarrollo de bacterias que no están relacionadas con los problemas usuales de las PTAR aerobias, por lo que se reducen este tipo de problemas y permite mejorar la operación de la PTAR, el selector de bacterias permite mantener la biomasa saludable y las bacterias filamentosas bajo control, aun en el cambio de estaciones del año, pues hay que considerar que normalmente se incrementa su número en los cambios de Otoño a Invierno o bien, Primavera a Verano debido a que los cambios de temperatura desequilibran los procesos (Imbrium, 2013). Así se reporta en el proyecto, se interpreta el selector como una tecnología para controlar y limitar la proliferación o crecimiento de ciertas bacterias además de apoyar a objetivos particulares como aumentar la habilidad de sedimentación o promover el crecimiento de ciertos microorganismos benéficos. En Daigger et. al, (2023) se puede ejemplificar a un “selector” como selección biológica como la acumulación objetiva o dirigida de una bacteria específica en un agregado biológico grande. Como ejemplo de selección biológica sería exponer a la bacteria a ciclos alternados de sustrato en “festín y hambruna” y controlando el agregado biológico grande, los flocs biológicos ordinarios tiempos de retención de sólidos.

En relación con el tanque anóxico propuesto por López (2024), éste se sustenta en que el agua residual contiene altos niveles de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal encontrados en la caracterización del agua residual (Tabla 5); es importante mencionar que estos niveles no fueron considerados en el diseño original, pero fueron determinados en el análisis de la calidad del agua realizado por (López, 2024). El reactor anóxico eliminaría el exceso de nitrógeno a través de la desnitrificación, donde el nitrógeno oxidado se transforma en nitrógeno molecular (N_2) en forma de gas que se elimina hacia la atmósfera, de esta manera, es posible cumplir con los límites permisibles establecidos en la NOM001-SEMARNAT-2021. En este diseño se puede cuestionar la recirculación de agua tratada que deberá existir entre el tanque anóxico y el tanque aerobio.

El fósforo tanto en 2010 como en 2024 se encuentra por encima de lo que se espera de un agua residual típica según Metcalf pero está dentro del rango 6 a 20 mg/L. La remoción del fósforo puede ocurrir en procesos de tratamiento biológico donde se remueven nutrientes en donde el oxígeno disuelto proporciona su remoción gracias a los microorganismos involucrados, estos mecanismos pueden suceder en los reactores biológicos aerobios y anaerobios que están considerados en las propuestas de 2013 y 2024.

El proceso de desinfección a través de un clorador está considerado en todos los diseños para reducir los microorganismos presentes y obtener la calidad del agua deseada de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1996.

Los lodos generados en el proceso de tratamiento deberán cumplir con la NOM004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental- Lodos y biosólidos. -Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final; y pueden ser utilizados como biofertilizantes en los jardines de la ZUP.

En cualquier caso, es necesario contar con el tanque de almacenamiento del agua tratada; además, es importante llevar a cabo la planeación de una etapa en la cual el agua tratada sea transportada mediante un proceso de bombeo a alguna cisterna de la ZUP para que sea utilizada para riego, también se puede proyectar implementar infraestructura nueva de tuberías “púrpuras” que son las indicadas para transportar agua tratada, esta agua puede aprovecharse para los inodoros.

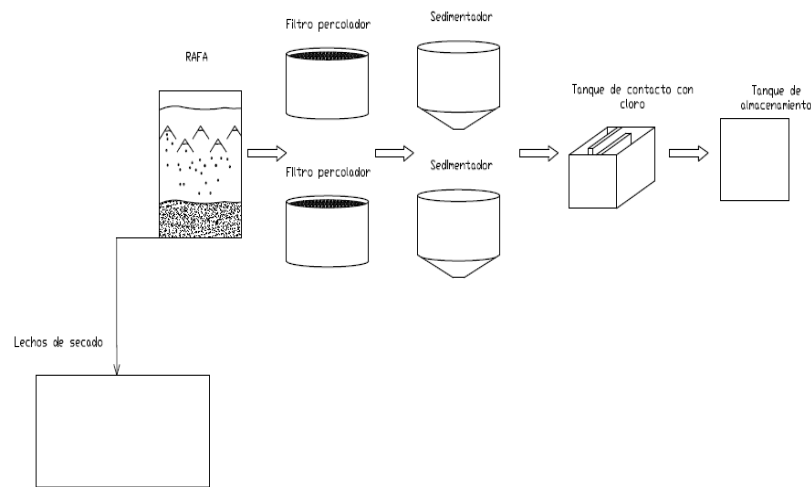


Figura 16. Esquema del tren de tratamiento para el sistema de depuración de aguas residuales de la ZUP propuesta por Picos (2010).

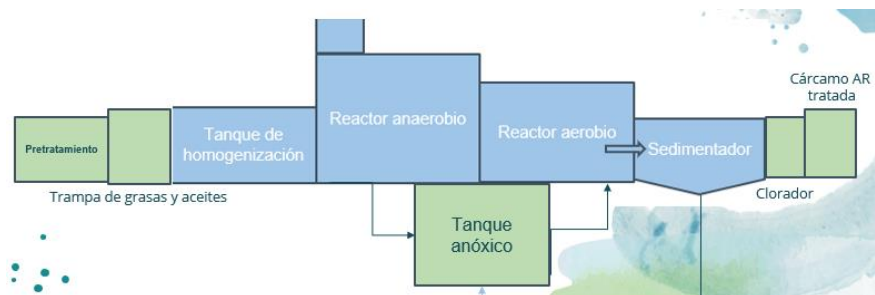


Figura 17. Propuesta de tren de tratamiento propuesto por López (2024).

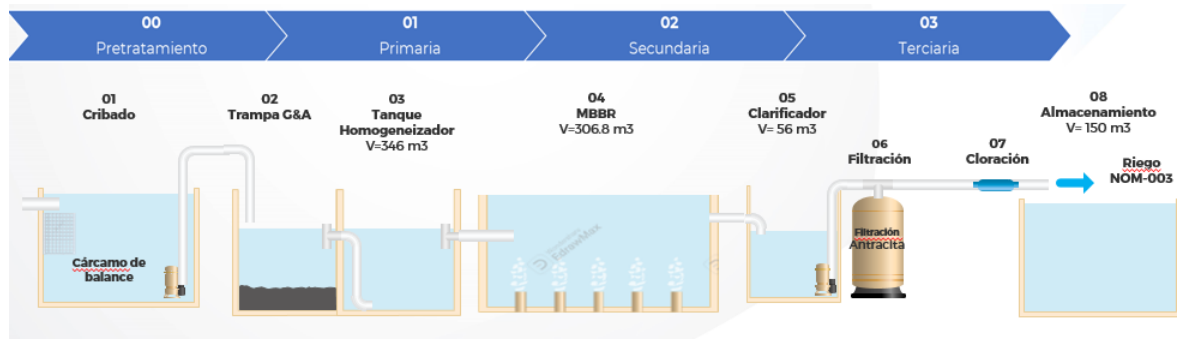


Figura 18. Propuesta de PTAR ZUP propuesto por ACCUI (2024).

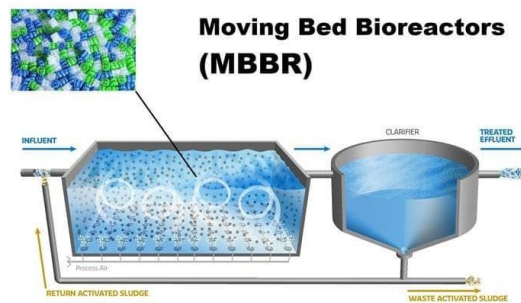


Figura 19. Ejemplo de la conformación de un reactor de tipo RLMB

En la Tabla 8 se observan los elementos técnicos necesarios para habilitar la PTAR ZUP según esta investigación los cuales se discuten en las diferentes propuestas técnicas recolectadas.

Tabla 8. Características técnicas relevantes para habilitar PTAR ZUP

Acción	Detalle
A. Replantear diseño de acuerdo con el flujo 242 m ³ /día (López, 2024) y a la calidad del influente indicado en la Tabla 5	Ya existen propuestas para su rediseño Figura 16, 17 y 18
B. Construcción civil de etapas faltantes	Pretratamiento: canal de desbaste con cribas gruesa y fina, mamparas captadoras de biogás, tanque clorador, tanque anóxico y tanque de almacenamiento final, caseta de equipo
C. Instalación y modificación de tubería	Conexión a drenaje de ZUP, tuberías de distribución de agua, tubería de descarga de lodos, conducciones de biogás a quemador.
D. Instalaciones mecánicas y eléctricas	2 bombas de alimentación, 3 sopladores, equipo de difusión de aire.
E. Instalación de instrumentos y de control	Panel de control, inóculo bacteriano anaerobio y aerobio.

La Tabla 9 muestra que es conveniente realizar acciones de gestión que surgen a partir de la voluntad política requerida para vincular facultades académicas, grupos de investigación, y/o entidades de gestión, como la Secretaría Administrativa, el Departamento de Mantenimiento General, Mantenimiento Eléctrico, Departamento de Diseño y Construcción, la Agenda Ambiental o el Grupo Universitario del Agua; en estas entidades se encuentra personal experto o dispuesto a ser capacitado que conjuntamente con estudiantes que estén realizando su servicio social o trabajos de investigación, pueden colaborar en la vigilancia y mantenimiento que requiere la PTAR. Esto, en colaboración con empresas que concursen por la puesta en marcha de PTAR ZUP a través de una gestión formal y otorgando los créditos necesarios para los diseños y las gestiones implementadas.

La gestión involucra que las personas de una institución colaboren, que en el caso de la PTAR ZUP se tiene el antecedente de ejemplo de colaboración para la creación inicial de esta PTAR. Cabe mencionar que la normativa de la UASLP en su Ley Orgánica, Art. 4, establece: “la Universidad asumirá el compromiso de impulsar acciones y políticas institucionales de sostenibilidad, bajo los principios de interculturalidad, inclusión, perspectiva de género, juventud, e integralidad” (UASLP, 2022) bajo este artículo se puede otorgar institucionalidad a la gestión, operación y seguimiento de la planta que es un acción de sostenibilidad que además requiere políticas de sostenibilidad para su manutención.

En cuanto al análisis del agua, se tienen identificados los laboratorios que tienen la capacidad técnica de analizar el agua residual en ZUP, además de que existen laboratorios en donde, con la asignación de un presupuesto para invertir en equipo, podrían ser habilitados para estos fines. El Laboratorio de Ingeniería Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas ya realiza las mediciones de los parámetros necesarios y accede a ofrecer sus servicios con un costo especial en proyectos que solicite la UASLP, los Laboratorios de Ciencias Ambientales I y II y el Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ingeniería, también pueden realizar la mayoría de las mediciones; además, la Facultad de Ciencias Químicas tiene laboratorios que pueden colaborar en la medición de algunos indicadores. Es decir, es posible llevar a cabo una gestión efectiva que garantice el funcionamiento sostenible de una PTAR para asegurar un tiempo de vida aceptable.

La Organización de las Naciones Unidas considera la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) como el concepto al cual darle seguimiento para lograr el desarrollo y gestión eficientes, equitativos y sostenibles del agua. La Asociación mundial para el agua define la GIRH como un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2009). En este concepto se observa la importancia de realizar un análisis socioambiental y holístico cuando se trata del manejo y gestión del agua. Esta gestión está fundamentada en

tres pilares que son la eficiencia económica, la equidad y la sostenibilidad ambiental. Para lograr concretar la GIRH, se requieren instrumentos de gestión que posibiliten su evaluación periódica; se requiere de un ambiente propicio mediante la creación de políticas y legislación y el marco legal institucional en los diferentes niveles; con esto se puede tener agua tanto para las actividades humanas como para el medio ambiente (Gil-Reyes, 2013)

Tabla 9. Características de gestión relevantes para la habilitación de la PTAR ZUP.

Acción	Detalles
A. Vincular con académicos expertos y laboratorios que analicen el agua y sean asesores de la PTAR y sus procesos.	Generar constante evaluación de la PTAR que funcione para educar a través de proyectos de investigación y generar conocimiento. Involucrar a entidades que tienen a los expertos, que su agua se trate y/o que busquen el manejo sostenible del agua.
B. Gestionar recursos con entidades gubernamentales y/o privadas nacionales e internacionales o asignar recursos propios.	Buscar recursos a través de departamentos de vinculación, finanzas. Asignar presupuesto a partir de los recursos propios de las entidades.
C. Creación y entrega de manual de operación	En colaboración con la empresa que equipe la PTAR.
D. Curso de capacitación a personal de mantenimiento e involucrados en cuidado de PTAR.	En colaboración con empresa y expertos UASLP y programar capacitaciones posteriores.

En la Tabla 10 se muestran características socioeconómicas relevantes y los indicadores financieros (Anexo 2.1), que son cruciales para los tomadores de decisiones. Para obtener los indicadores financieros, se consideraron los costos del agua que se suministra a la institución procedente del pozo de la ZUP o del abastecimiento público. Sin embargo, no se tuvo acceso a la información de los costos asociados al abastecimiento de agua en ZUP por lo que se consideró el costo por metro cúbico indicado por el organismo operador para la UASLP de acuerdo a los recibos de otros campus. Se consideraron los costos implicados en mantenimiento y operación de la PTAR en un lapso de 5 años; se estima que el recurso económico invertido de forma indirecta, es decir el gasto implicado en la construcción de la obra civil de la PTAR, que es de aproximadamente \$1,150,000 (Tabla 7).

En la zona metropolitana de San Luis Potosí donde se ubica la PTAR ZUP desde 2023 se agudizó la crisis por el suministro de agua a la población debido a que no se tenía agua en las presas que abastecen a la ciudad, por lo que todo el suministro de agua comenzó a depender de los pozos acelerando el agotamiento de algunos de ellos como el pozo que suministra a la ZUP con agua subterránea. Esto ha provocado que, en 2024, la ZUP ha estado sujeta al tandeo de agua y a la compra de agua suministrada por pipas.

Los indicadores financieros o la factibilidad o sostenibilidad financiera ayudan a identificar la ganancia esperada de la inversión de un proyecto; es decir, se tratan de considerar aquellos recursos que generan la habilidad de aprovechar las oportunidades y reaccionar a las amenazas inesperadas, manteniendo de manera efectiva las operaciones generales y un buen patrón de rendimiento y viabilidad (Bowman, 2012).

En la Tabla 10, se plantean los aspectos socioeconómicos para la habilitación de la PTAR ZUP. Es importante mencionar que los indicadores financieros en este caso dependen del costo por metro cúbico del agua según el organismo operador que puede cambiar según el escenario e impacta la rentabilidad de implementar la PTAR; sin embargo, en el marco de la ética, la responsabilidad social, ambiental y de prevención a futuro, debe ser un tema de interés para las autoridades competentes. Se analizó la cotización de la empresa ACCUI y se observa que el costo es mayor comparado a los costos para otros tratamientos, por lo que se recomienda buscar una tecnología más económica que involucre los mismos procesos de tratamiento biológico que son adecuados para el espacio y contexto del lugar y que cumpla con los requerimientos técnicos de calidad de agua. Esta propuesta técnica puede surgir de la gestión de un proyecto académico en el que participen las entidades de la universidad, aprovechando el conocimiento y experiencia de los expertos en la temática de PTAR para generar una propuesta menos costosa, buscando un financiamiento federal o de las mismas entidades y buscando capacitar al personal de mantenimiento para su operación o considerar el pago de servicios externos para estos fines.

Los indicadores financieros de la PTAR ZUP se calcularon en base a la cantidad y costo de agua de primer uso, costos de posible pago por concesión y reparación de pozo, inversión inicial de la PTAR y el ahorro en biofertilizantes.

Se determinó la Tasa Interna de Retorno (TIR) cuyo valor es de 28%, observándose que es superior a la tasa social de descuento mexicana que considera el 12% según la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). El valor de la TIR es aceptable e indica un retorno superior asumiendo que es la tasa máxima de interés que puede pagar la PTAR por los recursos implicados, en forma tal, que es posible recuperar la inversión y los costos de mantenimiento y operación.

Se calculó el indicador Valor Actual Neto (VAN), el cual es de \$4,827,859.3. Al ser mayor de cero significa que el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión a la tasa de descuento, genera beneficios, mostrando una ganancia en términos actuales, considerando los 5 años que se tomaron en cuenta para su evaluación.

La Relación Beneficio Costo (RBC) resulta ser de 6.6. Al ser mayor a uno demuestra que se generan beneficios por unidad monetaria invertida en la PTAR en un horizonte anual, indicando que el proyecto es viable.

Se observa que, si los indicadores financieros son proyectados a 15 años de la vida útil de la PTAR, la operación de la planta resulta aún más rentable; aunque sería más recomendable retomar el caso cada 5 años para considerar el contexto de ese momento, y prevenir riesgos en caso de una tendencia hacia un encarecimiento del agua.

En el análisis financiero, los indicadores revisados sugieren que la habilitación de la PTAR ZUP se requiere, tomando en cuenta el escenario de que el agua que se suministra a la ZUP tiene un costo. Evidentemente, se generará un ahorro en el presupuesto, así como en el consumo de agua proveniente del abastecimiento público, además de que se implementarán estrategias para un aprovechamiento apropiado del agua. Se debe mencionar que en este escenario se tendrán beneficios intangibles, como la disminución del agua que proviene de la red de abastecimiento y la descarga al drenaje municipal.

Es importante mencionar que las Facultades que se encuentran en la ZUP (Ingeniería, Enfermería y Nutrición, Ciencias Químicas, Estomatología y Hábitat) así como las dependencias administrativas y de gestión, se beneficiarán con la operación de la PTAR ZUP tanto por el aprovechamiento del agua como el impacto positivo en sus indicadores de sustentabilidad.

La comunicación ambiental tiene un rol muy importante porque genera beneficios sociales en la comunidad universitaria, porque además de ser una institución académica, es una entidad pública con un alcance más amplio. Algunos críticos han señalado que las universidades son agencias importantes para reproducir los valores de las sociedades modernas (Brunner, 2007). En este sentido la UASLP tiene una cultura propia que se encuentra adherida a la cultura del lugar en donde se ubica; en este caso se trata de la zona poniente de la ciudad de San Luis Potosí. La cultura es el aglutinante social que mantiene unida a la organización, ofreciendo los estándares de lo que hacen y dicen los empleados. Por último, la cultura es útil como un mecanismo subyacente de control y lógica que guía y da forma a las actitudes y la conducta de los empleados (Morales, 2009); este argumento se puede traducir en las prácticas y costumbres que impactan al medio ambiente, como son, por ejemplo, la separación de residuos, la descarga de residuos peligroso en el drenaje público y el uso desmedido del agua.

El comunicar a la comunidad universitaria acerca de la existencia de la PTAR ZUP y promover una cultura del agua como parte del Programa Universitario de Agua, puede generar un sentido de identidad y pertenencia lo cual incidirá en que la PTAR sea cuidada a través del tiempo por la misma comunidad, al mismo tiempo que educa al público general y a los estudiantes.

Tabla 10. Características socioeconómicas relevantes para habilitación de la PTAR ZUP

Acción	Detalle
A. Asignación de presupuesto permanente anual para mantenimiento y operación.	\$50,000 MXN (ACCUI, 2024)
B. Inversión inicial de equipamiento (\$):	Cotización para equipamiento en 2013: \$1,972,000 MXN (un millón novecientos setenta y dos mil) (Imbrium, 2013) Cotización para equipamiento en 2024: \$8,821,569 MXN (ocho millones ochocientos veinte un mil quinientos sesenta y nueve) (AACUI, 2024)
C. Involucrar a entidades de ZUP en manutención.	Pueden ser las entidades que aprovechen el agua tratada como Facultad de Ingeniería, Facultad de Enfermería y Facultad del Hábitat por la ubicación de la PTAR e interés.
D. Tasa Interna de Retorno (TIR)	28% se acepta (indica retorno superior)
E. Valor Actual Neto (VAN)	\$4,827,859.3 se acepta (indica ganancia)
F. Relación Costo-Beneficio (RBC)	6.6 se acepta (indica beneficios)
G. Incluir comunicación y educación ambiental	Con infografías museográficas permanentes en el sitio, así como digitales parte de campañas de cultura del agua.

4.2.2 Factores cualitativos para la habilitación de la PTAR ZUP

El análisis cualitativo de las entrevistas a los actores clave responde al cómo y por qué se debe habilitar la PTAR ZUP; asimismo, identifica los factores o elementos que son necesarios para ponerla en operación. El resultado del análisis se muestra en las Figuras 20 y 21.

Se obtuvieron más frecuencias que en la sección del estado actual; debido a que, al no estar operando la PTAR ZUP, fue necesario comentar acerca de la posibilidad de ponerla en operación. El código más frecuente fue el Técnico-Aprovechamiento que hace alusión a que se debe habilitar la PTAR para aprovechar adecuadamente el agua. El comentario más representativo es:

- *"Se requiere para prevenir las necesidades y ahorros de agua en el presente y futuro" F.M.*

Se puede discutir que de acuerdo con la crisis hídrica que se vive a nivel mundial, regional y local, el mejor aprovechamiento del agua es indispensable.

El siguiente código con más frecuencia es Gestión-Motivantes: Comunicación-Vinculación, el cual se refiere a la forma en que con una buena colaboración la PTAR puede funcionar. El comentario más representativo es:

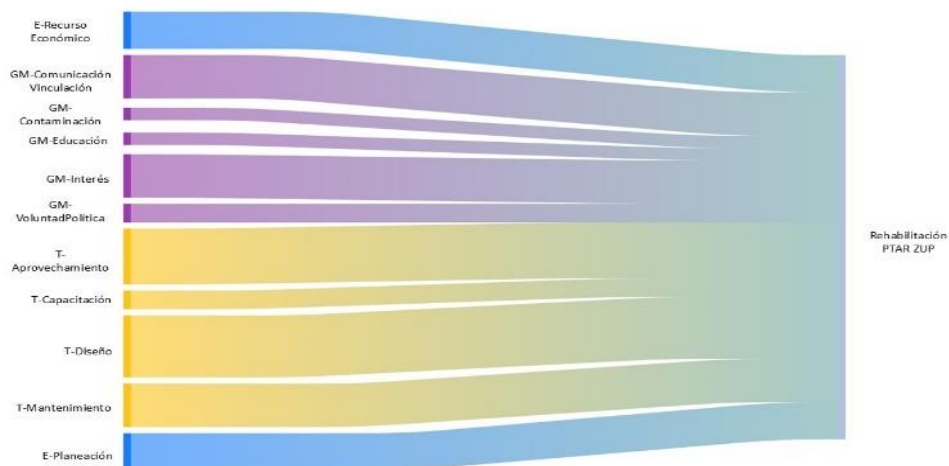


Figura 21. Elementos cualitativos para la rehabilitación de la PTAR ZUP

4.2.3 DISCUSIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PARA HABILITAR LA PTAR ZUP

La información discutida previamente y considerando los resultados del análisis cualitativo es posible hacer un análisis de los escenarios futuros para la PTAR ZUP. De acuerdo con los elementos mencionados y que son de utilidad para habilitar la PTAR ZUP, destaca en primer lugar, la gestión mediante la cual deben quedar formalizadas las responsabilidades de los involucrados, quienes podrán gestionar el recurso económico del presupuesto inicial y atender las consideraciones económicas de operación y mantenimiento. Una vez teniendo un proyecto integral y el recurso pertinente, podría avanzarse al aspecto técnico; en donde conviene utilizar los tanques que ya existen y agregar las etapas que hacen falta para que cumplir con los estándares de calidad de agua requeridos para regar los jardines de la ZUP e incluso implementar la infraestructura para el aprovechamiento del agua tratada en los inodoros. Las etapas de las propuestas técnicas revisadas para construir la PTAR son las siguientes: pretratamiento, trampa de grasas, reactor biológico, tanque anóxico, clorador y cárcamo de agua tratada. Otro aspecto técnico y de gestión importante es que debe quedar programado el análisis de la calidad del agua del afluente y efluente de manera presupuestada y periódica con un mínimo de muestreo y análisis semestral para reportar el cumplimiento con la NOM_003_SEMARNAT año, que también garantice el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua adecuados para el proceso, enfatizando la ausencia de residuos peligrosos.

En los aspectos socioeconómicos resalta la obtención del recurso económico, la capacitación constante, la intervención académica y la museografía; esto porque se observa que cuando no se capacita, no se opera adecuadamente o no se opera. Además, la participación de alumnos y profesores permite asegurar la atención

y el monitoreo de la PTAR, además de educar a los alumnos, la museografía da a conocer el proyecto de forma que se socializa y se cuida.

De esta manera, el manejo integral del agua en ZUP deberá considerar también las conclusiones establecidas por Picos en 2010 “El escenario más viable, técnica y ambientalmente hablando, es el que considera el cambio de muebles sanitarios con una descarga de 4.8 l, pues reduce el costo de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales” (Picos, 2010).

Se debe mencionar que la decisión inicial de gestionar el proyecto de la Planta Tratadora de Agua de Zona Universitaria Poniente se ve impactada por el hecho de que, en el presente, en ZUP el agua del pozo no representa un gasto económico y tampoco muchas potenciales, pero este año se comenzó a vivir la escasez, el tandeo y la compra de pipas. Por lo anterior, en este momento apenas se perciben posibles argumentos que justifiquen la urgencia de tener operando la PTAR ZUP; sin embargo, es importante destacar que la crisis hídrica continuará incrementándose en los próximos años a causa de los limitados recursos en agua con que cuenta la zona metropolitana de San Luis Potosí y una incrementada demanda por el crecimiento de la población y de la industria; por lo que se debe empezar a introducir un manejo integral del agua de ZUP que incluye principalmente: una reducción en la demanda de agua, un monitoreo del consumo de agua, el tratamiento del agua residual y de la calidad del agua acompañada de estrategias para reducir la descarga de sustancias tóxicas en la red de drenaje de la ZUP.

4.2.4 PROPUESTAS PARA PTAR ZUP

Con base en la investigación realizada, tanto del estado actual como las necesidades para habilitar PTAR ZUP en este trabajo se proponen los siguientes escenarios futuros, como parte de un manejo integral del agua en ZUP:

1. Puesta en marcha de la PTAR ZUP con las consideraciones técnicas, socioeconómicas y de gestión discutidas en este trabajo en tablas 8, 9 y 10 buscando el reúso del agua tratada, con el doble propósito de servir para fines de investigación y/o educación.
2. Una opción para aprovechar la inversión consiste en habilitar los tanques construidos como cisternas para almacenar agua de lluvia, aunque esto requiere que en la ZUP se implementen colectores pluviales y tratamiento para agua de lluvia, actualmente inexistentes.

PTAR Facultad de Agronomía y Veterinaria

4.3 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA (FAV)

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (PTAR FAV) se encuentra suspendida, aunque operó entre los años 2006 y 2012. La descripción que se presenta en este documento corresponde a la construcción existente y se realiza una comparación con las referencias encontradas respecto al diseño original, la información generada y la literatura pertinente.

En la Tabla 11 se presenta información general de la PTAR FAV. Esta planta se diseñó considerando que no había drenaje en esa zona en el año que se creó (2006). En la actualidad aún no existe red de drenaje municipal y se destaca que en la FAV se tienen usos diversos del agua por lo que la cantidad y calidad de su agua de primer uso tiene mucha relevancia, porque se utiliza para el riego de cultivos para la producción de alimentos y la purificación.

Para caracterizar y analizar la PTAR, es importante explicar el manejo actual del agua en esta Facultad, así como el contexto del lugar; esta información permite considerar la factibilidad de la puesta en marcha de la PTAR.

La FAV se encuentra en una zona rural, llamada comunidad La Palma en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, SLP. Este es un municipio forma parte de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP) La facultad cuenta con un número aproximado de 1,220 alumnos y profesores (UASLP, 2022), sin considerar al personal administrativo y trabajadores que se ocupan de la parte agrícola y ganadera que se desarrolla como parte de las actividades de la dependencia. La FAV tiene un área de 1,020,000 m² equivalente a 100 hectáreas aproximadas; se llevan a cabo actividades desde las 7:00 a las 16:00 horas, las cuales varían durante el año, se tienen 160 días oficiales hábiles de clases que son los de mayor actividad y 45 semanas al año de actividad de investigación, administrativa y producción lacto pecuaria.

Dentro de esta Facultad se encuentran una cafetería, la biblioteca, las aulas, los estacionamientos, las canchas deportivas, los laboratorios, los sanitarios, los auditorios, áreas abiertas, áreas verdes y espacios de producción agropecuaria como campos de cultivo agrícola y establos que se denominan talleres de bovinos vacas y borregos; esta producción agropecuaria tiene fines académicos y de comercio en la comunidad.

Tabla 11. Información general de la PTAR FAV

A. Ubicación:	Carretera San Luis - Matehuala Km. 14.5 Ejido Palma de la Cruz, 78321 Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.
B. Ubicación geográfica (Longitud, Latitud)	22°14'01"N 100°51'50"W
C. Procedencia del agua de primer uso:	3 pozos
D. Usos del agua de primer uso:	Producción agrícola y pecuaria, servicios sanitarios, laboratorios, potabilizadora, riego áreas verdes y canchas.
E. Destino de descargas:	Infiltración en predio

El agua de primer uso que se utiliza en FAV proviene de 3 pozos (Figura 22 y 23) los cuales son operados por la facultad bajo la concesión vigente otorgada por CONAGUA con título SLP101954 en la cual se consideran los 3 pozos. La administración reporta que los pozos 2 y 3 se utilizan exclusivamente para el riego de los campos de cultivo; para el resto de los servicios que consumen agua como sanitarios, limpieza y talleres y el riego de las áreas verdes, que incluyen las canchas deportivas, se utilizan 5,500 m³ al año del agua del pozo 1, la facultad tiene 6 cisternas que utilizan bombas para distribuir el agua de primer uso para cubrir sus necesidades (Figura 23).

Las áreas verdes (Figura 24) que se riegan tienen un estimado de 9,808.7m² con 43 especies de plantas contabilizadas de los estratos arbustivos y arbóreos y 92 hectáreas de superficie para producción de alimentos (76 ha para forrajes, 6 ha hortalizas y 10 para producción agroecológica) de superficie para producción de alimentos (Figura 25) (Agenda Ambiental, 2021). El volumen de extracción autorizado anual permitido para riego es de un total de 587,500m³ entre los 3 pozos, se comenta que no utilizan todos los pozos. En la FAV, por sus campos de cultivo, se requiere asegurar el agua para su riego, por lo que desde el primer diseño de la PTAR se consideró el uso del agua tratada para riego. Así como es importante considerar la calidad de agua del afluente para riego, también hay que considerar el uso que se le da al agua de primer uso ya que impacta en la calidad del agua que llegará como afluente de la planta de tratamiento.

El agua residual (AR) obtenida de todos los procesos, incluidos sanitarios y residuos de la actividad pecuaria, es manejada a través del drenaje de la Facultad (Figura 22 y 23). Se tienen instalados 5 cárcamos donde se acumula el AR que llaman "fosas sépticas" y 6 cárcamos que almacenan AR, la cual que es bombeada hasta un cárcamo final (22°13'54"N 100°51'46"W) que también es denominado fosa séptica (Figura 25) y que llamaremos "fosa séptica final", cada semana se bombea el AR de este tanque y se vierte en un área dentro de la FAV, para infiltrarla.

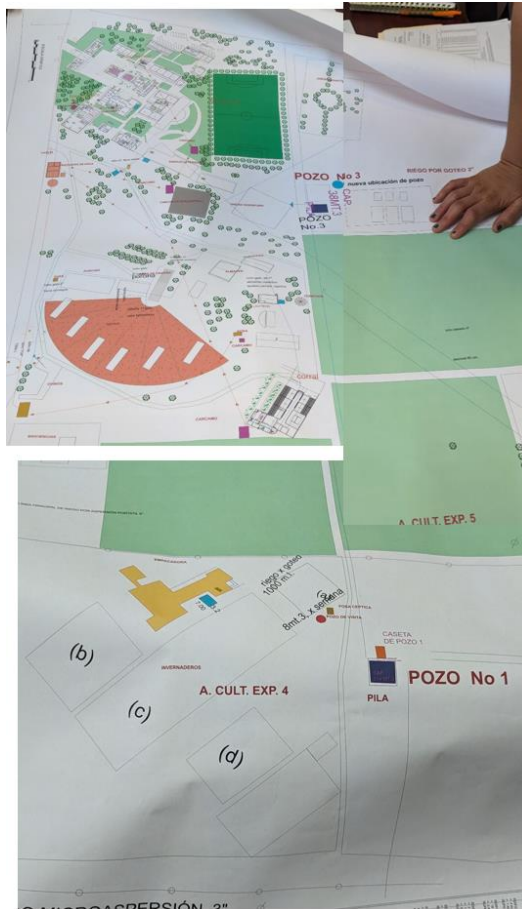


Figura 22. Planos de la FAV y de la ubicación de los pozos



Figura 23. Mapa de la FAV



Figura 24. Áreas verdes de FAV



Figura 25. Campos de cultivo de FAV

Es importante mencionar que durante las visitas al sitio se observó que todas las fosas sépticas reportadas en los planos no tienen los elementos que se requieren al considerar el funcionamiento de este tipo de procesos de tratamiento de AR; pues es conveniente aclarar que una “Fosa séptica” (Figura 26) debe tener una construcción con un mínimo de altura que permita la separación de los cienos o lodos y las espumas, grasas y sólidos más ligeros, ahí debe ocurrir una digestión anaeróbica que degrade la materia orgánica del AR; además, debe contar con una segunda cámara con una división en medio para la separación, asimismo, debe tener instaladas tuberías tipo T y un sistema de ventilación para liberar los gases producidos. Aun si la FAV tuviera fosas sépticas, éstas están diseñadas para tratar parcialmente el agua negra cruda doméstica y no necesariamente obtener un efluente con la calidad de la NOM001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

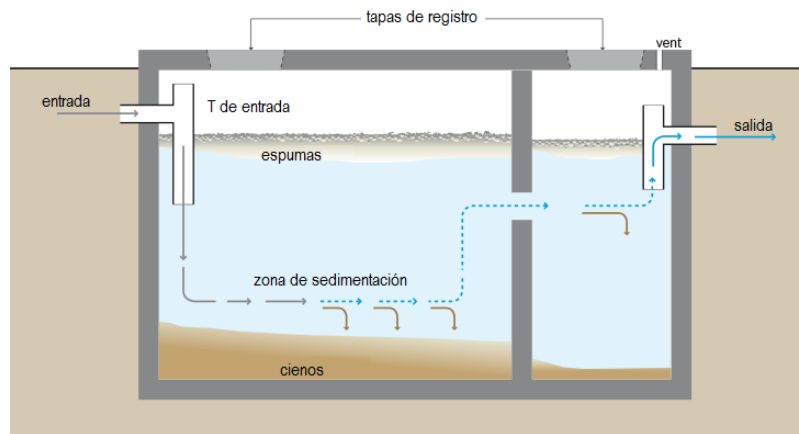


Figura 26. Fosa séptica típica (Tiley et al., 2017)

4.3.1 CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR FAV

En la Tabla 12 podemos observar algunas características técnicas relevantes de la PTAR FAV, las cuales son obtenidas a partir del Anexo 2.2. La PTAR FAV fue vendida e instalada en el 2006 por la empresa Imbrium bajo la necesidad de tratar el agua residual generada, debido a que no se cuenta con drenaje municipal. Este proyecto consideró que el efluente tratado se utilice para riego de las áreas verdes de la FAV, bajo el cumplimiento de la normativa NOM-001-ECOL-1996, la cual era la norma de vigente en ese año 2006, este año 2024 la norma a la cual se debe dar cumplimiento es la NOM-001-SEMARNAT para descargas de agua residual y la NOM003-ECOL-1997 para agua de riego.

Al revisar la información, se observa que la FAV tenía un permiso expedido en el 2009 para descargar agua residual de 5 fuentes de descarga que deben corresponder a las 5 fosas sépticas de los planos por la cantidad de 6093 m³ con la calidad de la NOM-001-ECOL-1996 como infiltración superficial con la responsabilidad de reportar semestralmente a la CONAGUA, por esta razón, se presume que fue necesario comenzar a analizar el AR y reportar su calidad a la autoridad. Este permiso de descarga tenía vigencia hasta el mes de abril del 2018.

Tabla 12. Características técnicas de la PTAR FAV relevantes

A. Tipo:	Biotecnológica aerobia
B. Año de inicio de la construcción:	2006
C. Año de operación / tiempo de operación	2006/ 6 años (2006-2012)
D. Modificación: Si-No / Año / Tipo	Si / 2006-2012 / cambio de bombas
E. Área de PTAR (m ²):	40 estimado
F. Número y tipo de tanques o etapas del diseño:	6 etapas: Cárcamo de rebombeo, reactor biológico, sedimentador secundario, sistema de aireación, sistema de retorno de lodos, sistema de extracción de lodos
G. ¿Cómo planeaba llegar el agua residual (AR) a la PTAR?	Bombeo
H. Tiempo de retención hidráulico (h) planeado:	14.4 h en reactor biológico, 3 h en sedimentador
I. Generación de desecho (lodos) planeado:	Si, 23-27 kg biomasa por día los cuales pueden ser retirados en forma mensual y dispuestos en jardines de acuerdo a la NOM004-SEMARNAT-2002.
J. Consumo energético planeado (kWh):	3 considerando 8 bombas y 0.74 por soplador estimado

La caracterización del AR de FAV fue realizada con base en mediciones en 5 fosas identificadas como 1, 3, 4, 5 y 6 ubicadas en diferentes puntos de la Facultad; los parámetros fueron analizados mediante procesos de muestreo compuesto en 4 horarios diferentes (8:00, 10:00, 12:00 y 14:00 horas) el miércoles 20 de marzo 2024, en una temporada de afluencia normal, donde se realizan las actividades académicas, administrativas y productivas cotidianas. Los resultados de la Tabla 13 corresponden a los promedios de los resultados de la caracterización del agua en las 5 fosas. La Tabla 13 compara los parámetros solicitados en la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 para evaluar “infiltración y otros riesgos en suelo”, así como “promedio mensual”, que corresponden a la infiltración del AR y son los parámetros que la autoridad solicita para el cumplimiento de las condiciones establecidas en el permiso de descarga autorizado a la FAV en 2009 que en ese tiempo hacía referencia a la NOM-001-SEMARNAT-1996; también se lleva a cabo la comparación con los valores reportados en Metcalf y Eddy (2014) para un agua residual típica para flujo fuerza mediana, es decir de 380 L/cápita día.

Algunos de los parámetros más relevantes a discutir son las grasas y aceites, donde se encontraron valores de hasta 109 mg/L en la fosa 6 que es identificada como “descarga del establo y pecuaria” lo cual es esperado, considerando que entre las actividades de la FAV se tiene producción pecuaria y láctea, por lo que se encontró mayor descarga de grasas en el agua residual de esa área. Se debe advertir que si la grasa no es removida previo a la descarga del efluente puede interferir con la vida en las aguas superficiales y crear películas antiestéticas (Metcalf y Eddy, 2014).

Otros parámetros importantes son la DBO₅ y la DQO, ambos presentan valores superiores de lo esperado en agua cruda típica. En el caso de DQO se observó que alcanzó un valor de 903 mg/L en la fosa 6, lo que indica que puede estar relacionado con la presencia de sustancias inorgánicas con las que reacciona el dicromato (Metcalf y Eddy, 2014), es importante mencionar que no se tiene la certeza de la manera en que se tomaron las muestras por lo que puede ser que se tomaron de AR estancada y que la muestra estuviera ya concentrada, lo cual también explicaría dichos valores altos.

En relación con el valor observado en DBO₅, éste rebasa los niveles esperados en agua negra y es superior al especificado por la norma NOM-003-ECOL-1997 con la que se debe cumplir para riego; éste fue el único parámetro que podría corresponder al diseño original de la PTAR, mediante el cual se pretendía tratar un AR con DBO₅ de 400 mg/L, dato que cumple con el promedio de las 5 fosas analizadas, pero no con el de la fosa 6 que puntualmente arroja una DBO₅ de 466 mg/L.

En el caso de la fosa 4 se observó un alto contenido de nitrógeno total de 102 mg/L lo cual puede ser importante al considerar una PTAR biológica en donde el nitrógeno sea un nutriente importante para el buen estado o desarrollo de los microorganismos presentes.

El pH de 9.2 en la fosa 4 resulta ser un valor que excede la especificación, aunque el promedio de las fosas permanece dentro de la referencia. Un pH muy básico o llamado alcalino, puede indicar presencia de carbonatos y fosfatos, boratos y silicatos; esto contamina el agua y afecta los ecosistemas.

Otros datos que están condicionando la autorización de los permisos para descargas de 2009, son los que resultan del análisis de los metales pesados en el AR; sin embargo, estos parámetros están dentro del valor límite permisible.

Tabla 13. Análisis Fisicoquímicos del influente de la PTAR FAV

Parámetro	Evaluado (Gutlab, 2023)	Agua residual típica (Metcalf y Eddy, 2014)	Límites permitidos NOM-001-SEMARNAT 2021
SST (mg/L)	357.7	195	100
DQO (mg/L)	554.6 promedio 903.3 fosa 6	508	150
DBO ₅ (mg/L)	264.7	12	NA
Nitrógeno total (mg/L)	87.5	35	NA
Fósforo total (mg/L)	9.3	5.6	NA
Grasas y aceites (mg/L)	41.7 promedio 109.0 fosa 6	76	15
pH	7.9, 9.2 en fosa 4	6 a 9	6 a 9

En el caso de las descargas del AR de la FAV existiría un incumplimiento en la calidad del agua fundamentalmente debido a la infiltración de contaminantes al suelo y posiblemente a cuerpos de agua. Lo anterior está sujeto a sanciones por la Ley Nacional de Aguas (LAN) bajo el ARTÍCULO 88 BIS que dice: "Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la presente Ley, deberán: II. Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando sea necesario para cumplir con lo dispuesto en el permiso de descarga correspondiente y en las Normas Oficiales Mexicanas".

Asimismo, el Artículo 120 de la LAN indica que las faltas serán sancionadas administrativamente por "la Autoridad del Agua" con multas que serán equivalentes al valor diario de la Unidad de Medida y Actualización vigente en el momento en que se cometa la infracción, y en las cantidades que a continuación se expresan; lo anterior, independientemente de las sanciones estipuladas en la Ley General del Equilibrio Ecológico (LGEEPA)

y la Protección al Ambiente, Ley de Bienes Nacionales y Ley Federal de Metrología y Normalización y sus reglamentos, las Normas Oficiales Mexicanas, el Código Penal Federal y demás disposiciones aplicables en la materia III. 1,950 a 26,000 Unidades de Medida y Actualización, en el caso de violación a las fracciones II. Lo cual se puede traducir ahora en el año 2024 en una multa de \$580,764.72 MXN para la UASLP.

Bajo las sanciones de la LGEEPA la multa por descargar agua residual se considera en el ARTÍCULO 171 que indica “Las violaciones a los preceptos de esta Ley, sus reglamentos y las disposiciones que de ella emanen serán sancionadas administrativamente por la Secretaría, con una o más de las siguientes sanciones: multa por el equivalente de treinta a cincuenta mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal al momento de imponer la sanción” el cálculo de esta sanción en el 2024 es \$5,428,500 MXN.

Además de mencionar las multas, la ley menciona que en caso de no realizarse el pago se tiene la facultad para clausura total, parcial o definitiva, o bien, arrestar a los responsables.

En la LGEEPA, los artículos 117 y 121 hacen referencia a las descargas de agua residual Artículo 117 “Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios: IV. Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo”. Artículo 121 “No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad federal, o de la autoridad local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población”.

En referencia a los aspectos técnicos del estado actual de la PTAR, es importante mencionar que una de las causas por las que dejó de operar la PTAR FAV de forma definitiva fue la falla del soplador para aireación (Figura 20), observándose que no tenía reparación y no se tenía el recurso económico requerido para su reemplazo. Asimismo, es importante señalar, que el soplador requiere un alto consumo energético (Tabla 10), y su función en la PTAR es proveer el oxígeno que necesitan las bacterias para sobrevivir al introducir grandes cantidades de aire comprimido para acelerar el proceso. Para el buen funcionamiento del proceso es indispensable, aunque al representar un considerable costo energético para su operación, es importante revisar y proponer alternativas menos costosas. El proceso de aireación consume del 60 al 80% del costo de operación de la PTAR; en la actualidad se logra reducir hasta un 30% de la energía consumida en la aireación por medio de la optimización del suministro de oxígeno (Chachuat, 2020) la cual se puede lograr a través de una aireación sistemática y optimizada de acuerdo a las necesidades de los microorganismos que llevan a cabo el proceso. Una estrategia para reducir el consumo de energía es el empleo de motores eléctricos con tecnología moderna, pues éstos llegan a consumir un 65 % de la energía requerida. En el caso de los sistemas de bombeo, se estima

que la aplicación del control de la frecuencia en el voltaje, asegura un importante ahorro de energía (Durmus, 2008). En cuanto a la consideración en los motores, se puede mencionar el ejemplo de los motores de alta eficiencia como los motores de eficiencia premium que pueden ahorrar en gasto energético que reducen costos operativos y minimizan las emisiones de CO₂ (Srinivasan et. al.,2024).



Figura 27: Soplador de PTAR FAV

Los parámetros proyectados en el diseño original para el efluente fueron propuestos para asegurar una calidad de agua para riego que satisfaga la norma NOM-001-ECOL-1996; sin embargo, en 2024 es posible ajustarse a la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, para su posterior reutilización. Estos parámetros se pueden apreciar en la Tabla 5 de la sección 4.1.1.1. Es conveniente hacer notar que el reúso del efluente tratado de la PTAR FAV se planeó para el riego solamente de sus áreas verdes y no de sus campos de cultivo y sería significativo para reducir o abastecer su necesidad de agua de primer uso.

En la Figura 28 se puede apreciar cómo se encuentra la PTAR FAV. En su diseño original, la PTAR FAV tiene 6 etapas: cárcamo de rebombeo, reactor biológico, sedimentador secundario, sistema de aireación, sistema de retorno de lodos, sistema de extracción de lodos.

No se conocen con exactitud los detalles de los procesos planteados en el diseño original; esto es debido a que no fue posible recuperar los documentos oficiales relacionados con el proyecto, los planos, y/o el manual de operación. Con base en la inspección visual es posible afirmar que el primer tanque podría ser un reactor experimental anaerobio de flujo ascendente para homogeneizar el agua residual (AR), la cual era transportada desde el cárcamo del influente mediante un sistema de bombeo, en donde posiblemente había una criba para sólidos gruesos; también se observa una salida de gas y posiblemente una separación de lodos y AR, se observa una purga para los lodos.

De este primer tanque, el AR se pasa al tanque 2 en donde no se tiene claro su uso, y se observa que existe un “bypass” para recircular el AR que aún no cumple su proceso. Posteriormente, se observa que el tanque 3 podría ser considerado un reactor aerobio con 10 difusores de aireación, posiblemente de lecho móvil

sumergido y de crecimiento adherido, en donde mediante el funcionamiento del soplador, se genera la remoción de DBO₅ y nitrificación. La siguiente etapa considera el Tanque 4 que actúa como un sedimentador primario con 2 placas el cual tiene como objetivo remover los sólidos sedimentables y material flotante del AR para reducir los sólidos suspendidos; se asume que este sedimentador puede haber sido un sedimentador secundario debido a que se encuentra después del reactor aerobio y realiza una segunda clarificación.

Se observa un “sistema de aireación” que puede estar en el tanque 5 aunque no hay claridad al respecto, asimismo, se detectan 2 camas de secado de lodos (Figura 29) en un área cercana a la PTAR.

No hay evidencia de alguna conexión entre los tanques, así como con el drenaje.



Figura 28. Vista exterior actual PTAR FAV



Figura 29. Vista de procesos PTAR FAV

En la Tabla 14 observamos los resultados de la evaluación del estado de conservación actual los cuales fueron evaluados, considerando aspectos cualitativos y la información que se ha registrado. Los detalles se muestran en el Anexo 2.2, en donde para la PTAR FAV se obtiene un porcentaje promedio de 31%, debido principalmente a que toda la construcción se encuentra en deterioro considerable por haber sido construida hace 18 años y estar en estado de abandono desde 2012.

En esta parte de la evaluación se resalta que es importante realizar un peritaje por parte de un experto certificado para evaluar el estado de conservación de la obra civil.

Tabla 14. Funcionamiento de la PTAR FAV:

Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)		
Proceso de diseño o instalaciones	Estado de conservación	Comentarios
A. Pretratamiento: 1 criba	Regular (3)	Desconectado de la PTAR, el agua recuperada se descarga en fosa séptica.
B. Tratamiento primario	Malo (2)	Está carcomido por el sol, no hay nada roto
C. Tratamiento secundario: reactor aerobio	Terrible (1)	Se encuentra en malas condiciones; el soplador para aireación fue retirado.
D. Tratamiento avanzado: Sedimentador y clorador	Regular (3) e Inexistente (0)	Las placas del sedimentador se deben cambiar y ya no se cuenta con el sistema de cloración.
E. Instalaciones civiles	Regular (3)	Hay un deterioro por el abandono, pocas grietas y ninguna ruptura importante en la obra
F. Instalaciones mecánicas y de tubería	Mala (2)	La mayoría de las instalaciones mecánicas están descompuestas o perdidas, alguna tubería debe ser remplazada sobre todo conectores
G. Instalaciones eléctrica	Terrible (1)	La mayoría de las instalaciones eléctricas están descompuestas o son inexistentes y deben ser reemplazadas por nuevas.
H. Instalaciones de instrumentos y de control	Terrible (1)	También cuenta con camas de secado de lodo

En virtud de que se tiene muy poca información acerca del diseño original, no es posible concluir acerca de la posibilidad de una restauración y/o rehabilitación de la PTAR; sin embargo, es evidente el deterioro en que se encuentra, pero se discuten algunos aspectos técnicos en los escenarios futuros.

4.3.2 CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y DE GESTIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR FAV

En la Tabla 15 se observan los datos socioeconómicos actualizados; aquí es importante incluir los gastos actuales en tema de agua de FAV debido a que tiene un impacto en este momento donde se desembolsa \$156,526 MNX estimados en pago del agua del pozo 1 más los gastos por análisis de la calidad del agua residual, datos obtenidos de los recibos pagados por la administración de la FAV (UASLP, 2024)

Es posible reconocer que la inversión inicial que representó su construcción no fue muy grande y que actualmente no es factible poner en operación la PTAR; a este tipo de inversión se considera un “costo hundido” el cual es un costo realizado en el pasado y que ya no puede ser recuperado. Se debe mencionar que la PTAR no figura como un inmueble pasivo sino como más bien como una obra abandonada sin ser utilizada. El inmueble es reconocido por la Facultad y forma parte de sus planos. Originalmente se planeó que la PTAR funcionara 15 años a partir del 2006 que fue instalada y que operó hasta el 2012, por lo que en el 2021 se cumplen los 15 años de horizonte de vida, y actualmente en el 2024, continúa en desuso.

Es posible mencionar que las bitácoras de operación y el manual de operación de la PTAR no están disponibles y que al parecer se encuentran perdidos; esto se debe tal vez al abandono en que se encuentra por lo tanto no hay un grupo responsable de la PTAR al que aún se pueda consultar. De acuerdo con las entrevistas realizadas se tiene una idea de que en su momento algunas personas fueron capacitadas para la operación de la planta, pero son comentarios solamente.

La Tabla 15 muestra que el costo del agua de primer uso es importante, y existe la posibilidad de obtener una multa debido al incumplimiento de las normas de descarga de las aguas residuales, como fue mencionado en la sección anterior. Además, de poner atención en aspectos de responsabilidad ambiental y social, es necesario considerar los aspectos socioeconómicos de implementar una PTAR nueva, debido a que no es posible rehabilitar la actualmente construida y en estado de abandono, bajo los mismos objetivos para los que fue originalmente diseñada.

Tabla 15. Características socioeconómicas y de gestión de la PTAR FAV relevantes del estado actual

A. Inversión inicial (\$)	\$ 252,054.00 MNX más IVA en 2006
B. Cantidad de agua de primer uso (m ³ /año)	5,562.4 para servicios (pozo 1)
C. Costo anual de agua de primer uso (\$)	\$156,526 MNX estimados

4.3.3 DATOS CUALITATIVOS DEL ESTADO ACTUAL DE PTAR FAV

El análisis cualitativo busca responder al cómo y porqué del estado actual de la PTAR FAV, así como identificar los factores o elementos que la llevaron a su suspensión.

En la Figura 30 se observan las palabras que representan el estado actual de la PTAR FAV y de acuerdo con la identificación de los actores clave entrevistados, destacan: "mantenimiento", relacionado a cómo una falta de mantenimiento causó su suspensión; aquí es posible agregar que la falta del recurso económico para comprar el equipo faltante y a que no se llevó a cabo la planeación para el mantenimiento a futuro de la PTAR; otra palabra clave es "descargas", que puede relacionarse a la preocupación de descargar agua residual sin tratar a los predios y la palabra "impacto" al impacto ambiental que este hecho realiza.

En la Figura 31 se observan las frecuencias de estos códigos, en donde resalta el código de "mantenimiento" que se correlaciona a lo mencionado del equipo que se averió y no se pudo volver a comprar, lo cual indica que es la principal causa de la suspensión de la operación de la PTAR FAV

- *"El soplador se descompuso y no se volvió a comprar, trabajaba 24h 7d y requería reparaciones que podían tardar hasta un mes " J.R. (argumento que hace referencia a la causa de la suspensión)*

Otro factor encontrado que favorece el estado actual es el "diseño" en el mismo rubro de "Técnico", el cual se relaciona a la creencia generalizada de que el diseño de la PTAR era experimental, debido a que se hicieron diversas modificaciones y ajustes para mejorar la calidad del agua residual con alto contenido en grasas, lo que ocasionaba que la PTAR no funcionara bien desde un inicio.

- *"Al principio operó en 40% pero luego fueron modificando y corrigiendo. " J.R. (argumento que hace referencia a la causa de la suspensión)*

Se puede afirmar que desde su diseño la PTAR FAV presentaba retos técnicos debido a las particularidades de las actividades y que no se contaba con un recurso suficiente para obtener un diseño pertinente y mucho menos en la temática relacionada con el mantenimiento de la PTAR, además, se observa la preocupación por contaminación del suelo por la infiltración del agua residual.

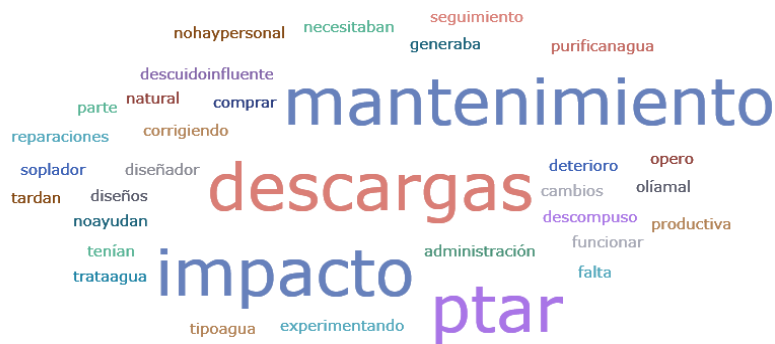


Figura 30. Frecuencia de palabras que explican el estado actual de la PTAR FAV.

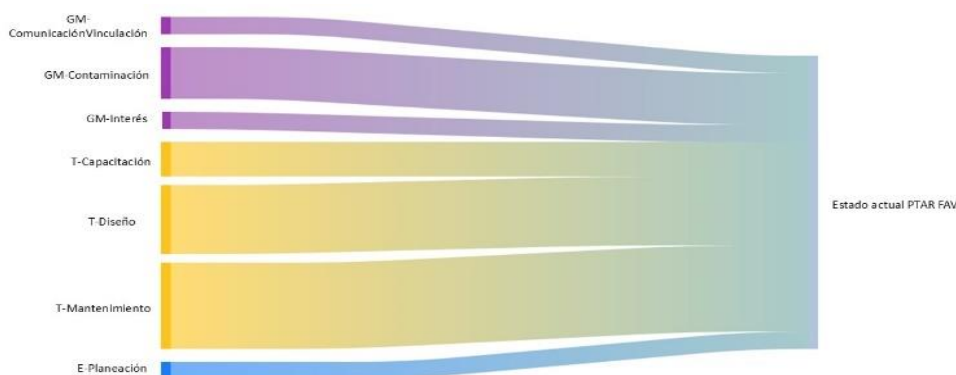


Figura 31. Frecuencia de códigos que explican el estado actual de la PTAR FAV.

4.3.4 DISCUSIÓN ESTADO ACTUAL DE PTAR FAV

De acuerdo con la caracterización técnica de la PTAR FAV se destaca la calidad del influente, el cual excede todos los valores de la norma NOM-01-SEMARNAT-2021 que establece especificaciones relacionadas con la infiltración en suelos, además, destacan valores excesivos de SST, DQO, DBO₅, fósforo total, nitrógeno total y pH, al ser comparados con los parámetros de un agua cruda negra típica.

En relación con los aspectos de gestión ambientales y socioeconómicos, resalta el gasto de agua de primer uso que se puede ahorrar y la importancia de la asignación de un presupuesto por parte de la autoridad correspondiente.

Se observa un riesgo potencial al no existir procedimientos que vigilen las descargas de aguas residuales por parte de la institución, para dar cumplimiento a las normas oficiales, y que la institución puede ser penalizada por autoridades municipales, estatales o federales en cuanto a la FAV.

Evidentemente, el estar en una zona rural, en donde no existe drenaje, y que, como institución educativa, responsable de brindar ejemplo a la comunidad; surge la necesidad de llevar a cabo un proyecto

especial para el diseño, construcción y operación de una PTAR, pues generaría un impacto positivo en el ecosistema al tratar el agua residual y aprovecharla como agua de reúso. Las respuestas por parte de los actores involucrados confirman que este proyecto es factible, además de necesario.

4.4. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR FAV

En esta sección se revisan las características para poner en operación la planta de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (PTAR FAV).

4.4.1 ELEMENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS NECESITADOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA PTAR ZUP

Las características técnicas que requiere la PTAR FAV se pueden observar en la Tabla 16, en donde solamente se considera la propuesta de la empresa ACCUI. Como se mencionó en el estado actual, la PTAR ya cumplió con el tiempo de vida diseñado y poco se puede rescatar de la infraestructura actual, por lo que en esta sección se hablará de los posibles escenarios para PTAR FAV en relación a su manejo de agua incluidos la creación de una PTAR nueva.

Es importante mencionar que, de acuerdo a la evaluación realizada, algunas partes de la infraestructura civil se podrían reutilizar o reciclar (modificación física) para otros fines o para una incorporarlas en una nueva PTAR. Para la creación de una nueva PTAR se estableció una colaboración con la empresa ACCUI. En este trabajo de investigación se considera la participación de esta empresa para generar una propuesta basada en un análisis de factibilidad para aprovechar la infraestructura que ya se encuentra instalada y revisar estrategias que permitan la operación de una PTAR que cumpla con las necesidades actuales de la Facultad. Esta propuesta fue presentada a la administración de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASLP. La propuesta fue revisada y evaluada de forma participativa con la empresa y la administración de la Facultad.

Tabla 16. Características técnicas relevantes para habilitar PTAR FAV

Acción	Detalle
A. Replantear el diseño de acuerdo a la calidad del influente indicada en la Tabla 13 y con un flujo 30 m ³ /día (ACCU, 2024)	Ya existe una propuesta para su rediseño (Figura 9)
B. Construcción civil	Todas las etapas: Unidades de cribado, trampa de grasas, tratamiento primario biológico, tratamiento secundario de humedales construidos, clarificador, sistema de cloración almacenamiento final, caseta de equipo. Buscar reutilizar la construcción existente como la cama de lodos.
C. Instalaciones de tubería, mecánicas, eléctricas y de instrumentación	Conexión a PTAR, equipo de bombeo, panel de control.

La propuesta de la empresa ACCUI se presenta en las Figura 32 y 33; el proyecto se planea para un flujo de diseño de 30 m³/d y una superficie de 192 m² y un área requerida de 300 m², con los siguientes procesos:

1. Cribado
2. Trampa de grasas y aceites
3. Fosa séptica
4. Humedal construido (HC)
5. Sistema de filtración
6. Sistema de purificación
7. Sistema de desinfección

Se propone instalar en la parte lateral de la PTAR original; la ubicación puede ser modificada en virtud que actualmente la mayor parte del agua residual (AR) de la FAV se bombea hacia un solo tanque, que es el que descarga el agua en los predios; en caso de construir una PTAR nueva es posible aprovechar y construirla en el lugar en que se ubica este tanque denominado “tanque final” (Figura 23).

Las etapas propuestas relacionadas con el cribado y la trampa de grasas, parecen poder cumplir con los requerimientos indicados en la calidad del influente en la Tabla 13 sobre todo respecto a las grasas y aceites. En las etapas 1 a 3 se sugiere utilizar el “tanque final” ya existente y adecuarlo, debido a que tiene algunas características que se asocian a una fosa séptica, como el estar sellado y con 2 salidas de gas, aunque se requerirá verificar que no presente fugas.

En la etapa 4 el humedal construido se propone que considere celdas de material filtrante y vegetación específica, con una impermeabilización de geotextil de polietileno de alta densidad (PEAD) además de una

inyección de oxígeno en la base de la célula para promover actividad microbiana aeróbica que degrada contaminantes; de esta forma, se eliminaría el exceso de nitrógeno y fósforo observado en la Tabla 13. Se debe considerar que los humedales construidos utilizan estos elementos como nutrientes para el crecimiento de su cubierta vegetal como se detalla en la sección 2.1.5.

Los suelos de los humedales tienen limitado el fósforo que pueden mantener, el cual requieren remover continuamente, razón por la cual, los nuevos sustratos deben ser construidos dentro del humedal de hojas, raíces y otros (Kostel, 2024) también es común utilizar tezontle o grava en los HC que tratan agua residual. Es necesario prever un continuo mantenimiento y un sustrato que permita estas tareas, así como la aireación necesaria para promover la actividad microbiana aeróbica que degrada los contaminantes; los sustratos propuestos por ACCUI 2024 son arenas gravas, arenas graduadas, gravas finas y gravas medianas las cuales son adecuadas para esta propuesta.

Las concentraciones encontradas de nitrógeno de 87.5 mg/L (Tabla 13) parecen estar ligeramente por encima de lo que soporta un humedal, que anualmente pueden recibir un promedio de 83.8 mg/L (Kadlec y Wallace, 2009).

El humedal para la FAV también es favorable por ser una Facultad con suficiente espacio y por tener sus programas académicos con una relación constante con la vegetación, por lo que cuidar y mejorar el humedal construido, puede ser más sencillo para esta comunidad.

El costo energético implicado para esta propuesta es bajo, debido a que los humedales tienen un bajo costo energético; en la propuesta se mencionan difusores en caso de un humedal aireado y 2 bombas de ½ hp, en contraste con el costo de operación de un reactor biológico.

El tanque de almacenamiento del agua tratada junto con la conexión a los sistemas de riego y la tubería para los servicios, permitirá el reúso del agua tratada que al pasar por los procesos descritos se pueda obtener la calidad del agua deseada, de acuerdo con la norma NOM-003-SEMARNAT-1996 para el riego de las áreas verdes y los servicios de la FAV; logrando satisfacer la demanda anual de 5562.4 m³ que se registró se utilizan para el riego y el área de servicios, lo cual podría sustituir el uso del pozo 1. Ya que se lograría satisfacer la demanda de riego no es necesario considerar efluente para infiltración (Figura 32), de ser el caso se debería cumplir con la NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.

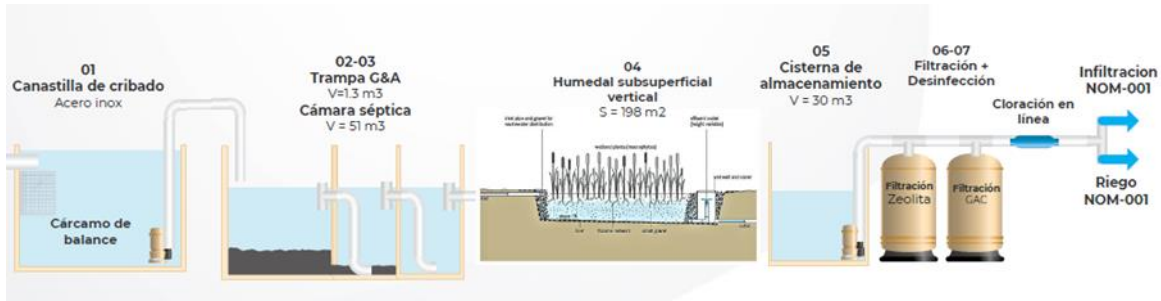


Figura 32. Propuesta de PTAR FAV por ACCUI (2024) que considera un humedal de flujo subsuperficial vertical y el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021 para el agua residual tratada.

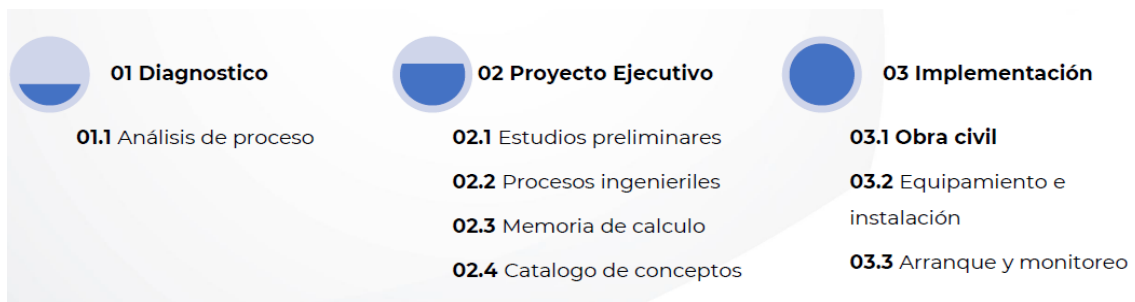


Figura 33. Pasos para implementar PTAR FAV nueva propuesta por ACCUI, 2024.

En la Tabla 17 se presentan las acciones de gestión a realizar para implementar la PTAR FAV. Se considera la decisión de la FAV y el soporte de la Rectoría de la Universidad y de la Secretaría Administrativa; una vez tomada la decisión se requiere la colaboración del Departamento de Mantenimiento General, Mantenimiento Eléctrico, Departamento de Diseño y Construcción, el Programa Universitario del Agua de la Agenda Ambiental, junto con la empresa que ponga en marcha de PTAR, a través de una gestión administrativa con las formalidades, licitaciones y créditos necesarios. En este aspecto se requiere la intervención de profesores y trabajadores de la FAV que serán los responsables de la operación, cuidado y mantenimiento de la PTAR. En este estudio se recomienda una intervención participativa y constante, conjuntamente con una planeación a largo plazo y asignación efectiva de responsabilidades; estas acciones pueden ser llevadas a cabo por la dirección, administración y profesores responsables de la FAV, así como entidades de la UASLP como la Agenda ambiental a través del PUA y la Secretaría Administrativa.

En cuanto al análisis del agua, la FAV ya lo realiza a través de un laboratorio certificado, genera reportes periódicos con la intención de dar cumplimiento a la normativa, esta práctica deberá continuar, pero para el análisis del agua tratada y así corroborar el cumplimiento con la normativa y así reportar a CONAGUA, aunque se deberá considerar que en el caso de reúso del agua para riego ya no habría una descarga de agua residual al suelo o en los cauces y debe ser analizada y reportada como agua recirculada. Una gestión basada en el

cuidado del medio ambiente es importante para que una PTAR funcione y se mantenga funcionando durante su tiempo de vida.

Tabla 17. Características de gestión relevantes para la rehabilitación de la PTAR FAV

Acción	Detalles
A. Vincular con académicos expertos para el cuidado y supervisión técnica	Generar constante evaluación de la PTAR que funcione para educar a través de proyectos de investigación y generar conocimiento. Involucrar a investigadores de FAV y expertos en el tema de otras entidades
B. Gestionar recursos con entidades gubernamentales y/o privadas nacionales e internacionales o asignar recursos propios	Buscar recursos a través de departamentos de vinculación, finanzas, o asignar los recursos propios de las entidades
C. Curso de capacitación a personal de mantenimiento e involucrados en cuidado de PTAR con entrega de manual de operación	En colaboración con la empresa que instale la PTAR y expertos de la UASLP y programar capacitaciones posteriores

En Tabla 18 se observan los aspectos socioeconómicos necesarios; entre ellos se encuentran los indicadores financieros (Anexo 2.2), que son cruciales para los tomadores de decisiones. En la obtención de los indicadores financieros se consideraron los costos del agua (del pozo 3), además, se consideraron los costos que implican 5 años de mantenimiento y operación, el recurso económico ya establecido, la multa potencial por la inatención a las descargas de las aguas residuales de un solo año, el ahorro en fertilizantes en el caso de que se usen los lodos como biofertilizantes obtenidos del tratamiento, las reparaciones del pozo, y el costo de bombeo al tanque final.

Es importante mencionar que los pozos que tiene concesionados la FAV tienen aprobado su aprovechamiento hasta abril del 2028 y el gasto que representan es por pago de agua y reparaciones, además del consumo eléctrico por la operación de bombeo.

En relación con los costos de operación, los costos por los servicios que ofrece la empresa pueden reducirse al asignar actividades al personal de mantenimiento de la FAV; un ejemplo de estas actividades es el seguimiento a las condiciones de operación y mantenimiento del humedal y de toda la PTAR. En cuanto al costo de inversión, si se lleva a cabo lo establecido en la Figura 33, en donde se considera realizar un diagnóstico y un proyecto ejecutivo previo a la implementación, se pueden hacer algunos ajustes como tomar en cuenta la infraestructura existente; también, existe la facilidad de dividir en varios pagos el gasto planeado dependiendo

de donde y como se consiga el recurso, si es través de un fondo federal, ingresos propios o del techo financiero de la FAV.

El costo por consumo energético en este caso es importante, debido a que los altos costos energéticos implicados en la PTAR del 2006 resultaron ser una causa relevante para su suspensión; según la información obtenida en las entrevistas donde mencionan que estaban pagando más en luz; así mismo estos costos tanto de mantenimiento y energéticos son importantes a considerar cuando se piensa en la sostenibilidad de la PTAR.

En la Tabla 18 se encuentran los valores de TIR, VAN y RBC, los cuales son aceptables e indican retornos superiores a lo que se requiere invertir, en forma tal que la inversión se puede recuperar, así como los costos de mantenimiento y operación. Los resultados del análisis de costos muestran una ganancia para la FAV y expresan beneficios por unidad monetaria invertida en la PTAR en su horizonte de años (hasta 30 años), indicando que el proyecto es viable. Es importante mencionar que en este caso la VAN y la TIR son bajos, porque se está pagando \$156,526 anual por el consumo de agua de un pozo, es decir, es un gasto corriente, aunque no se está pagando por el agua de los otros 2 pozos, por el momento, a menos que el gobierno federal al regularizar las concesiones establezca un costo; igualmente existe el riesgo del pago de una multa por la regularización del uso del agua y de las descargas de aguas residuales. Por su lado, la RBC es muy positiva indicando mucho mayor beneficio que costo, esto se puede relacionar a que se previene el pago de una multa, pero aún esta consideración tiene una incertidumbre asociada ya que depende de una decisión del gobierno federal.

Los aspectos económicos son favorables hacia la rehabilitación de PTAR FAV, pero también tienen peso específico los beneficios ambientales y sociales que representa el tratar el agua, así como prevenir y evitar la contaminación.

Como se ha mencionado, la comunicación y educación ambiental son muy importantes y en caso de la PTAR FAV es posible afirmar que ya se encuentra realizando una comunicación activa de sus actividades a través de las redes sociales y con noticias oficiales. La comunicación resulta ser muy importante, además de que la mayoría de sus carreras tienen una afinidad a la percepción de cuidado ambiental y de la sostenibilidad. En lo que respecta a la gestión ambiental, al implementar la PTAR, la FAV podría mejorar sus indicadores de sostenibilidad. También, es posible ofrecer otro espacio educativo innovador para sus estudiantes, en virtud de que ellos utilizan metodologías de aprendizaje basadas en el desarrollo de proyectos que aplican un enfoque que consiste en “aprender haciendo”.

Con lo anteriormente mencionado y conjuntamente con la implementación de un programa interno de la Agenda Ambiental orientado a fortalecer una cultura del agua con el Programa Universitario de Agua, es posible generar

un sentido de pertenencia e identidad, lo cual aporta a que la PTAR sea cuidada a través del tiempo por la misma comunidad.

Tabla 18. Características socioeconómicas relevantes para habilitación de la PTAR FAV

Acción	Detalle
A. Asignación de presupuesto permanente anual para mantenimiento y operación.	\$50,000 MXN (ACCUI, 2024)
B. Inversión inicial de equipamiento (\$):	Cotización para equipamiento en 2024: \$3,072,000 MXN (tres millones setenta y dos mil pesos mexicanos) (AACUI, 2024)
C. Costo por gasto energético (\$)	\$27,500 estimado (ACCUI, 2024)
D. Tasa interna de Rentabilidad (TIR)	15%, se acepta
E. Valor actual Neto (VAN)	\$323,008.1, se acepta
F. Relación Costo-Beneficio (RBC)	4.2, se acepta
G. Incluir comunicación y educación ambiental	Con infografías museográficas permanentes en el sitio, así como digitales parte de campañas de cultura del agua.

4.4.2. FACTORES CUALITATIVOS PARA REHABILITACIÓN DE LA PTAR FAV

El análisis cualitativo de las entrevistas a los actores clave responde al cómo y por qué se debe habilitar la PTAR FAV; asimismo, identifica los factores o elementos que son necesarios para ponerla en operación.

En la Figura 34 se observa que la palabra más frecuente entre los actores clave en torno a la rehabilitación es “ahorrar” la cual hace referencia a que se puede aprovechar el agua para riego debido a que la FAV tiene necesidades de riego y servicios y el máximo volumen que pueden extraer del agua de sus 3 pozos de acuerdo a su título de concesión es 620,000m³, por lo que es un volumen que puede ser aprovechado con agua de reúso; en la Figura 35 también figura el código “aprovechamiento” que tiene una referencia similar.

Otra palabra mencionada fue “fosas” referente al uso de fosas sépticas. En el trabajo de campo se confirmó que ninguna fosa cumple con las características de una fosa séptica; esta palabra también se relaciona a la preocupación de la comunidad por no tener drenaje, que es otra palabra que es mencionada con frecuencia.

Los códigos más representativos en torno a los elementos necesarios para la rehabilitación fueron “Técnico-mantenimiento” y “Económico-recurso económicos”; es decir, existe la percepción de que es necesario tener

un mantenimiento constante y tener asignado un recurso económico para lograr mantener operando la PTAR. También, se observa que el personal entrevistado prevé aspectos técnicos que influyen en el tratamiento de agua como la presencia de un exceso de grasas, debido a las actividades que se realizan en la FAV como el tener animales de ganadería para producción pecuaria. Las palabras “lácteos” y “agua residual” aparecen correlacionadas con frecuencia. Se observa que el comentario representativo de mantenimiento es:

- *“Agua residual que llega a cárcamos que llegan primero es del taller de lácteos y establos.” J.R.*

El comentario representativo de recurso económico es:

- *“Se podría aprovechar para ahorrar recursos como los miles que se pagan por el agua de primer uso” Y.M. (Referente a que si el agua se trata se puede ahorrar recurso económico)*

En las entrevistas se percibió que los encuestados consideran que el gasto por el consumo de agua es significativo y que está relacionado con el manejo actual del agua, infiriendo que se podría optimizar este recurso al poner en operación la PTAR. Lo anterior es congruente con los indicadores financieros que indican que puede tener un menor costo el agua tratada por la PTAR que el agua de pozo.

Los códigos referentes a Técnico-Diseño, Gestión_Motivantes-Contaminación y el Técnico-Aprovechamiento se mencionan en las palabras “calidad de agua”, “evaluación”; estos se relacionan a la necesidad de un buen diseño, a la preocupación por estar contaminando al dejar que se infiltre agua residual con compuestos fuera de los límites permisibles e intentar aprovechar el agua. Se puede percibir este argumento con la frase:

- *“Además, por responsabilidad social” Y.M.*
- *“Mejor hacer una planta nueva bien hecha para nosotros” J.R.*
- *“Podrían secarse los pozos que tenemos algún día” Y.M.*

Es notable la preocupación por el cuidado del medio ambiente por parte de los actores. También, existe un especial interés por asegurar en un futuro, la disponibilidad del recurso hídrico. Reportes revisados muestran que el acuífero en donde se extrae el agua es sobreexplotado, por lo que aparece la necesidad de tener un diseño a su medida de una PTAR.

el seguimiento, la intervención académica y la comunicación. De esta manera puede presentarse un manejo integral del agua en la FAV.

4.4.4 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE LA PTAR-FAV

Considerando la información presentada anteriormente, tanto del estado actual como las necesidades para habilitar la PTAR FAV, en este trabajo se proponen los siguientes escenarios futuros, todos ellos como parte de un manejo integral del agua:

1. Puesta en marcha de una nueva PTAR FAV con consideraciones técnicas, socioeconómicas y de gestión discutidas en las tablas 16, 17 y 18 tomando en cuenta la ubicación que implique menos construcción civil, así como el aprovechamiento de la infraestructura y equipo existente.
2. En caso de no gestionar proyecto en el corto plazo, se sugiere definir etapas a un mediano plazo, que impliquen el equipamiento gradual de la PTAR; comenzando con la trampa de grasas, la fosa séptica y el humedal construido.
3. En caso de no gestionar el proyecto, se sugiere transformar el “tanque final” de la actual infraestructura, como una fosa séptica apropiada y reubicar el sitio donde actualmente se deja filtrando y evaporando el agua residual para transformarlo en un tanque séptico impermeabilizado.

PTAR Coordinación Académica Región Altiplano Oriente

4.5 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN ALTIPLANO ORIENTE (AO)

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (PTAR AO) es un humedal construido (HC) de flujo subsuperficial horizontal que se encuentra operando sin supervisión ni seguimiento de las condiciones de operación. La descripción siguiente corresponde a la construcción existente, la comparación con las referencias encontradas respecto al diseño original, los trabajos académicos y la literatura pertinente.

Para caracterizar y analizar la PTAR es importante explicar el manejo actual del agua del lugar y su contexto; esta información es relevante para proponer mejoras. En la Tabla 19 se presenta información general de la PTAR AO que se diseñó bajo la necesidad de que al momento del inicio de actividades en el campus en 2015 cuando no había drenaje y a la fecha es inexistente.

La AO se encuentra en la cabecera municipal del municipio de Salinas de Hidalgo del estado de San Luis Potosí y se localiza a 102 km de la capital. La dependencia es una coordinación a la que asisten en promedio 238 alumnos y profesores (UASLP, 2022) sin considerar al personal administrativo y trabajadores. La superficie del campus es de 200,000 m² o 20 hectáreas y se llevan a cabo actividades desde las 9:00 a las 17:00 horas, las cuales varían durante el año; se tienen 160 días oficiales hábiles de clases que son los de mayor actividad y 45 semanas al año de actividad de investigación, educativa y administrativa, donde se presenta menos afluencia de personas.

El clima está clasificado como semiárido templado y es una zona conocida por su alto contenido de sales en suelo y agua. Dentro de esta coordinación se encuentran una cafetería, biblioteca, aulas, estacionamientos, cancha deportiva, laboratorios, sanitarios, auditorio, áreas abiertas, áreas verdes y espacios de producción agrícola en invernaderos para fines académicos.

En la Tabla 19 se destaca que su agua de primer uso es suministrada por el organismo operador municipal con una cantidad específica desconocida pero estimada de acuerdo con el número de personas que existen en la actualidad, alrededor de 250 personas. En cuanto a la precipitación INEGI reporta para la región de Salinas de Hidalgo 771 mm en 2002 (INEGI, 2002) y datos más recientes del Reporte de sostenibilidad 2022 indican un valor de 391 mm (Agenda Ambiental, 2022), CONAGUA reporta ese mismo año una precipitación de 143.5mm (CONAGUA, 2022) lo que confirma que hubo menos precipitación ese año; este dato nos habla de la baja precipitación en el lugar y que puede contribuir a las condiciones ambientales que tienen impacto en la PTAR como es la alta evapotranspiración, aunque normalmente, en este tipo de plantas se toma en cuenta las condiciones enunciadas desde su diseño. En el caso que estas condiciones, actualmente extremas, se deben verificar las condiciones de operación del humedal; las condiciones climáticas extremas como fluctuación de temperaturas bajas y altas que se han tenido a través de los años afectan la vegetación del humedal construido y la pérdida de agua por evapotranspiración.

Las áreas verdes en el campus (Figura 36) son de vegetación endémica con una extensión de 450 m² y cuentan con dos invernaderos (Figura 37) de 221.8 m² utilizados para la siembra de frutas y hortalizas; además, se tiene un sistema de captación pluvial con geomembrana de 180.8 m² que sirve para el riego en los invernaderos (Reporte Greenmetric, 2022). El riego destinado a las áreas verdes es un muy poco, estimado en 20% del agua que se usa en el campus.

El agua residual (AR) obtenida de todas las actividades es manejada a través del drenaje de la AO que separa el AR de los laboratorios y la del resto del campus. Así, el drenaje que se conecta a la PTAR no incluye a los laboratorios; la PTAR reporta tratar el 75% del AR. El agua obtenida del efluente (1.014 m³/d) de la PTAR y el

resto del agua residual de las tomas de drenaje no conectadas a la PTAR, son descargadas en los predios del campus.

Tabla 19. Información general de PTAR AO

A. Ubicación	Santo Domingo Salinas # 200, 78600 Salinas de Hidalgo, S.L.P.
B. Ubicación geográfica (Longitud, Latitud)	22°37'40.87" N, 101°42'56.05" W
C. Procedencia del agua de primer uso	Agua entubada suministrada por el organismo operador de municipio
D. Cantidad de agua de primer uso (m ³ /año)	1080
E Usos del agua de primer uso	Servicios sanitarios, producción agrícola en invernaderos, laboratorios, riego áreas verdes
F. Destino de descargas	Infiltración en el predio
G. Temperatura máxima (°C) y mínima (°C)	28 y 3
H. Precipitación media anual (mm)	771



Figura 36. Áreas verdes de AO



Figura 37. Invernaderos de AO

4.5.1 CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR AO

En la Tabla 20 se muestran algunas características técnicas relevantes de la PTAR AO que se extrajeron del Anexo 2.3. La PTAR AO fue construida en el 2015 junto con la construcción del campus por una empresa bajo el diseño del profesor Dr. Rodolfo Cisneros Almazán y la alumna Ing. Silvana Rojas García de la UASLP. El propósito fue tratar el agua residual generada ya que no se cuenta con drenaje municipal en la zona donde se ubica el campus, se proyectó que el efluente funcionara para riego de las áreas verdes de la AO bajo el cumplimiento de la normativa vigente de ese año la NOM-001-ECOL-1996.

Observamos que fue diseñado para una asistencia de personas que en el año de 2015 era de 750 personas y en 2023 se reportaron 238 alumnos y profesores. Esta información junto con la de área que es 378m² y el influente determinado por este proyecto que es de 2.5m³/d contrastan con el influente diseñado de 14m³/d indicando que la PTAR está sobredimensionada actualmente. Esta conclusión se confirma con las conclusiones de Rossel et al. (2020) quienes hicieron un balance hídrico de 5 meses y demostraron que el flujo del afluente era cinco veces más bajo que el considerado en el diseño. Así mismo, aun considerando condiciones esperadas de precipitaciones temporales no lograron aumentar el flujo de agua al humedal, la evapotranspiración fue el principal factor responsable de reducir el volumen de agua en el humedal en un menor tiempo, lo que induce estrés hídrico en las plantas del mismo (Rossel et al., 2020).

Al parecer no se puede aprovechar el agua tratada para riego, pero durante las visitas en esta investigación se observó agua acumulada en el tanque de almacenamiento que contenía agua tratada y agua pluvial, cuando existe este caso en la AO, esta agua se bombea y descarga en los predios del campus sin ningún aprovechamiento.

Tabla 20. Características Técnicas de la PTAR AO relevantes

A. Tipo	Sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal
B. Año de inicio de la construcción	2015
C. Año de operación / tiempo de operación	Del 2015 a la fecha
D. Área de PTAR (m ²)	378
E. Número y tipo de tanques o etapas del diseño	3 etapas: pretratamiento con rejillas de cribado de gruesos y finos. Sedimentador primario, y tratamiento secundario consistente en 2 celdas de humedales construidos con <i>Typha latifolia</i> (espadaña) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo)
F. ¿Cómo planeaba llegar el agua residual (AR) a la PTAR?	Por gravedad
G. Población a la que se planeaba dar servicio (#)	750 personas en 2015, 364 personas en 2020 y 238 alumnos y profesores en 2023
H. Cantidad (m ³ /d) del influente a tratar	14 (diseño), 2.5 (Hernández., 2024)

En la Tabla 21 se pueden apreciar las características fisicoquímicas del influente y el efluente que fueron recuperadas del diseño original de Rojas en 2015 que es una tesis de maestría del programa de Hidrosistemas, junto con la caracterización del artículo científico de Rossel et al. (2020) y el análisis de agua con muestreo compuesto que se realizó en este trabajo en colaboración con la administración y el personal de mantenimiento de AO.

La caracterización del agua y el flujo fue medida de la entrada (afluente) y la salida (efluente) de la PTAR con un muestreo puntual de agua y muestreo compuesto de 3 horas (9:00, 12:00 y 15:00 horas) en 3 días diferentes, lunes, miércoles y viernes durante el mes de abril, en un período de afluencia normal de personas en el campus.

Los parámetros más relevantes por discutir son la DBO₅, DQO y SST que son parámetros que fueron realizados en las 3 evaluaciones que se les realizaron a la PTAR HS y por ello se pueden comparar.

La DBO₅ en el caso del afluente se encuentra en los valores esperados para un agua residual típica (Tabla 5); el efluente, en el análisis del 2020, se observa que no cumple con la NOM03-SEMARNAT1997. En ese período, el humedal estuvo desprovisto de vegetación lo cual pudo tener un impacto en el tratamiento del agua residual, aunque la remoción estimada de DBO₅ fue de 69%. Los datos de DQO muestran un comportamiento similar; en el afluente, Rojas (2015) reportó 482 mg/L mientras que Rossel et al. (2020) reportó 1549 mg/L (Tabla 21), es decir, valores notablemente mayores a lo esperado en un agua residual típica de 339 mg/L (Tabla 5). El valor de DQO en el efluente que Rossel et al. (2020) reportó de 493.9 mg/L no cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021 la cual indica que debe ser menor a 60 mg/L.

Los SST en el afluente medidos por Rojas (2015) fueron de 226 mg/L y de 202 mg/L lo reportado por Rossel et al. (2020) los cuales no corresponden a los valores que se esperan para un agua residual típica que se proponen en 130 mg/L (Tabla 5); de esta forma, el efluente no cumple en cuanto a SST con la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En los análisis reportados en 2020 por Rossel et al. del afluente y del efluente hay incumplimiento debido probablemente a que en ese tiempo no estaba funcionando el humedal adecuadamente con base a las condiciones de diseño en donde se consideraba que la vegetación estuviera cubierta de agua porque las actividades de un número de personas usuarias del campus generarían esa agua residual.

Los análisis obtenidos en este trabajo son contrastantes con respecto a las otras evaluaciones y a lo esperado de acuerdo con la literatura; la caracterización fisicoquímica del afluente es adecuada para un flujo bajo que se determinó en 190 L/cápita-d (Anexo 5) y los parámetros fisicoquímicos determinados en el efluente cumplen con la norma. En el período en que se tomaron las muestras de agua para su análisis como parte de este trabajo, la afluencia de personas en el campus era la normal en un período de actividades, había llovido

recientemente y el personal de mantenimiento había atendido algunas observaciones que se hicieron en una visita previa y que tienen relación con las condiciones de operación según el manual de diseño del humedal, del cual se les hizo entrega.

Tabla 21. Análisis Físicoquímicos del agua de PTAR AO reportados por Rojas (2015), por Rossel et al (2020) y este trabajo (2024).

Parámetro	Afluente	Efluente
	290 (2015), 658.4 (2020), 21.16 (2024)	30 (2015), 117.7, 82.2% de remoción (2020) 15 (2024)
	482 máximo (2015), 1549.5 (2020), 58.5 (Hdz, 2024)	493.9, remoción de 68.8% (2020), 16.5 (2024)
	226 (2015), 202 (2020), 80 (Hdz, 2024)	40 (2015), 60.7 Remoción de 62.3% (2020)

La PTAR AO, como lo reporta la entidad, es un humedal construido cuyo sustrato tiene una composición de gravas y arenas, y está plantado con carrizo, el cual elimina metales pesados y aprovecha la materia orgánica proveniente de los drenajes (Reporte Greenmetric, 2022). En la Figura 38 se aprecia la PTAR AO cuando se revisó en este estudio; en la Figura 39 se puede apreciar los componentes de la PTAR de acuerdo con sus planos y que consiste en rejillas para la retención de basura y sólidos gruesos, caja con válvula de control del caudal, un tanque de sedimentación y el humedal construido. La Figura 40 nos ayuda a comprender mejor el flujo del agua en el sistema y sus etapas esquematizadas.

En la inspección física se observa en la primera etapa de la PTAR, en las rejillas una acumulación de ramas secas y residuos sólidos, es decir, falta mantenimiento. En la celda 1 o A del humedal, la cobertura vegetal fue solo de 15% y se observó una mezcla de especies de plantas que se fueron desarrollando y en la celda 2 o B se observa una cobertura de vegetación del 100% pero en malas condiciones, indicando cierto grado de abandono del humedal, finalmente se observa un pequeño efluente (Figura 41). Ante estas condiciones, se recomendó mantenimiento de la PTAR como el desazolve en la unidad de rejillas, la operación de una sola celda del humedal (por ejemplo, la celda 1 en la Figura 40 D).



Figura 38. Vista exterior actual de PTAR AO

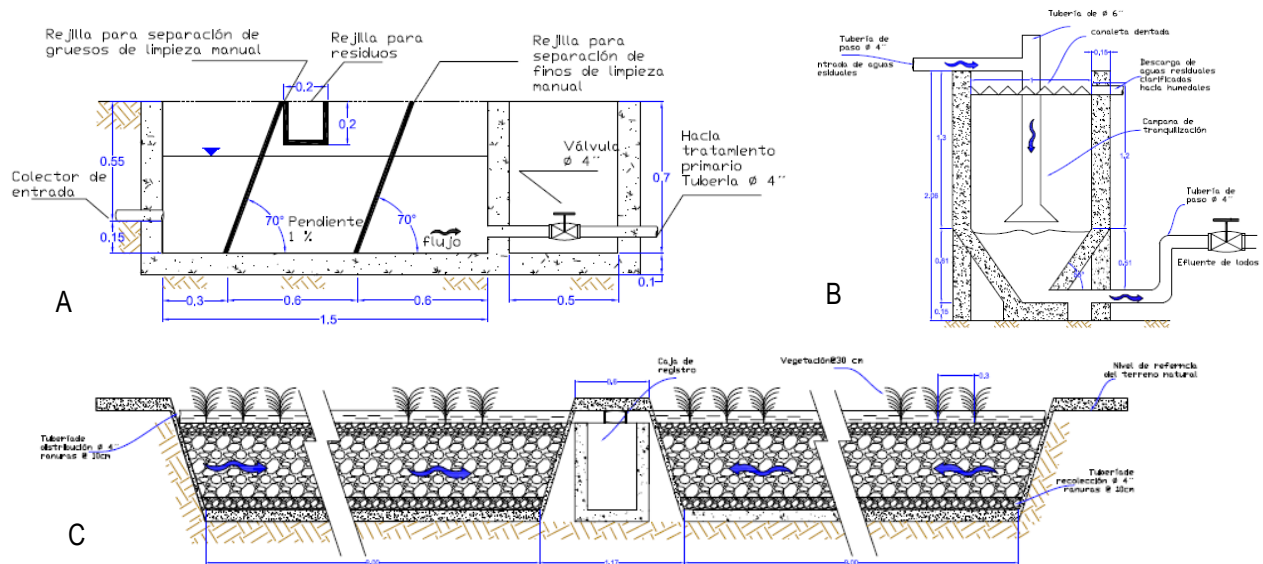


Figura 39. Plano arquitectónico de canal de desbaste (A), sedimentador primario tipo circular (B), Humedal (C) corte transversal, PTAR AO (Rojas, 2015).

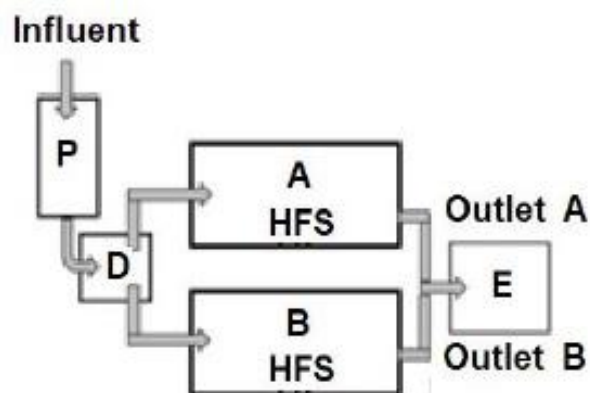


Figura 40. Diagrama esquemático del flujo del AR de PTAR AO. P es la unidad de separación de sólidos gruesos, D es una Trampa de arenas, HSF es el Humedal de flujo subsuperficial y E es un Tanque de almacenamiento (Kipping et al., 2020).

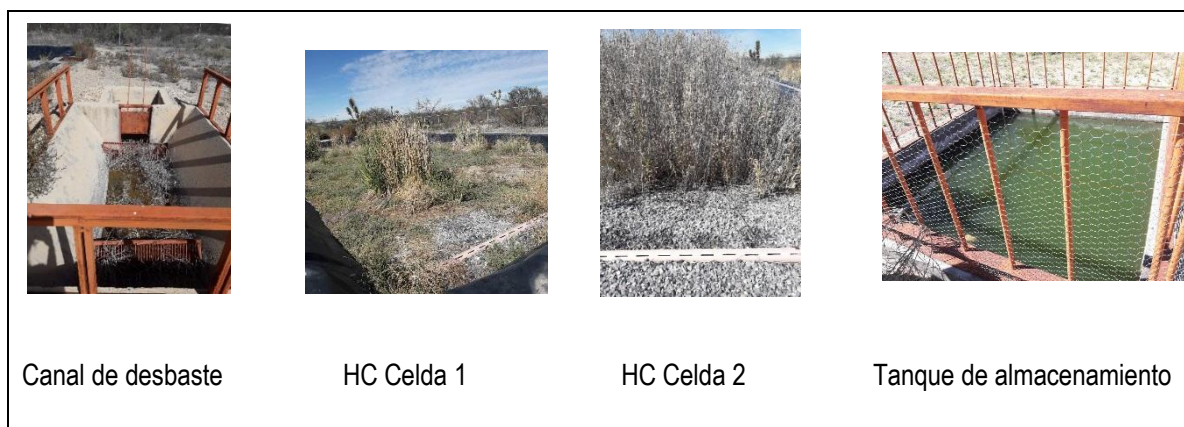


Figura 41. Procesos de PTAR AO observados por visita de campo en abril de 2024.

En la Tabla 22 se muestran los resultados del análisis de campo realizado como parte de este trabajo sobre el estado de conservación de la PTAR en abril de 2024. En el capítulo de metodología se indican los criterios que se establecieron en este trabajo para el análisis de la operación de las PTAR y se obtuvo un porcentaje promedio de funcionamiento de 72% debido principalmente a la falta de mantenimiento, el fenómeno de que no se controla el nivel de agua en el humedal por el afluente es inexistente y no prevén mantener inundadas las celdas para beneficio de la vegetación y el sobredimensionamiento que presenta; esto impacta principalmente en la vegetación del humedal construido y en conjunto al funcionamiento de la PTAR. Por su naturaleza de HC no cuenta con instalaciones de electricidad e instrumentación.

Tabla 22. Funcionamiento de la PTAR AO

Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)		
Proceso de diseño o instalaciones	Estado de conservación	Comentarios
A. Pretratamiento: Canal de desbaste y un desarenador	Bueno (4)	Se observó lo descrito en la literatura a excepción que faltaba limpieza de objetos voluminosos como ramas y RSU
B. Tratamiento primario: Sedimentador primario tipo circular	Bueno (4)	Se observó lo descrito en el diseño
C. Tratamiento secundario: Humedal construido	Regular (3)	Vegetación en un 15% en Celda 1 (<i>Typha latifolia</i>) y 100% en densidad en Celda 2 (<i>Phragmites australis</i>) con decoloración
D. Instalaciones civiles	Bueno (4)	Están en buenas condiciones
E. Instalaciones mecánicas y de tubería	Regular (3)	No cuenta con instalación mecánica, la mayoría de tubería debe ser cambiada por deterioro del sol.

4.5.2 CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y DE GESTIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR AO

En la Tabla 23 se observan los aspectos relevantes del estado socioeconómico actual de la PTAR AO, recuperados por comunicación personal con el diseñador el Dr. R. Cisneros Almazán, la cual no representa un gasto significativo por su naturaleza de humedal construido donde no se requiere mucho mantenimiento.

Los humedales construidos son soluciones prácticas para el manejo de agua particularmente en regiones que cuentan con pocos recursos hídricos. Algunos autores indican que es factible y benéfico implementar humedales construidos en climas áridos, semiáridos y mediterráneos (Lachinani y Abna, 2023).

La PTAR AO es producto de la gestión exitosa de profesores de la Facultad de Ingeniería junto con profesores y directivos de AO y el ayuntamiento de Salinas quienes otorgaron el recurso económico para su creación. En un comienzo había un profesor de AO en conocimiento del funcionamiento del humedal y era el responsable y quien cuidaba de la PTAR con ayuda del personal administrativo y de mantenimiento. La AO tiene un enfoque académico productivo en donde sus carreras agroindustriales buscan producir alimentos como parte de un

ejercicio educativo, se propone en escenarios futuros que la PTAR forme parte de la producción buscando cultivar plantas ornamentales para venta (sección 4.6.1).

La PTAR AO es reportada en los informes de la dependencia y tienen asignado personal para su supervisión. Como parte del abordaje participativo de esta investigación se capacitó (Figura 42) al personal de mantenimiento (2 personas) y administrativo (1 persona) asignado al cuidado de la PTAR AO, ya que se detectó que existía un manual de operación que al parecer las personas no sólo desconocían, sino que tampoco habían sido capacitadas para que el humedal funcione en óptimas condiciones. Esto se realizó a través de la vinculación con la Agenda Ambiental y uno de los diseñadores de la PTAR el Dr. Rodolfo Cisneros de la UASLP con todas las formalidades necesarias.

Además de la capacitación en campo, se entregaron por correo electrónico recomendaciones técnicas (Anexo 4) que consistieron en:

1. Canalizar el afluente a una sola celda (2 en lugar de la celda 1) que muestra estar en mejor estado de conservación incluida su vegetación.
2. Limpieza, remoción de lodos y residuos de todas las etapas, empezando por las rejillas.
3. Desazolve del humedal con carrizo y retiro de vegetación no propia del mismo
4. Agregar grava al humedal 2 para restablecer el nivel de sustrato de acuerdo con las características del diseño.

No existen bitácoras de operación, pero el personal de mantenimiento y administrativo capacitado está dispuesto a realizar las actividades de mantenimiento y mantener una comunicación y vinculación continua.

Se detecta que hubo un tiempo donde se tenía un sentido de pertenencia de la PTAR que disminuyó al perder follaje el humedal, con los ajustes indicados para que la vegetación vuelva, el involucramiento de la comunidad y museografía se proyecta que regrese este sentido de pertenencia y cuidado comunitario.

Tabla 23. Características socioeconómicas y de gestión de la PTAR ZUP relevantes del estado actual

A. Inversión anual (\$)	<\$900,000 MNX estimado*
B. Inversión inicial (\$)	\$1,900,000 MNX (un millón novecientos) estimado*

*Montos propuestos por Dr. R. Cisneros Almazán, investigador de la UASLP (Comunicación personal)



Figura 42. Capacitación a personal AO

4.5.3 DATOS CUALITATIVOS DEL ESTADO ACTUAL DE PTAR AO

El análisis cualitativo busca responder al cómo y porqué del estado actual de la PTAR AO e identificar los factores o elementos que la llevaron a no estar funcionando apropiadamente. Este análisis se realizó a partir de las entrevistas a 5 actores clave de la PTAR AO.

En la Figura 43 observamos presente la palabra “capacitación” que representa la percepción de que cuando se creó la PTAR no se capacito al personal y se puede agregar que no se entregó manual de operación y puede ser una de las causas porque no esté funcionando óptimamente el humedal. La palabra “invernaderos” representa el involucramiento que pueden tener los invernaderos de la coordinación como parte del manejo sustentable del agua quizás a través de los alumnos y profesores de esa área que se involucren y produzcan algo en el humedal.

En la Figura 44 se observan las frecuencias de códigos encontrados, se identificaron como muy importantes la comunicación, vinculación y el mantenimiento, estos dos códigos se relacionan con la falta de comunicación entre el personal, la dirección y los diseñadores y cómo eso ha afectado al buen mantenimiento del humedal.

El comentario representativo es:

- *“La falta de vinculación entre diseño, construcción, operación y seguimiento.” R.C. (referente a la razón de la suspensión)*

Otro factor encontrado que favorece el estado actual es la capacitación y el aprovechamiento en donde se remarca la necesidad de capacitación y el interés por tener un buen manejo del agua

- “Capacitación: esto lo más y que se dé explicación para que es.” A.R. (referente a la razón de lo que necesitan)

Se puede discutir que se debe hacer un plan de seguimiento en apoyo del Programa Universitario de Agua de la Agenda Ambiental y el Grupo Universitario de Agua para mantener una educación continua.

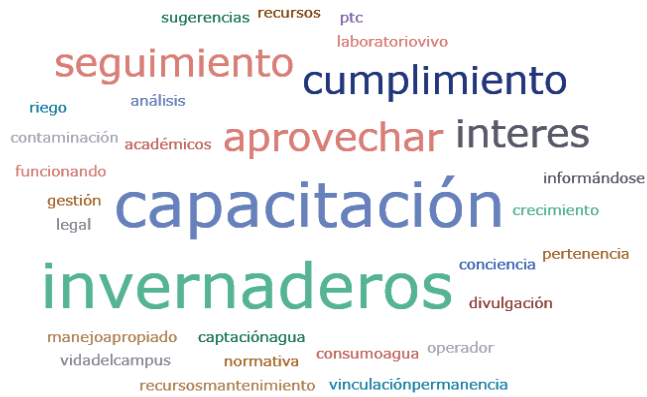


Figura 43. Nube de palabras que representa el estado actual de PTAR AO

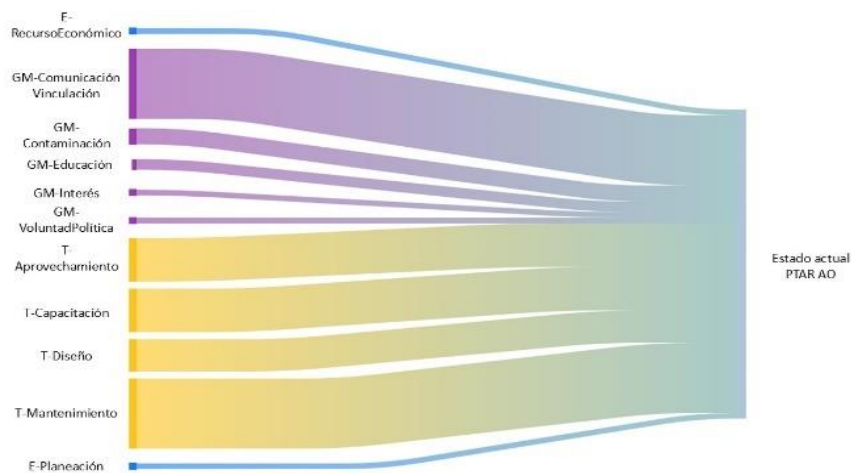


Figura 44. Frecuencia de códigos que representa el estado actual de PTAR AO

4.5.4 DISCUSIÓN ESTADO ACTUAL DE PTAR AO

De acuerdo con la caracterización técnica de la PTAR AO se destacan las conclusiones de Rossel et al (2020) en donde se comenta acerca de la poca agua en el influente y la alta pérdida de agua por evapotranspiración en el humedal. Este hallazgo se puede comparar con las evaluaciones realizadas en este trabajo en donde también se obtuvo un flujo del afluente y el efluente bajo, comparado con el diseño. Otra explicación para la poca agua es que no se han ajustado los flujos del caudal de acuerdo con el número de personas, así como el

ajuste del área del humedal; además de que no se tiene una alternativa para mantener inundado el humedal cuando no hay AR. Los análisis de la calidad de agua indican que la remoción de contaminantes cumple con lo marcado en la normativa (datos de este trabajo en 2024) Además, se detectó una falta de mantenimiento que se atribuye a una falta de comunicación entre el personal de AO y los diseñadores, el flujo de agua residual a tratar y su calidad no justifican el dimensionamiento actual de la PTAR lo cual se puede solucionar con las adecuaciones técnicas presentadas de acotar su uso a una sola celda además de la limpieza y desazolve.

En cuanto a la gestión se resalta la falta de capacitación, vinculación y falta de entrega de manual de operación lo cual es una razón por no tener el humedal funcionando en sus óptimas condiciones. Económicamente no representa un gasto importante en mantenimiento y se valora la colaboración para la inversión inicial.

Se hace énfasis en el sentido de pertenencia, mantener la comunicación y vinculación institucional y hacer productivo el humedal como parte de la educación de sus alumnos y la museografía.

Es importante mantener y mejorar la PTAR AO incluso si no se logra el reúso de su agua tratada ya que los HC reducen los contaminantes presentes en el agua de manera que el agua que se infiltra tiene mejor calidad,

4.6 ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR AO

En esta sección se revisan las características para mejorar la planta de tratamiento de aguas residuales de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (PTAR AO).

4.6.1 ELEMENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS NECESITADOS DE LA PTAR AO

En la Tabla 24 se observan los elementos técnicos necesarios para mejorar la PTAR AO los cuales forman parte de las recomendaciones hechas al personal (Anexo 4) y que corresponden al manual de operación. En aras de ofrecer mejoras para la PTAR AO y asegurar su permanencia, en esta sección se ofrecen opciones técnicas. Observando casos de éxito de humedales construidos (HC) en zonas áridas resalta el modelo de la Figura 45 en donde se recolectan y tratan las escorrentías y el agua residual y se infiltra a los recursos hídricos, de forma que aportan a crear un hábitat para la vida silvestre y oportunidades educativas y recreativas (Lachinani y Abna, 2023). Se pueden aplicar algunas de estas técnicas a la infraestructura existente, como las zonas de amortiguamiento para que ayuden a la captación de agua de lluvia y atraer el agua hacia el HC, considerando o modificando el terreno buscando tener escalinatas de suelo para crear ecotonos junto con la vegetación obteniendo zonas altas y bajas que lleguen al HC.

Entre las opciones hay que valorar vincular la captación de agua de lluvia con la que ya cuenta el campus, como parte de su manejo integral del agua; como concluye Lachinani y Abna (2023) es importante mencionar que las fuentes de abastecimiento principal de estos humedales en zonas áridas es el agua pluvial. Y al mismo tiempo

tener en cuenta que esa agua de lluvia puede utilizarse en los invernaderos, en particular en el campus de la UASLP que se analiza en esta sección.

En el caso de lograr un mayor flujo de agua y si al medir su calidad no se logran los parámetros requeridos para el riego se podría incluir un tratamiento de desinfección para eliminar los microorganismos y cumplir con los parámetros de calidad establecidos en la NOM003-SEMARNAT-1997 que de acuerdo con los análisis de calidad de este estudio no están cumpliendo. Una vez que se tenga agua tratada con la calidad requerida, se puede buscar conectar el tanque de almacenamiento al sistema de riego.

Otras sugerencias técnicas son considerar ajustar los flujos para contrarrestar la evapotranspiración de manera que en los parámetros de operación del humedal se monitoree la carga hidráulica, considerar balances hídricos, el tamaño de la población, la red de drenaje y su conexión al HC. También, aunque el carrizo (*Phragmites australis*) ha mostrado ser resistente, se puede probar con otras especies fitorremediadoras que sean tolerantes tanto a la escasez de agua como a la sal, ya que Salinas de Hidalgo es una zona con altos contenidos de sales en el suelo y agua. Tomando en cuenta que un humedal es un sistema que se mantiene inundado por lo que dentro de las propuestas de rehabilitación se incluye el mantener el nivel del agua necesario de acuerdo al ajuste de los flujos.

Tabla 24. Características técnicas relevantes para mejorar PTAR AO

Acción	Detalle
A. Ajustar el flujo a 2.5 m ³ /día y disminuir el área del HC	Cierre de entrada a celda 2 para que el agua residual vaya toda la celda 1 donde se encuentra carrizo
B. Limpieza y desazolve	Remover residuos sólidos urbanos, ramas y lodos de rejillas (P de Figura 32), remover lodos de (D de Figura 32) y etapas intermedias con acceso.
C. Reponer grava y vegetación a celda 1	Agregar grava hasta cubrir el nivel de tubería
D. Instalación y modificación de tubería	Reemplazar tuberías en mal estado y agregar tuberías para reúso de la PTAR

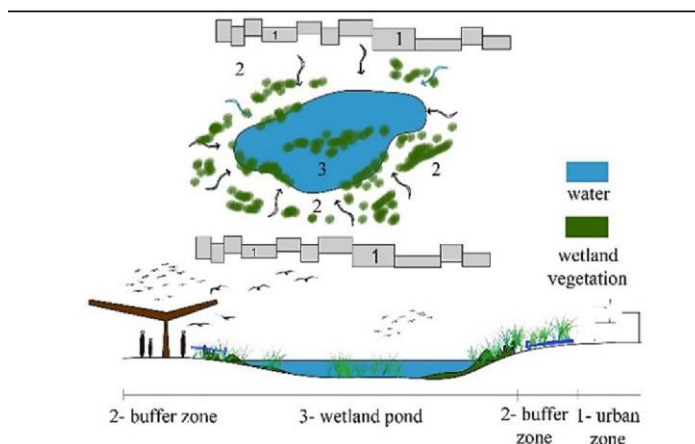


Figura 45. Patrón 4 de caso de estudio (Lachinani y Abna, 2023)

En Tabla 25 se puede discutir que se deben realizar acciones de gestión que nacen a partir de la voluntad política en donde se debe vincular el campus con grupos de investigación, entidades de gestión como el cuerpo académico de Hidrosistemas, la Agenda Ambiental y el Grupo Universitaria del Agua, ya en estas entidades se encuentra personal experto y/o dispuesto a capacitar que junto con alumnos que busquen realizar su servicio social o trabajos de investigación en relación a la vigilancia y mantenimiento que requiere la PTAR.

En cuanto al análisis del agua, se propone que se vincule AO con los laboratorios identificados en sección 4.1. Esta capacitación y vinculación es lo que predomina en las necesidades de gestión de AO.

Tabla 25. Características de gestión relevantes para habilitación de la PTAR AO

Acción	Detalles
A. Vincular con académicos expertos y laboratorios que analicen el agua y sean cuidadores intelectuales	Generar constante evaluación de la PTAR que funcione para educar a través de proyectos de investigación y generar conocimiento. Involucrar a entidades que tienen a los expertos, que se realicen análisis de calidad de agua periódicamente y vincule su funcionamiento a un manejo sostenible del agua.
B. Curso de capacitación a personal de mantenimiento e involucrados en cuidado de PTAR	En colaboración con expertos de UASLP programar capacitaciones periódicas.

Para el caso de la PTAR AO es importante que su existencia signifique un ingreso además de ayudar a no contaminar, esto se puede lograr a través de una actividad productiva. Hay ejemplos de productividad en un HC, como sucedió en la comunidad de Morelos en el estado de Puebla, México en donde además de tratar su agua residual obtuvieron plantas y flores ornamentales como la flor de alcatraz, junco y humus con indicadores

financieros positivos, que indican la viabilidad de instalar un humedal en la comunidad de Morelos. De acuerdo con el enfoque de sustentabilidad, desde lo social es viable porque genera empleos para las personas de la población; en lo económico les genera ingresos y mejor calidad de vida, con un buen impacto ambiental porque ayuda a reducir la contaminación de los ecosistemas de la zona, pero principalmente para evitar la filtración hacia los mantos acuíferos (Mejía et al., 2022). Se sugiere probar con esta vegetación productiva, observar cual sobrevive e incluso probar con otras especies adecuadas para las condiciones del lugar, y de valor económico, éstas además de la vegetación fitoremediadora principal, el carrizo para apoyar el tratamiento del AR.

En la Tabla 26 observamos las características socioeconómicas relacionadas a la PTAR AO, entre ellas los indicadores financieros (Anexo 2.3) que son cruciales para los tomadores de decisiones. Para la obtención de los indicadores financieros se consideraron los costos de pago por agua entubada, además se consideraron los costos implicados de 5 años de mantenimiento y operación y los posibles ingresos por ejecutar una actividad productiva.

Las TIR, VAN y RBC obtenidas son aceptadas e indican retornos superiores a lo que se requiere invertir de forma que se recuperará la inversión y los costos de mantenimiento y operación, además de una ganancia para la AO y expresan beneficios por unidad monetaria invertida en la PTAR en su horizonte de años, indicando que el proyecto es viable. En este caso observamos una TIR muy alta, esto es debido a los bajos costos de inversión, por lo que se debe concentrar en la RBC que tiene un valor positivo de 1.6; valores mayores a 1 sugieren un proyecto más benéfico que costoso.

Los costos de mantenimiento consideran las horas-hombre que se requieren y de las cuales ya cuentan con personal capacitado, estas horas pueden disminuir si se absorbe el costo al ser ejecutadas por personal de la UASLP; pero también, aquí se considera la compra y entrega del equipo de protección personal y herramienta requerida y los costos de reposición de grava y tuberías.

Los aspectos económicos son favorables hacia las implementaciones de mejora de la PTAR AO, pero también tienen peso los beneficios sociales a la comunidad ya que se contribuye a las buenas prácticas de gestión ambiental que la dependencia ya conlleva.

La comunicación y educación ambiental predomina en estos casos en donde se requiere lucir los esfuerzos del campus para mantenerlo ligado a los demás campus de la UASLP y su participación en el Programa Universitario de Agua tanto en su eje técnico como educativo, esta vinculación es importante pero además internamente en AO se resalta el sentido de pertenencia lo cual aporta a que la PTAR sea cuidada a través del tiempo por la misma comunidad, al mismo tiempo que educa al público general y a los estudiantes.

Tabla 26. Características socioeconómicas relevantes para la habilitación de la PTAR AO

Acción	Detalle
A. Asignación de presupuesto permanente anual para mantenimiento y operación.	\$100,000 MXN estimado
B. Aprovechamiento productivo de humedal construido.	\$100,000 MXN estimado
C. Tasa interna de Rentabilidad (TIR)	64 %
D. Valor actual Neto (VAN)	\$193027.2 se acepta
E. Relación Costo-Beneficio (RBC)	1.6, se acepta
E. Incluir comunicación y educación ambiental	Con infografías museográficas permanentes en el sitio, así como digitales como parte de campañas de cultura del agua.

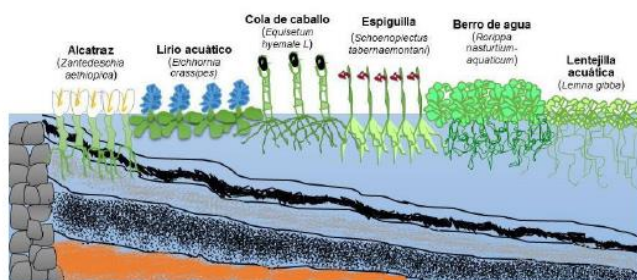


Figura 46. Corte transversal de humedal con plantas fitoremediadoras, ejemplo de HC productivo de Mejía et al., (2007)

4.6.2 DATOS CUALITATIVOS PARA EL MEJORAMIENTO DE PTAR AO

El análisis cualitativo busca responder al cómo y por qué se puede mejorar la PTAR AO e identifica los factores o elementos que son necesarios para ello.

En la Figura 47 observamos en la nube de palabras la repetición de “capacitación” e “invernaderos” lo cual es interesante ya que son las palabras más frecuentes en la nube del estado actual de este mismo caso, lo cual reitera su necesidad de capacitarse en el presente y en el futuro y se correlaciona con la Figura 48 en donde una frecuencia clara es el código “Técnico-Capacitación” y “Gestión_Motivantes-Comunicación_Vinculación”, este último nos indica la necesidad de comunicarse con los expertos y con las instancias institucionales así

como la vinculación y gestión con los laboratorios que analicen su calidad de agua. Un comentario relacionado es:

- *"pueden tener mayor permanencia si se hace parte de la vida del campus, de sus intereses académicos y de divulgación de la ciencia" R. C. (referente a cómo puede funcionar mejor la PTAR)*

Este comentario también refleja el código de "Gestión_Motivantes-Interes" y se correlaciona con lo mencionado del sentido de permanencia.

Otra frecuencia es "Técnico-aprovechamiento" que representa el interés de los actores clave de tener un buen manejo del agua del campus y de aprovechar el proyecto ya construido, un comentario relacionado es el siguiente:

- *"...le queremos dar seguimiento, buscar los medios adecuados para trabajarla, quizás PTC del área de invernaderos con proyecto se puede asignar y al operador entregarle equipo de protección personal adecuado" A. R*

Este comentario nos afirma su interés, así como disponibilidad para ofrecer los medios necesarios para mantenerla, se refuerza esta idea con las palabras (Figura 47) "interés" y "seguimiento". La palabra repetida "invernaderos" empata en este comentario también.



Figura 47. Elementos cualitativos para la rehabilitación de la PTAR AO.

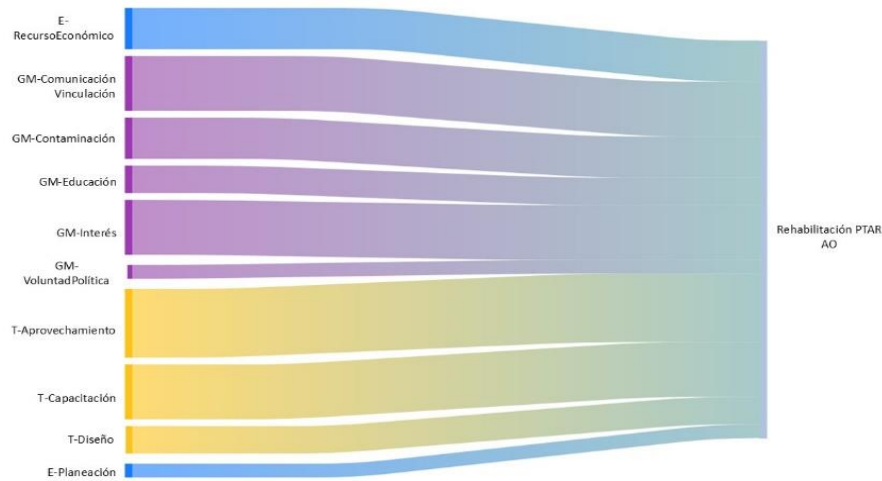


Figura 48. Elementos cualitativos para la rehabilitación de la PTAR AO.

4.6.3 DISCUSIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PARA MEJORAR LA PTAR AO

En los puntos revisados para mejorar la PTAR AO, el aspecto técnico se resume en las propuestas de mejora expuestas y compartidas con el personal, así como la posibilidad de que forme parte del manejo de agua del campus y se agregue la tubería y conexión necesaria para reutilizar el agua en el riego o en los invernaderos, esto a partir de asegurar que se esté recuperando agua tratada de la calidad apropiada.

En cuanto a la gestión, se debe mantener la vinculación institucional y el seguimiento para apoyar en cualquier ajuste técnico que se requiera, así como la capacitación continua.

En los aspectos socioeconómicos destaca el convertir la PTAR AO en productiva y se involucren al programa educativo de agroindustrial en la venta de plantas ornamentales cultivadas en el humedal.

4.6.4 PROPUESTA PARA PTAR AO

Reuniendo los aspectos del estado actual y las propuestas de mejora para la PTAR AO en este trabajo se proponen los siguientes escenarios futuros, todos como parte de un manejo integral del agua:

1. Utilizar solo la celda 1 con *Phragmites australis* del humedal construido (HC), tener mantenimiento y seguimiento semestral junto con análisis de agua, producir en HC plantas ornamentales para venta y habilitar el reúso del agua tratada para el riego y para los invernaderos, enfatizar comunicación y educación ambiental.
2. En caso de no reunir suficiente agua, usar PTAR de forma experimental para fines de investigación con profesores y alumnos de AO, incluyendo proyectos de cosecha de lluvia.

PTAR Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media

4.7 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR UNIDAD ACADÉMICA MULTIDISCIPLINARIA ZONA MEDIA (ZM)

La planta de tratamiento de aguas residuales de (PTAR ZM) se encuentra suspendida, aunque estuvo en funcionamiento entre los años 2014 y 2019. La PTAR ZM se construyó para tratar el agua residual (AR) del campus y como proyecto de investigación que buscó probar y evaluar procesos de coagulación y floculación como parte de un reto tecnológico.

En este documento se describe la construcción existente de la PTAR y su estado actual de conservación, la comparación con las referencias encontradas respecto al proceso original diseñado, la información recopilada de su funcionamiento y la literatura pertinente.

En la Tabla 27 se presenta la información general de la PTAR ZM que se diseñó bajo la necesidad de que no había drenaje municipal cercano al campus en 2014 año en que se construyó la planta; en la actualidad ya existe cobertura de drenaje, lo cual podría explicar las razones por la que está suspendida en la actualidad o simplemente porque concluyó el proyecto de investigación de la investigadora que estuvo a cargo de la PTAR.

Para caracterizar y analizar la PTAR es importante explicar el manejo actual del agua del campus y el contexto del lugar; esta información es relevante para considerar la factibilidad de la puesta en marcha de la PTAR.

El campus de la UASLP en la ZM se encuentra en una zona urbana en el municipio de Rioverde, S.L.P. (Mex.); el municipio se encuentra a 133 km de la capital. Asisten a esta dependencia un estimado de 1,531 alumnos y profesores (UASLP, 2022) sin considerar al personal administrativo y trabajadores. Tiene un área de 102,000 m² aproximados, se llevan a cabo actividades desde las 7:00 a las 20:00 h y sábados de 7:00 a 14:00 h, las cuales varían durante el año, se tienen 160 días oficiales hábiles de clases que son los de mayor actividad y 45 semanas al año de actividad de investigación y administrativa, lo que corresponde al calendario oficial de la UASLP.

Dentro del campus se encuentra una cafetería, biblioteca, aulas, un área administrativa, estacionamientos, canchas deportivas, laboratorios, sanitarios, auditorio, áreas abiertas, áreas verdes, un gimnasio, un huerto y un corral.

El agua de primer uso que se utiliza proviene de un pozo sin concesión ya que no llega suficiente agua entubada a la zona y se usa para los servicios de baño y el riego.

Las áreas verdes (Figura 49) incluyen una cancha de fútbol (Figura 50) y el área estimada de riego es de 9,016.3 m² con 39 especies de plantas estimadas (Agenda Ambiental, 2021). No se nos proporcionó la información correspondiente a la cantidad de agua que se extrae del pozo.

El riego es relevante ya que el efluente de agua tratada de la PTAR fue proyectado para riego de sus áreas verdes.

Tabla 27. Información general de PTAR ZM

A. Ubicación:	Carretera Rioverde-San Ciró, Km 4, Rio Verde - San Ciró 502, El Carmen, 79615 Rioverde, S.L.P.
B. Ubicación geográfica (Longitud, Latitud)	21°55'49"N 99°59'30"O
C. Procedencia del agua de primer uso	1 pozo
D. Cantidad de agua de primer uso (m ³ /d)	110 estimados para servicios (comunicación personal del encargado de Mantenimiento de la Dependencia)
E. Usos del agua de primer uso	Servicios sanitarios, producción agrícola en huerto, laboratorios, riego áreas verdes
F. Destino de descargas	Drenaje municipal



Figura 49. Áreas verdes de ZM (Nieto, 2024)



Figura 50. Canchas ZM (UAMZM, 2024)

4.7.1 CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR ZM

En la Tabla 28 se muestran algunas características técnicas relevantes de la PTAR ZM que se describen en el Anexo 2.4. La PTAR ZM fue diseñada para obtener un efluente con calidad para regar las áreas verdes bajo el cumplimiento de la normativa vigente de ese año la NOM001-ECOL-1996 con un horizonte de 15 años.

Actualmente ya cuentan con drenaje municipal, donde se descargan las aguas residuales de todas sus instalaciones por lo que no existe preocupación por cumplir con la normatividad de descarga y no sufren de escasez de agua de primer uso, por ahora, ya que se percibe que hay disponibilidad de agua del pozo, por el momento, su uso no está regulado.

Las características fisicoquímicas del afluente fueron determinadas en muestras de agua obtenidas de un muestreo puntual (Anexo 2.4) para esta investigación y corresponden a un agua residual cruda cuyos parámetros muestran valores dentro de lo esperado para un agua negra típica (Tabla 5). Para el diseño original en 2014 se realizó una caracterización detallada de DBO₅, SST, turbidez, color (verdadero y aparente), pH, y temperatura; se diseñó para una DQO de 500 mg/L y se dio “especial atención en la composición de los sólidos en el agua, tanto disueltos como suspendidos pues se investigaba sobre la aplicación de un proceso de coagulación - floculación. El tratamiento primario de las aguas residuales tiene como principal objetivo, reducir la cantidad de sólidos, principalmente suspendidos totales (SST), mediante el proceso físicoquímico de coagulación-floculación-sedimentación y/o filtración” (Vázquez, 2014). Como parte de la evaluación del proyecto, Vázquez (2014) evaluó la eficiencia de la planta con base en la remoción de los contaminantes con el análisis de la DQO por cada tren de tratamiento; se muestra un ejemplo en la Figura 51.

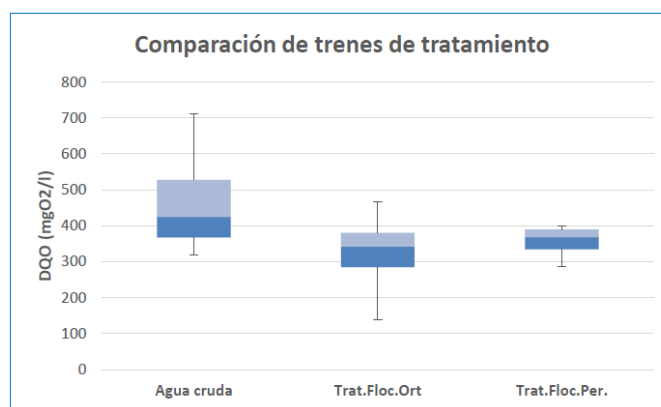


Figura 51. Ejemplo de análisis de remoción de contaminantes de la PTAR ZM (Vázquez, 2014)

Es importante mencionar que entre las razones de la suspensión de la PTAR fue la falta de compra de los reactivos para el análisis de agua, de acuerdo con lo que nos comentó la responsable de la planta en una entrevista.

Como se describió previamente, los parámetros proyectados en el diseño original para el efluente fueron considerando la calidad de agua para riego cumpliendo con la NOM-001-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Se pueden apreciar estos parámetros en la Tabla 5 de la sección 4.1.1 Es importante buscar reusar el agua tratada para la ZM ya que no se puede contar solo con el agua del pozo como su agua de primer uso. Dicho pozo forma parte del agua subterránea que se reporta del acuífero de Rioverde; en 2020 el volumen de extracción fue de 134,82 millones de m³, y un volumen disponible de 29.58 millones de m³ (CONAGUA, 2020). También es importante mencionar que de acuerdo a comentarios de algunos agricultores esta zona se caracteriza porque no se vigila por la autoridad la extracción de agua de los pozos concesionados a la

agricultura que es la actividad económica más importante en la región; de esta forma la disponibilidad del agua subterránea no se conoce bien, aunque existen estudios de la UASLP que indican que es un acuífero con alto grado de presión por la extracción de agua.

Un estudio que recopila la información del acuífero de Rioverde menciona que es “un acuífero con un aprovechamiento incipiente en aguas freáticas abundantes hasta uno con una extracción intensiva con un aprovechamiento de aguas freáticas y profundas. Así mismo se observa una gran incertidumbre en cuanto a su disponibilidad, ya que los valores de la recarga varían ampliamente. En la extracción se incrementa el número de pozos, que generan abatimientos y desaparición y reducción de caudales de manantiales (Aguilar et al., 2024).

De acuerdo con Aguilar et al. (2024) “El aprovechamiento del agua subterránea debería considerarse como un componente del ciclo hidrológico, que permita la persistencia de las áreas agrícolas y de las poblaciones, así como el equilibrio ecológico de los sistemas dependientes de esta agua como ríos, humedales, fauna y flora, con mínimos impactos negativos al ambiente”.

El efluente que se planeó en 2014 fue de 75.2 m³/d con base a las necesidades de riego en ese momento, aunque actualmente estima requerir para cubrir los servicios de los edificios de 110 m³/d sin considerar el riego. A través de la evaluación que se realizó en este trabajo en campo, se considera que el efluente tratado, en las condiciones actuales, no lograría cubrir las necesidades totales del campus y más bien se podría usar solo para el riego de las áreas verdes y así disminuir el uso del agua del pozo. El tanque de almacenamiento de la PTAR tiene la capacidad de cubrir las necesidades de riego del campus.

Tabla 28. Características técnicas de la PTAR ZM relevantes

A. Tipo	Proceso fisicoquímico con tecnología de floculación-coagulación
B. Año de inicio de la construcción	2014
C. Año de operación / tiempo de operación	2014, 3 años (2014-2017)
D. Área de PTAR (m ²)	616.4
E. Número y tipo de tanques o etapas del diseño	3 etapas, pretratamiento con cribado, trenes de tratamiento Floculación Orto-Cinética, Tren de tratamiento Floculación Peri-cinética y sedimentación, flotación y microtamizado.
F. ¿Cómo planeaba llegar el agua residual (AR) a la PTAR?	Bombeo
G. Tiempo de retención hidráulico (h) planeado	1.5 promedio
H. Consumo energético planeado (kW/d)	1.3 al día estimado
I. Cantidad (m ³ /d) del afluente a tratar	172.8
J. Cantidad (m ³ /d) del efluente tratado	75.2

En la Figura 43 se puede apreciar la PTAR ZM como se encuentra en la actualidad, suspendida, cuenta con todas las etapas consideradas en el diseño original con excepción del laboratorio que está a la mitad de la obra negra (Figura 53), la modelación del diseño original de Vázquez (2014) nos ofrece el panorama completo de la PTAR (Figura 52) las etapas se aprecian en la Figura 55: Pretratamiento con cribado, trenes de tratamiento 1 floculación ortocinética, tren 2 floculación pericinetica, sedimentación, flotación y microtamizado.

Se buscó resolver el problema en función de su situación cultural, geográfica, económica donde se generen. Promoviendo con ello el consumo de insumos nacionales así mismo generando la aplicación de tecnologías propias que abarquen el espacio mínimo necesario, ocupando el menor consumo de fuentes de energía. Adicionalmente se pretende ofrecer a las plantas que no se encuentren operando, la posibilidad de que estas sean rehabilitadas (Vázquez, 2014).

Por inspección visual se observa que la PTAR está en un estado de abandono, hay vegetación cubriendo gran parte de la planta y es difícil caminar a su alrededor.

De acuerdo a lo que se nos explicó en la visita de campo, la primera etapa de cribado y desarenado removía objetos y partículas de tamaño grueso a través de un sistema físico de barras espaciadoras después en el

sistema desarenador se inyecta oxígeno a través de un equipo de bombeo y bypass de tuberías; aquí se incluye una trampa de grasas y tanque homogenizador. Estos elementos están bajo tierra y en la visita no se pudieron visualizar.

Después del pretratamiento, se ubican los trenes de tratamiento físicoquímicos de floculación de forma ortocinética y floculación pericinéctica que reduce principalmente SST y DBO₅. Existen dos partes de coagulación, una con aireación y otra con aspa y motor; además existen dos floculadores uno con mampara y otro liso.

Posterior al sistema de tratamiento primario avanzado, se ubica una unidad de sedimentación, flotación y microtamizado para la separación de los sólidos. La PTAR cuenta con un tratamiento avanzado de filtros de arena para retener partículas pequeñas. En estos últimos procesos se observan que corresponden al diseño original. En el momento de la visita de campo, las conexiones entre los tanques estaban cerradas y la conexión con el drenaje de ZM fue desviada para que las aguas residuales no lleguen a la PTAR.



Figura 52. Vista exterior actual PTAR ZM



Figura 53. Laboratorio de la PTAR ZM.



Figura 54. Modelación de la estructura de la PTAR ZM (Vázquez, 2014).

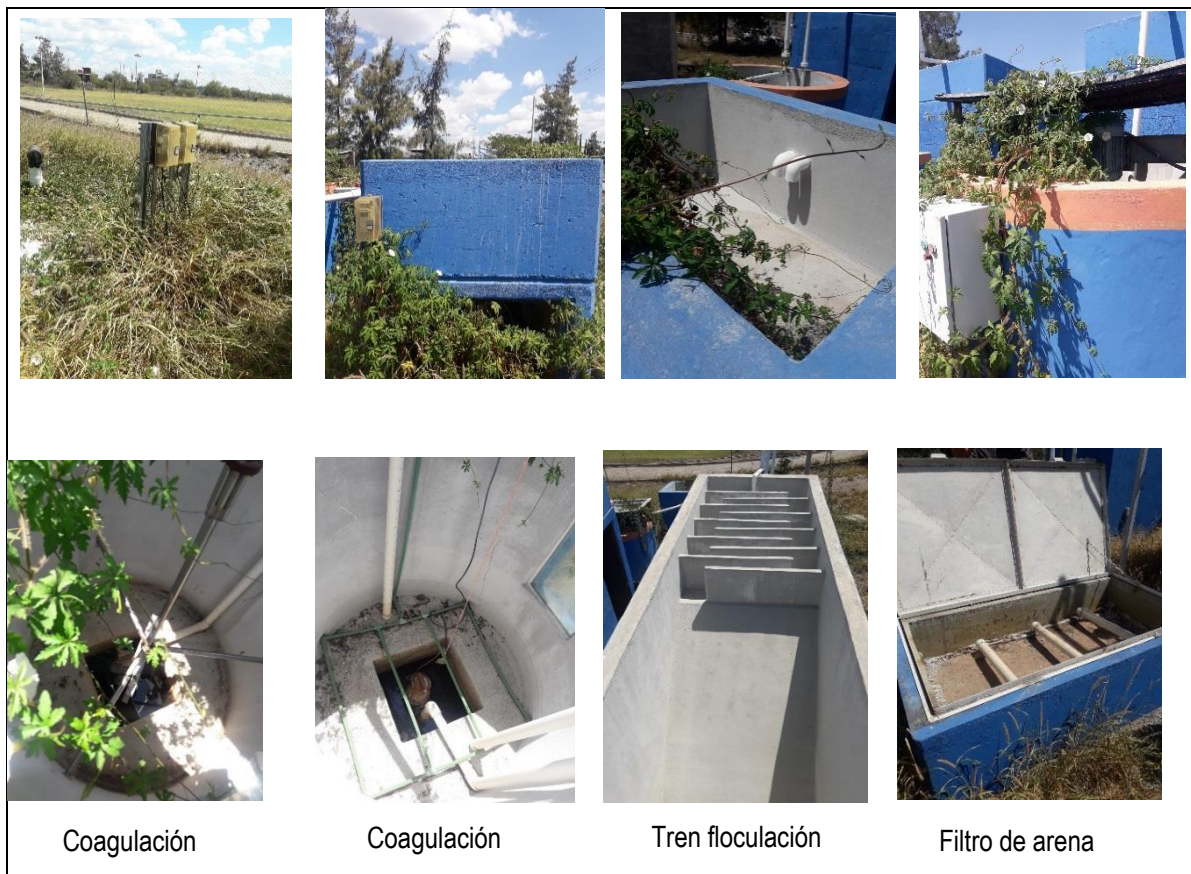


Figura 55. Vista de procesos PTAR ZM

En la Tabla 29 observamos los resultados de la evaluación del estado de conservación actual de la PTAR, evaluados bajo el criterio de la autora de este trabajo y cuyos detalles se enuncian en el capítulo de metodología. Bajo dichos criterios, un 58 % de la PTAR ZM podría considerarse está conservado debido principalmente a que toda la construcción se encuentra en deterioro por su abandono.

En esta parte de la evaluación se resalta que se debe realizar un peritaje por un experto certificado para evaluar las instalaciones civiles.

Tabla 29. Funcionamiento de la PTAR ZM:

Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)		
Proceso de diseño o instalaciones	Estado de conservación	Comentarios
A. Pretratamiento: cribas y desarenadores	Regular (3)	Desconectado de la PTAR, el agua recuperada se descarga en fosa séptica.
B. Tratamiento primario	Malo (2)	La construcción está en mal estado, aunque no hay nada roto
C. Tratamiento secundario: reactor aerobio	Terrible (1)	Se encuentra en malas condiciones, requiere de un sistema de aireación.
D. Tratamiento avanzado: sedimentador y clorador	Regular (3) e Inexistente (0)	Las placas del sedimentador se deben cambiar y ya no se cuenta con el sistema de cloración.
E. Instalaciones civiles	Regular (3)	Hay un deterioro por la exposición al sol, pocas grietas y ninguna ruptura importante en la obra
F. Instalaciones mecánicas y de tubería	Mala (2)	La mayoría de las instalaciones mecánicas están descompuestas o no existen, alguna tubería debe ser remplazada sobre todo conectores
G. Instalaciones eléctricas	Terrible (1)	La mayoría de las instalaciones eléctricas están descompuestas o inexistentes y deben ser reemplazadas por nuevas.
H. Instalaciones de instrumentos y de control	Terrible (1)	También cuenta con camas de secado de lodo

Ya que se tienen muy pocos datos del diseño original y lo que se puede observar está muy deteriorado, en este trabajo se discuten más bien aspectos técnicos en los escenarios futuros.

4.7.2 CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y DE GESTIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR ZM

En cuanto a la gestión, la PTAR ZM fue un proyecto académico de innovación tecnológica titulado “Proceso regenerativo de aguas residuales municipales empleando sulfato de calcio dihidratado para sustituir insumos

importados” dirigido por la Dra. María Concepción Vázquez investigadora de la dependencia ZM quien diseñó la PTAR y fue responsable de su operación. El proyecto lo logró mediante una colaboración con la empresa Yessera Monterrey quien aportó el recurso económico además de CONAHCYT. La PTAR se inauguró en el 2014, después de operar durante 3 años en febrero 2017 se suspende en parte debido a que la investigadora fue removida del encargo de la planta y ya que no se contaba con el recurso económico para comprar los reactivos que la PTAR necesitaba. En fecha posterior, la Dra. Vázquez fue restituida en su encargo, pero la PTAR se mantuvo fuera de operación, según se nos indicó por falta de recursos económicos para su mantenimiento.

En la Tabla 30 se observan los datos socioeconómicos actuales de la PTAR ZM, que actualmente no representa un gasto, pero es importante mencionar que la razón reportada por la que no funciona la PTAR es por falta de recursos económicos. La PTAR ZM figura como un inmueble pasivo con potencial de ser rehabilitado y mejorado, aún está dentro de su horizonte de vida. El personal de la ZM cuenta con la disponibilidad de ser capacitados por la diseñadora, así como la disposición de realizar una cotización de los elementos necesarios a reponer o rehabilitar de la PTAR ZM.

Observamos que el agua de primer uso no representa un costo significativo en este momento, más que las posibles reparaciones del pozo y, a futuro, posiblemente el pago por la explotación del pozo. Se identifican los beneficios ambientales, sociales y educativos de disminuir el uso de agua subterránea sobre todo en el contexto de Rioverde en donde existe una falta de regularización y sobreexplotación del agua subterránea.

Se detectó que la comunidad de ZM no sabía de la existencia de la PTAR, por lo que incluir comunicación y educación ambiental, así como promover una cultura del agua como parte del Programa Universitario de Agua puede generar un sentido de pertenencia y propiciar que la PTAR sea cuidada a través del tiempo por la misma comunidad, mientras educa a la población.

Tabla 30. Características socioeconómicas y de gestión de la PTAR ZM relevantes del estado actual

A. Inversión inicial (\$)	\$680,000.00 aproximadamente MNX más IVA en 2015
B Inversión anual (\$)	\$50,570.00 - \$85,340.00 estimado en 2015.
C. Costo de perforación y reparación de pozo (\$)	\$100,000 MNX estimados*

*Valores estimados de acuerdo comunicación personal con agricultores de la zona

4.7.3 FACTORES CUALITATIVOS DEL ESTADO ACTUAL DE PTAR ZM

El análisis cualitativo busca responder al cómo y porqué del estado actual de la PTAR ZM e identificar los factores o elementos que la llevaron a su suspensión.

En la Figura 56 se observan las palabras que representan el estado actual de la PTAR ZM de acuerdo con los 4 actores clave entrevistados para esta PTAR, destaca sobre todo la palabra “drenaje” relacionado a que durante la creación de la PTAR no había drenaje y fue una de las razones por las que se creó y en el momento actual ya cuentan con drenaje municipal.

En la Figura 57 predomina el código “Gestión_Motivantes-Comunicación_Vinculación”, relacionado a este código se encuentra la palabra “comunicación” en este caso se detecta que no existía una comunicación buena que permitiera la operación apropiada de la PTAR sobre todo entre la dirección, la administración y la responsable de la PTAR así como la vinculación para obtener los medios y recursos necesarios para su mantenimiento; aquí se le puede sumar el código “Gestión_Motivantes-Interes” en donde para la suspensión se detecta un desinterés por apoyar la permanencia del proyecto de parte de las autoridades

Los comentarios representativos de esta discusión son:

- *"Hay desinterés y ha percibido desprestigio o se ha tratado de desacreditar su trabajo entregando toda la responsabilidad de que la PTAR no funcione." C. V.*
- *"No funciona por envidia y diferencias de trabajo" G.F.*

Otro código importante es “Técnico-Mantenimiento” en donde se refuerza que la causa de la suspensión está relacionada a la falta de necesidad por la presencia del drenaje municipal, este código también se relaciona que se dejó de dar mantenimiento.

- *"funcionaba cuando no había conexión a red municipal" M.M.*

Se puede discutir que se requirió un plan de mantenimiento y operación en el plazo de los 15 años de su proyección que considerara asignación de responsabilidades, e involucramiento del personal de diseño, de dirección, de administración, de mantenimiento, otros profesores y alumnos.

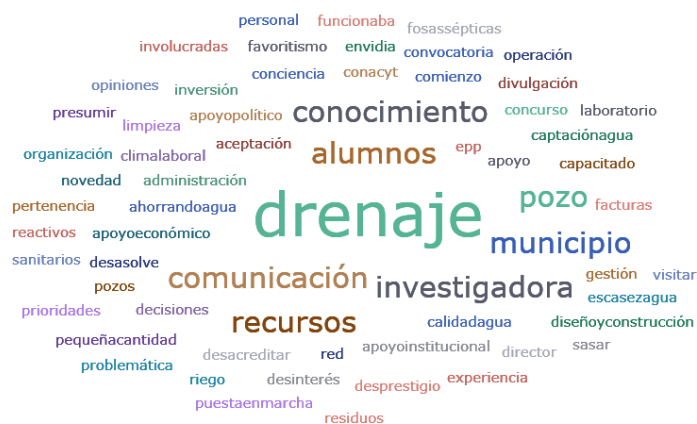


Figura 56. Nube de palabras que explican el estado actual de la PTAR ZM

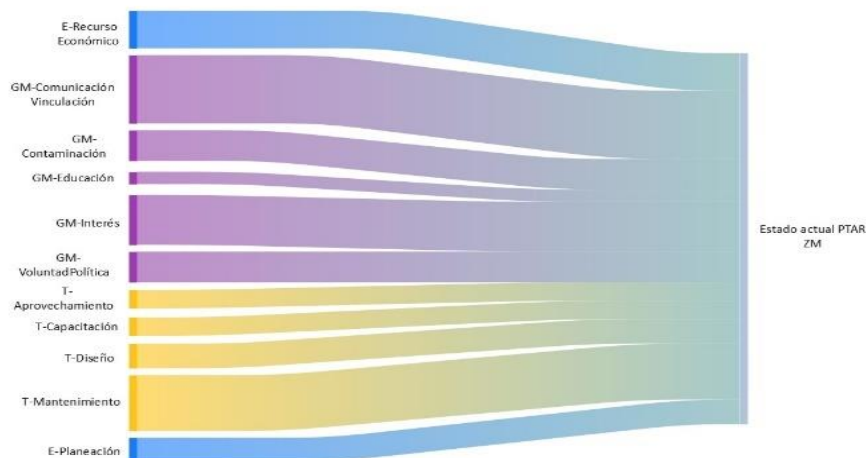


Figura 57. Frecuencia de códigos que explican el estado actual de la PTAR ZM

4.7.4 DISCUSIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE PTAR ZM

De acuerdo con la caracterización técnica de la PTAR ZM se destaca que el estado de construcción aún puede ser aprovechado con algo de rehabilitación, sobre todo de las instalaciones mecánicas, la limpieza y poda de la vegetación alrededor; para su sostenibilidad es necesario buscar reutilizar el agua tratada para riego para disminuir el consumo de agua del pozo.

En cuanto a la gestión del estado actual, lo principal es la falta voluntad política de los tomadores de decisiones del campus para decidir rehabilitar la PTAR ZM y realizar un proyecto que considere todas las variables para su sostenibilidad.

De los aspectos socioeconómicos resalta la inversión que implica rehabilitar la PTAR, así como la importancia de la asignación de un presupuesto que cubra los costos de operación y mantenimiento. La educación y comunicación ambiental son muy importantes de forma que se involucre a la comunidad al participar en el cuidado de la PTAR ZM.

4.8 ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR ZM

En esta sección se revisan las características para rehabilitar la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media (PTAR ZM).

4.8.1 ELEMENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS NECESITADOS PARA LA PTAR ZM

Se pueden observar las características técnicas que requiere la PTAR ZM en la Tabla 31 en donde para implementar las medidas técnicas se debe partir de una decisión de las autoridades de la dependencia y de la

institución y la asignación de recursos correspondientes. En ese caso se podría echar a andar la PTAR ZM partiendo de una limpieza de la vegetación y de la realización de pruebas para conocer la infraestructura mecánica o instrumental que debe ser reemplazada o reparada. Con esta información se podrá generar una estimación de costos para su rehabilitación ya que por inspección visual se observan algunas tuberías en mal estado o que requieren ser pintadas de acuerdo a los estándares para su identificación.

Valorando el conocimiento local y el enfoque participativo del trabajo, un entrevistado comentó la idea de techar la PTAR ya que el sol ha sido el principal factor que la ha deteriorado.

Posterior a su habilitación y que su efluente se utilice para el riego se podría valorar si la cantidad del efluente es suficiente para el riego o si se debe considerar ampliar la PTAR, esto se debe correlacionar con el pronóstico de crecimiento que tiene el campus. La obra inconclusa del laboratorio a lado de la PTAR se debe terminar para que sea ahí donde se realicen los análisis de agua, como de planeo en el diseño original.

Tabla 31. Características técnicas relevantes para habilitar PTAR ZM

Acción	Detalle
A. Limpieza general y poda	Podar vegetación creciendo alrededor, sobre y dentro de la PTAR.
B. Reposición de instalaciones mecánicas y tuberías	Reconectar el drenaje del afluente y el sistema de riego para el efluente.
C. Completar construcción de laboratorio considerado en diseño original.	Terminar obra negra de laboratorio

Para la PTAR ZM el aspecto de gestión es lo más importante sobre todo con las personas que toman las decisiones en la UASLP. Es necesario que los tomadores de decisiones valoren todos los aspectos en relación al manejo de agua de ZM y en cuanto a la PTAR consideren la inversión de recursos económicos e intelectuales que ya se han realizado, así como la prospectiva de la escasez hídrica regional, además de valorar que la UASLP es una institución que busca ser social y ambientalmente responsable y podría ser un ejemplo para la comunidad.

En el análisis político, las variables del proceso político se definen como distribución de poder, coalición entre actores, y etapas en el proceso político esto en el contexto de explicar por qué un instrumento es elegido sobre otro en un problema ambiental o social. Alternativamente la naturaleza del problema mismo debe de ser el principal motivante de lo que determina la elección de instrumentos adecuados de política (Metz y Ingold, 2014) en esta mención del análisis político se pueden diferenciar los procesos políticos con el que una entidad asuma

en sus quehaceres políticas de sustentabilidad las cuales impactan directamente en la gestión ambiental y su manejo del agua.

En este análisis se ofrecen mecanismos de diseño de política sustentable en el contexto de manejo integral del agua de ZM como es la “integración horizontal y cruzada por sectores” en donde se busca un enfoque integrador que vincula el medio ambiente, la economía y la sociedad civil exige concretamente la coordinación y sinergia entre los diferentes sectores, se debe incluir una “integración multinivel” que considere el nivel local, regional e internacional y con una interfase de política y ciencia que pueda transferir la información de la academia en el proceso de creación de políticas (Metz y Ingold, 2014).

De esta manera se propone se considere la gestión (Tabla 32) para implementar la PTAR ZM en donde a partir de la decisión de ZM de poner en marcha la planta se pueda apoyar de la rectoría junto con la Secretaría Administrativa y el PUA de la Agenda Ambiental donde a través de sus expertos puede haber un respaldo y asesoría de conocimientos de gestión, diseño, manejo y educación ambiental para la puesta en marcha de la PTAR ZM. Para lo anterior se requiere un planteamiento de presupuesto que describa las reparaciones y construcciones que se requieren en la PTAR, la gestión de los recursos necesarios a través de una gestión administrativa con las formalidades, licitaciones y créditos necesarios. En este aspecto se recalca la intervención de profesores y trabajadores tanto de ZM como de otras facultades, se recomienda una intervención participativa y constante junto con una planeación a mediano plazo, así como una clara asignación de responsabilidades.

En cuanto a la gestión es importante mencionar que es necesario que la explotación del pozo se regularice, que se obtenga la concesión correspondiente de la autoridad CONAGUA, o si es que existe se exponga, de manera que se pague por el uso del agua y se hagan las declaraciones correspondientes para dar cumplimiento al Artículo 42 de la Ley de Aguas Nacionales.

Tabla 32. Características de gestión relevantes para rehabilitación de la PTAR ZM

Acción	Detalles
A. Gestionar recursos con entidades gubernamentales y/o privadas nacionales e internacionales o asignar recursos propios.	Buscar recursos a través de departamentos de vinculación, finanzas o asignar los recursos propios de la dependencia beneficiada por la PTAR
B. Vincular con autoridades y otros académicos expertos para el cuidado intelectual.	Generar constante evaluación de la PTAR que funcione para educar a través de proyectos de investigación y generar conocimiento. Involucrar a investigadores de ZM y expertos en el tema de otras entidades.

En la Tabla 33 se presentan los aspectos socioeconómicos. Para el campus ZM se valoran los recursos intelectuales y de personal capacitado con los que ya cuentan, así como los laboratorios y equipo de laboratorio que tienen, por lo que se propone que se compren los reactivos nuevos para poder analizar la calidad de agua tanto residual como tratada y que promuevan sus servicios externos de análisis de agua para la ciudad de Rioverde y alrededores de manera que se genere un ingreso que se destine al mantenimiento de la PTAR.

Para la obtención de los indicadores financieros se consideraron los costos de pago por agua de primer uso de su pozo, además, se consideraron los costos implicados de 5 años de mantenimiento y operación de acuerdo al diseño original ajustado al año presente, la inversión para reparaciones técnicas y los ingresos por servicios externos de análisis de agua.

Es importante mencionar que en el caso de no estar pagando por el uso del pozo al que tiene acceso el campus ZM los indicadores financieros no son favorables porque no hay un gasto de entrada que haga la entidad que se rescate. En cuanto a los costos de operación y mantenimiento (OM), parte se asume en las actividades que puede realizar el personal de mantenimiento, los profesores y alumnos de la ZM, pero para esta PTAR fisicoquímica se debe considerar que los mayores costos de OM se encuentran en los reactivos que requiere y que como referencia se tiene un costo de \$450,000 para costos anuales de OM para una PTAR fisicoquímica (ACCUI, 2024). Esta información es importante porque la falta de recurso económico para la compra de reactivo fue una de las razones de suspensión, por lo que en los escenarios futuros se aconseja se consideren estos costos y que se proyecte que sean absorbidos por el ingreso de servicios externos, así como el costo por el agua de primer uso. También puede considerarse la obtención de un patrocinio para la inversión requerida para las reparaciones necesarias.

Las TIR, VAN y RBC obtenidas (Tabla 33) son aceptadas e indican retornos superiores a lo que se requiere invertir de forma que se recuperará la inversión y los costos de mantenimiento y operación. Las variables indican una ganancia para la ZM y expresan beneficios por unidad monetaria invertida en la PTAR en su horizonte de 15 años, indicando que el proyecto es viable. Se observa una TIR alta porque la inversión requerida es pequeña, por lo que en mejor concentrarse en la RBC que tiene un valor de beneficio alto.

Además de la rentabilidad del proyecto es importante otorgar peso a los beneficios ambientales y sociales que representa el tratar el agua y disminuir el uso de agua de pozo; así como el ejemplo de buenas prácticas.

Como se ha mencionado en las otras evaluaciones la comunicación y educación ambiental son muy importantes y en caso de la PTAR ZM se reconoce la trayectoria de su Unidad Ambiental que junto con la implementación de un programa interno de cultura del agua con el Programa Universitario de Agua pueden generar un sentido de pertenencia que hace que la PTAR pueda ser cuidada a través del tiempo por la misma comunidad.

Tabla 33. Características socioeconómicas relevantes para habilitación de la PTAR ZM

Acción	Detalle
A. Asignación de presupuesto permanente anual para mantenimiento y operación.	\$135,000 MXN de acuerdo a diseño, actualizado al año presente.
C. Servicios externos de análisis de agua (\$/anual)	\$180,000
C. Inversión inicial de reparaciones (\$)	\$150,000
D. Tasa interna de Rentabilidad (TIR)	46%, se acepta
E. Valor actual Neto (VAN)	\$288,958.47 , se acepta
F. Relación Costo-Beneficio (RBC)	1.3, se acepta
G. Incluir comunicación y educación ambiental	Con infografías museográficas permanentes en el sitio, así como digitales parte de campañas de cultura del agua.

4.8.2 DATOS CUALITATIVOS PARA REHABILITACIÓN DE LA PTAR ZM

El análisis cualitativo buscó responder al cómo y por qué se debe rehabilitar la PTAR ZM e identificar los factores o elementos que son necesarios para ponerla en marcha.

En la Figura 58 observamos que la palabra más frecuente entre los actores clave en torno a la rehabilitación fue “alumnos” referente a que se puede involucrar a los alumnos de ZM en el cuidado y operación de la PTAR, así como que sirva para educarlos respecto al tratamiento del agua, esta palabra se liga a la palabra “conocimiento”.

El código más relevante en relación a la rehabilitación de la PTAR ZM fue “Gestión_Motivantes-Comunicación_Vinculación” (Figura 59) el cual hace referencia a que para que sea sostenible la PTAR se debe tener una buena comunicación entre el diseño, la administración, la dirección, el mantenimiento, los profesores y el alumnado; con una comunicación clara y constante se pueden prevenir malos entendidos y con una vinculación que involucre a las instancias institucionales se logra alcanzar objetivos en común, que en esta caso sería el tratar y aprovechar el agua de ZM. Los comentarios representativos de mantenimiento son:

- *“El impacto que puede llegar a ser como institución se cuente con este tipo de proyectos en los momentos tan críticos de escasez de agua que estamos viviendo en varias partes del estado, inclusive a nivel país e internacionalmente.” M.V.*

4.8.3 DISCUSIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PARA REHABILITAR LA PTAR ZM

En los aspectos para rehabilitar la PTAR ZM destaca la voluntad política para decidir rehabilitar y reanudar el tratamiento de agua como parte del manejo integral del agua del campus que incluye la regularización del pozo donde extraen el agua de primer uso.

En el aspecto técnico se requiere muy poco para su activación ya que el diseño es adecuado y no tiene tantos años de abandono.

En cuanto a la gestión predomina la vinculación institucional sobre todo dentro del campus, así como con las demás instancias de la UASLP, que ayude a gestionar los recursos presentes y para su mantenimiento futuro.

En el aspecto socioeconómico se requiere asumir y asegurar los costos de operación y mantenimiento, por lo que se sugiere que el proyecto de la PTAR tenga sus propios ingresos a través de servicios externos de forma que aprovechen los recursos intelectuales y de infraestructura que tienen. La educación a través del ejemplo en ZM es significativa ya que la zona requiere conocer formas de disminuir el agua de primer uso y alinearse a la normativa.

4.8.4 PROPUESTA PARA LA PTAR ZM

Gracias a la exposición previa tanto del estado actual como las necesidades para habilitar PTAR ZM en este trabajo se propone los siguientes escenarios futuros, todos como parte de un manejo integral del agua:

1. Puesta en marcha y posible ampliación de la PTAR con consideraciones técnicas, socioeconómicas y de gestión discutidas en tablas 31, 32 y 33 que asegure su funcionalidad y escala de acuerdo a las necesidades del campus asegurando el reúso del agua tratada para riego de áreas verdes y regulación de agua de primer uso.

PTAR Coordinación Académica Región Huasteca Sur (HS)

4.9 ESTADO ACTUAL DE LA PTAR COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN HUASTECA SUR (HS)

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Académica Multidisciplinaria Huasteca Sur (PTAR HS) es un humedal construido (HC) que se encuentra operando desde su construcción en el 2015, sin que se haga seguimiento de su operación. En este documento se describe el estado de la PTAR, su diseño y

construcción, y se hace una comparación con información reportada en las referencias encontradas respecto al diseño original, reportes técnicos y la literatura pertinente.

En la Tabla 34 se presenta información general de la PTAR HS y enseguida se explica el manejo actual del agua en el campus.

La HS se encuentra en una zona periurbana, en el municipio de Tamazunchale, S.L.P. El municipio se ubica a 365 km (6 horas en automóvil) de la capital del estado, en la región Huasteca. HS es un campus con un cálculo estimado de 671 alumnos y profesores (Informe rector, 2022) sin considerar al personal administrativo y trabajadores. La HS tiene un área aproximada de 63 m²; se llevan a cabo actividades desde las 7:00 a las 22:00 horas y su calendario de actividades es el oficial de la UASLP.

El clima está clasificado como semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (50.80%) y semicálido húmedo con lluvias todo el año (49.20%). Se tiene un rango de precipitación de 1 500 - 3 000 mm (INEGI, 2020). Una estación meteorológica cercana al proyecto "Tamamatla" en 2024 estima una temperatura media anual de 24.5°C y una precipitación total anual 1856.2 mm.

El municipio se halla asentado en montañas y estribaciones de la sierra Madre Oriental y planicies, con cañones orientados en dirección sureste, noreste, hacia el este, noreste y sureste, se transforma en fondos amplios de valle, con ramificaciones que ocupan una franja del territorio (Rojas, 2015) por lo que el campus también presenta diferentes elevaciones y pendientes pronunciadas que dirigen los cauces naturales del agua hacia el río más cercano, también hay canales de concreto que son parte del diseño de los edificios en donde dirigen al agua pluvial previniendo la inundación del campus.

En Tamazunchale se cuenta con el río Moctezuma y el río Amajac, que procede del estado de Hidalgo y confluye con el río Moctezuma en la ciudad con rumbo este-noreste; al norte se ubica el río Atlamaxatl que se forma en el municipio y que se dirige en la misma magnitud donde posteriormente recibe el nombre de río Axtla. Se identifica que el río donde desemboca el agua del efluente de PTAR es un arroyo que descarga al río Moctezuma.

En el campus se encuentran una cafetería, biblioteca, aulas, estacionamientos, laboratorios, sanitarios, auditorio, áreas abiertas, áreas verdes y espacios de producción agrícola en invernaderos para fines académicos.

Tabla 34. Información general de PTAR HS

A. Ubicación	Carr. Tamazunchale - San Martín Km 1.9-Km. 5, 79960 Tamazunchale, S.L.P.
B. Ubicación geográfica (Longitud, Latitud)	21°15'38" N, 98°44'40" O
C. Procedencia del agua de primer uso	Agua entubada de organismo operador de municipio
D. Consumo de agua de primer uso (m ³ /año)	1080
E Usos del agua de primer uso	Servicios sanitarios, producción agrícola en invernaderos, laboratorios, riego áreas verdes
F. Destino de descargas	Descarga en un arroyo tributario del río Moctezuma
G. Temperatura máxima (°C): mínima (°C)	44 y 11
H. Precipitación media anual (mm)	2168 (2015), 865 (2022), 1723 (1974-2002)

4.9.1 CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR HS

En la Tabla 34 se destaca que el agua de primer uso de HS viene del organismo operador municipal con una cantidad estimada fija de 90 m³/mensual y el destino de descarga es un cuerpo de agua lo cual requiere cumplir con la normativa para descargar en aguas nacionales regida por la Ley de Aguas Nacionales.

En el documento de diseño de la planta se destaca una precipitación promedio de 2,168 mm en 2015, sin embargo, la precipitación pluvial ha variado significativamente de forma que CONAGUA reportó una precipitación de 865 mm en 2022 y en esta investigación se calculó una Precipitación Media Anual por el método aritmético 1,723 mm/año para el período de 1974 a 2002. Estos datos nos indican que hay buena cantidad de agua de lluvia, que ha cambiado sus patrones a través de los años quizás por el impacto que tiene la crisis climática y ambiental a nivel mundial y nivel local. Estos patrones de lluvia son importantes para el caso de la PTAR, ya que la administración del campus reporta azolvamiento de la planta cuando hay lluvias intensas.

Para el diseño original se hizo un estudio hidrológico en el 2013 mediante el software HEC-RAS para determinar el nivel de inundación que puede suceder en la PTAR HS; para este fin se requirió de datos topográficos del cauce, pendiente y su naturaleza, es decir, tipo de materiales y presencia de vegetación. En este estudio se evaluó el periodo de retorno, que es el tiempo promedio entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada, para definir el riesgo por inundación en el campus universitario (Coordinación Académica Zona Huasteca Sur) se analizan los gastos máximos correspondientes a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años (Figura 60 y 61) (Rodríguez et al., 2013). La planta se diseñó para tratar el agua residual del campus para

su descarga hacia el cuerpo receptor, no se consideró el reúso por tal razón se ubica en una zona baja del terreno que ocupa la dependencia.

En el estudio de Rodríguez et al. (2013) algunas de las conclusiones son que El gasto de diseño para un periodo de retorno de 100 años es de 119.1 m³/s.

- Para el gasto de 119.1 m³/s la zona donde se construirá la PTAR se inunda completamente.
- Para el gasto correspondiente al periodo de retorno de 25 años ya se presentan inundaciones en la zona de estudio.
- Para el gasto correspondiente al periodo de retorno de 10 años se presenta una pequeña inundación (Rodríguez et al., 2013)

De acuerdo a estas conclusiones se observa que se previó el azolve de la PTAR, pero no se realizaron acciones para disminuir el riesgo, junto con el resumen de los gastos por nivel de retorno y los flujos que se muestran en la Figura 60 el flujo de retorno (119.1 m³/s) (102,902,490 m³/d) es superior al que se diseñó (18.75 m³/día) la PTAR, lo anterior es normal de acuerdo al diseño con un retorno de 100 años. Sin embargo, es importante reconsiderar el flujo para un periodo menor debido a que se han presentado eventos puntuales de lluvias extremas que han provocado azolvamiento del humedal y seguramente eventos de desbordamiento pues no hay obras de protección del humedal para disminuir el impacto de las fuertes precipitaciones que arrastran lodo de las partes altas. Se considera importante comparar la proyección hecha para 10 años mismos que ya han pasado desde el diseño e instalación de la planta.

Por la naturaleza del terreno, con pendientes pronunciadas, se prevé que se continuará teniendo arrastre de suelo hacia el humedal cuando se presenten lluvias intensas. La falta de operación adecuada del humedal ha hecho que buena parte de la vegetación de este se haya perdido y no se ha previsto restituir las plantas. Se requiere generar infraestructura de protección por las inundaciones como zanjas o represas para dirigir el agua de lluvia de forma que no impacte en el humedal, para esto se puede apoyar en un análisis de avenida máxima probable.

METODO	GASTO (m3 /s)			
	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
BELL	73.95	93.63	108.39	129.71
CHOW	50.11	81.81	107.86	132.57
RACIONAL	54.23	70.44	82.71	94.97
PROMEDIO	59.43	81.96	99.65	119.08

Figura 60. Resumen de gasto por periodos de retorno (Tr) medidos por diferentes métodos (Rodríguez et al., 2013)

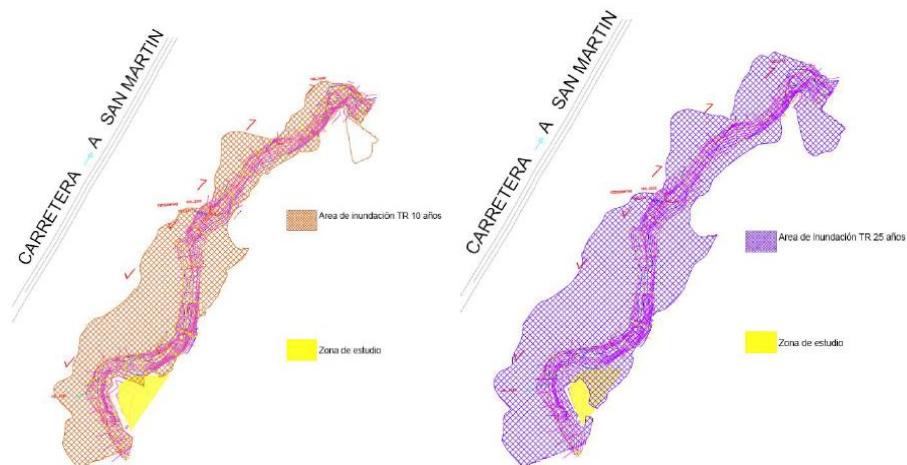


Figura 61. Proyección de inundación con tiempo de retorno de 10 y 25 años (Rodríguez et al, 2013)

En cuanto a las áreas verdes en el campus (Figura 62) son de vegetación endémica, el riego destinado a las áreas verdes es aproximadamente de un 44 % del consumo de agua del campus y es apoyado por las lluvias y escurrimientos. La vegetación junto con los canales o escurrimientos naturales promueven la infiltración natural y los canales de cemento también dirigen el cauce del agua para prevenir o sobrellevar deslaves e inundaciones, aunque son insuficientes en el área del humedal.



Figura 62. Áreas verdes y canaletas de HS

El agua residual (AR) obtenida de todas las actividades es manejada a través del drenaje de la HS, esta agua se dirige en su totalidad a la PTAR HS en donde reportan tratar el 100 % de ella. Cabe destacar que realizan actividades de mantenimiento en relación con el manejo de agua (Figura 63) como reparación y reposición de tuberías y limpieza de drenaje, también en relación al mantenimiento de la PTAR (Figura 64) que ha sido aún insuficiente para mantener el humedal en óptimas condiciones de operación.



Figura 63. Mantenimiento preventivo a (A) sistema de agua entubada y a (B) drenaje (Agenda Ambiental, 2022)



Figura 64. Mantenimiento preventivo y correctivo a PTAR (Agenda Ambiental, 2022)

En la Tabla 35 podemos observar algunas características técnicas relevantes de la PTAR HS y que se reportan en el Anexo 2.5. La PTAR HS fue construida como parte del diseño del campus en el 2013 bajo la necesidad de que no había drenaje y que la costumbre del lugar es mandar sus descargas al río más cercano, situación que continúa en la actualidad para la comunidad. Participaron en la gestión y el diseño la “comisión de construcción” creada por la rectoría la cual estaba formada por profesores y directivos.

Se proyectó que el efluente funcionara para descargar el agua tratada cumpliendo la normativa vigente de ese año la NOM-001-ECOL-1996.

Observamos que fue diseñado para una población que en el año de 2013 era de 453 personas y en 2022 se reportan 671 alumnos y profesores, este dato junto con el área de 150 m² del humedal nos indica que la PTAR está subdimensionada, al menos, es lo que concluye Rojas (2015) en su tesis de maestría. Las conclusiones del trabajo de Rojas (2015) fueron que existen dos factores que reducen la eficiencia de la PTAR:

1. Se construyeron dos celdas de 150 m², el diseño original consta de 300 m², es decir, la planta no se construyó apegándose al diseño y resultaba insuficiente para remover los contaminantes (SST: 5.54 m², DBO₅: 141.47 m², NT: 230.28 m², PT: 498.75 m², CF: 814.8 m²) según la evaluación de la PTAR realizada en 2015.

2. El tiempo de residencia hidráulica diseñado era para 2 días debido al diámetro de 32 mm del sustrato, para incrementar el tiempo de residencia hidráulica se requiere de un sustrato de 8 mm o 3/8" de diámetro. Es decir, el tamaño del sustrato es inadecuado.

El trabajo de Rojas (2015) no considera la adecuación de los flujos para mantener el tiempo de residencia hidráulico proyectado, que sería algo posible de realizar.

Tabla 35. Características técnicas de la PTAR HS relevantes

A. Tipo	Sistema de humedales contruidos de flujo subsuperficial horizontal
B. Año de inicio de la construcción	2013
C. Año de operación / tiempo de operación	2014/ 2014-actualidad
D. Área de PTAR (m ²)	150
E. Número y tipo de tanques o etapas del diseño	Tres canales de desbaste y 2 desarenadores, fosa séptica con 2 cámaras de digestión anaerobia y una cámara de clarificación, 2 celdas de humedales contruidos con <i>Phragmites australis</i> (carrizo) y <i>Typha latifolia</i> (espadaña)
F. ¿Cómo planeaba llegar el agua residual (AR) a la PTAR?	Por gravedad
G. Población a la que se planeaba dar servicio (#)	453 personas en 2015, 671 alumnos y profesores en 2022
H. Cantidad (m ³ /d) del influente a tratar	18.75 m ³ /día (diseño) 28.48 m ³ /día (medido por Rojas)
I. Tiempo de retención hidráulico (días)	2

En la Tabla 36 se pueden apreciar las características fisicoquímicas del influente y el efluente que fueron recuperadas del diseño original, de la evaluación de Rojas en 2015 y la caracterización de muestras de agua obtenidas por un muestreo simple realizado en este trabajo en colaboración con la administración y el personal de mantenimiento de HS.

La caracterización del agua en este estudio fue medida de la entrada (afluente) y la salida (efluente) de la PTAR con un muestreo puntual en una sola visita realizada en octubre de 2023, en un día con afluencia normal de personas y actividades en el campus.

Los parámetros más relevantes por discutir son la DBO₅, DQO y SST que son parámetros que tal como se muestra en la Tabla 36, son similares en las 2 evaluaciones que se le realizaron a la PTAR HS; para el diseño de la planta solo se consideró la DBO₅ del agua a tratar y en esta investigación no se pudo evaluar la DBO₅.

Para el caso de la DBO₅ del afluente evaluado por Rojas (2015) la concentración es menor que la de un agua residual típica tanto de flujo de fuerza baja como fuerza mediana (Anexo 3; falta la referencia de literatura); la DBO₅ en el efluente no cumplía con la NOM-001-ECOL-1997 en donde el límite era de 30 mg/L y se reportó una remoción de 59% lo que significaba que posiblemente el humedal no estaba operando en condiciones óptimas, probablemente no tenía toda la cobertura vegetal requerida, el TRH no era el adecuado o la PTAR no se apegaba al área proyectada, el trabajo no describe las causas.

En el caso de la DQO del afluente estaba dentro de lo esperado para un agua residual en el 2015 pero en el 2023 se determinó una concentración menor; su efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021 aunque aún se requiere un muestreo más completo de la calidad del agua.

Los SST en el afluente son bajos tanto en 2015 como en 2023 respecto a lo esperado (Anexo 3) y en el efluente cumplen la norma en ambos casos.

De acuerdo con Rojas (2015) hubo mayores niveles de remoción de DBO₅ (88.33 %), fósforo total (P_T) (56.19 %) y grasas y aceites (G y A) (42 %) en el humedal que contenía la especie *Typha latifolia*, en cambio, los mayores niveles de remoción de SST (82.08 %) y nitrógeno total (N_T) (58.8 %) presentes, se obtuvieron en el humedal de la especie *Phragmites australis* (Rojas, 2015).

Tabla 36. Análisis Físicoquímicos del agua de PTAR HS

Parámetro	Influente	Efluente
A. DBO ₅ (mg/L):	350 (2013), 124.8 (2015), ND (2023)	30 (2013), 50.9 (2015), ND (2023)
B. DQO (mg/L):	NC (2013), 327.6 (2015) ND (2023)	100.24 (2015), 16 (2023)
C. SST (mg/L):	NC (2013), 90 (2015), 86.7 (2023)	40 (2015), 25.7 (2015), 13.3 (2023)

NOTA: ND es no determinado; NC es no considerado

La PTAR HS es un humedal construido de flujo subsuperficial horizontal con 3 etapas, un canal de desbaste y 2 desarenadores, fosa séptica con 2 cámaras de digestión anaerobia y una cámara de clarificación, 2 celdas de humedales construidos con *Phragmites australis* (carrizo) y *Typha latifolia* (espadaña).

En la Figura 65 se puede apreciar la PTAR HS cuando se visitó para este estudio, en la Figura 67 se puede apreciar los componentes de la PTAR de acuerdo con sus planos originales, también es valioso observar la Figura 68 en donde el diseño original consideraba un total de 4 celdas de humedales, aunque solo se construyeron 2 celdas y el actual personal del campus desconoce las causas.

En la inspección física (Figura 65) realizada en octubre de 2023 se observa un proceso adecuado para las primeras etapas y en la etapa del humedal se encontró que el 92.5 % del área estaba desprovista de vegetación. La vegetación sólo se observó en un 15 % del área en celda 1 (carrizo) y la vegetación de celda 2 (espadaña) es inexistente. Así mismo, se observó también falta de grava. Al tomar muestra del efluente (Figura 66) se observó que la tubería de descarga requiere una limpieza para eliminar el azolve.



Figura 65. Vista exterior actual de PTAR HS



Figura 66. Vista de efluente PTAR HS

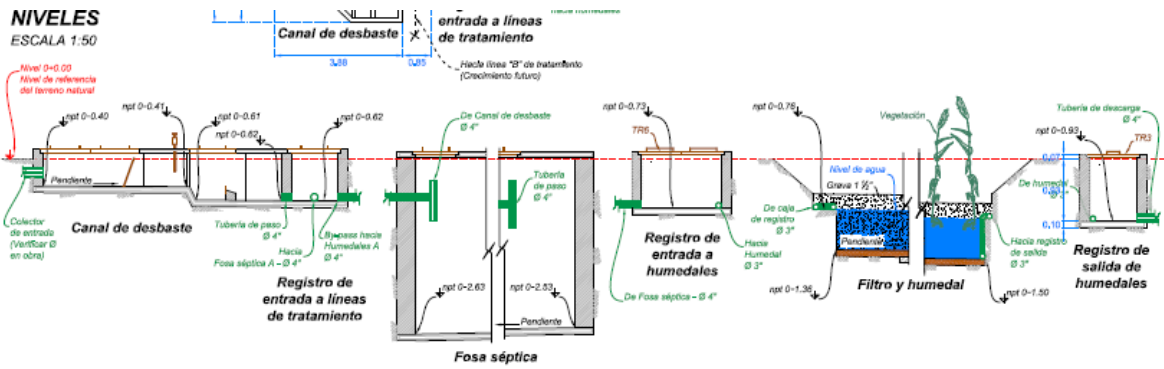


Figura 67. Plano arquitectónico del diseño original PTAR HS (Dufour et al., 2013).

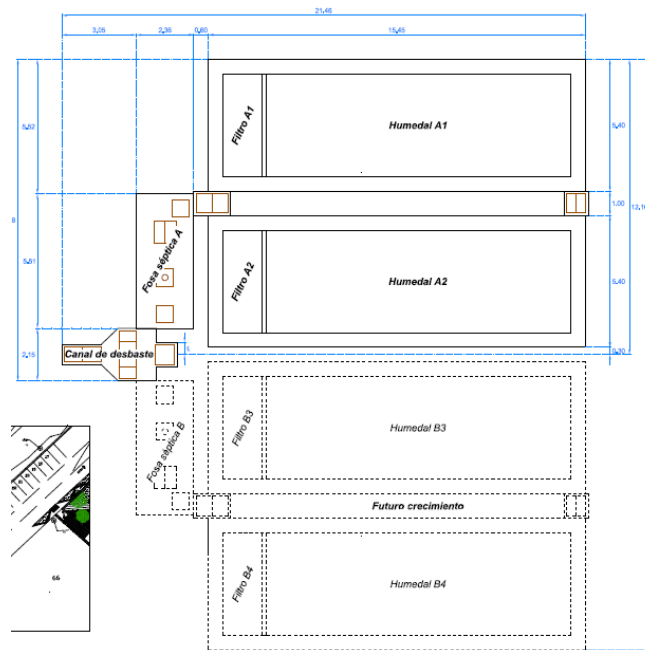


Figura 68. Diseño original de PTAR HS que considera 4 celdas de humedales construidos. (Dufour et al, 2013).

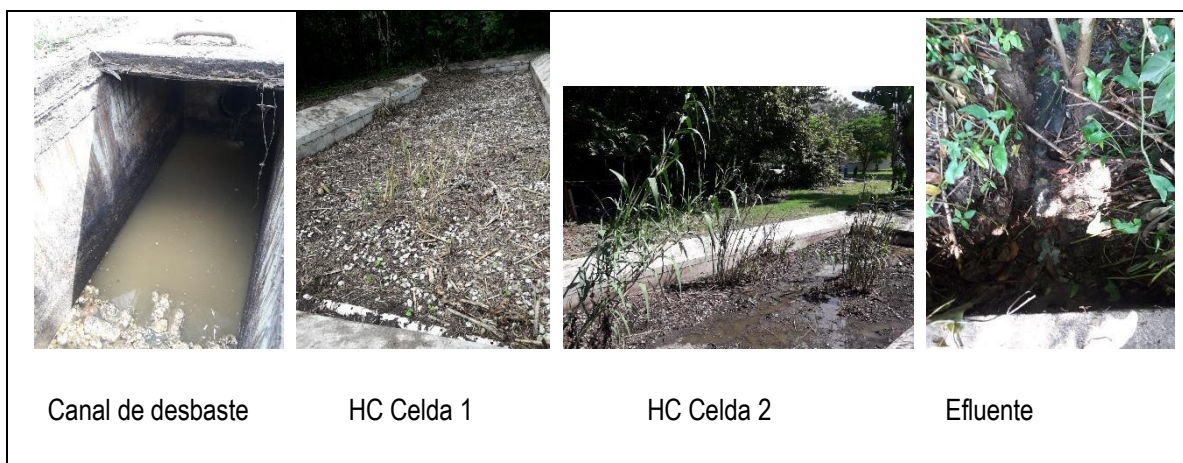


Figura 69. Procesos de PTAR HS actualmente

En la Tabla 37 observamos los resultados de la evaluación del estado de conservación actual que fueron evaluados bajo el criterio de la autora de este trabajo descritos en metodología. De acuerdo a las observaciones de la infraestructura y funcionamiento de la planta, el 72 % se conserva desde su construcción y es afectada por eventos de azolvamiento; la planta requiere mantenimiento básico y revegetación. Por su naturaleza de HC no cuenta con instalaciones de electricidad e instrumentación.

Tabla 37. Funcionamiento de la PTAR HS

Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)		
Proceso de diseño o instalaciones	Estado de conservación	Comentarios
A. Pretratamiento: Canal de desbaste y un desarenador	Bueno (4)	Se observó lo descrito en la literatura, pero requiere limpieza.
B. Tratamiento primario: Fosa, digestor y clarificador	Bueno (4)	Se observó lo descrito en el diseño
C. Tratamiento secundario: Humedal construido	Malo (2)	Falta 92.5% de vegetación. La instalación de vegetación se encuentra en un 15% en Humedal 1 (carrizo) y la vegetación de Humedal 2 (espadaña) es inexistente
D. Instalaciones civiles	Bueno (4)	Están en buenas condiciones
E. Instalaciones mecánicas y de tubería	Bueno (4)	No cuenta con instalación mecánica, alguna tubería debe ser modificada o cambiada.

4.9.2 CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y DE GESTIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR HS

El campus HS fue construido como campus sostenible (Figura 70) con elementos de bioclimática en su construcción, uso de vegetación y materiales locales, energía renovable con paneles solares y 100 % de manejo de sus residuos. Su manejo integral del agua incluye el 100% de uso de aplicaciones de eficiencia de agua como grifos con sensor, mingitorios secos y descarga de inodoro de alta eficiencia, cuentan con captación, programa de mantenimiento cero fugas y el sistema de canales construidos para el agua de lluvia.



Figura 70. Diseño de campus sostenible HS

Para la creación de este “campus sostenible” participaron en la gestión y en el diseño la “comisión de construcción” creada por la rectoría en 2013 la cual estaba formada por profesores y directivos. En esta comisión, el proyecto de la PTAR con humedales fue propuesto por el Dr. Rodolfo Cisneros quien fue responsable también del diseño mientras que la empresa IMBRIUM propuso una PTAR para HS con reactores aerobios y anaerobios; en agosto 2013 el proyecto con humedales fue ejecutado por A. Dufour A., J. Morato J. y A. Gallegos A. En enero 2014 se inauguró el campus (280 alumnos) con la PTAR incluida, en 2015 (392 alumnos) se realiza una evaluación de la PTAR con tesis de maestría de Rojas (2015) en donde se establecen sugerencias técnicas. Desafortunadamente los resultados de la tesis no se compartieron formalmente a la administración. De esta forma, el campus reportó que entre 2014 y 2017 la PTAR funcionaba normalmente, sin embargo, en 2022, en el Reporte Greenmetric la indicó fuera de funcionamiento.

En esta cronología podemos reconocer la falta de comunicación institucional que ha experimentado HS y cómo ha impactado en el manejo de su PTAR. Por esta razón, este trabajo hace un seguimiento de la PTAR y los resultados se han comunicado a la dependencia.

En la Tabla 38 se observan los aspectos relevantes del estado socioeconómico actual de la PTAR HS, la cual no representa un gasto significativo para la dependencia por su naturaleza de humedal construido. En los costos de mantenimiento se consideran la compra de grava nueva, los servicios externos posibles por desazolve, la reposición o posible poda de vegetación que son actividades que realiza el personal de mantenimiento, pero pueden considerarse su costo. Igualmente, se requiere cubrir el análisis de la calidad del agua por un laboratorio acreditado por ser una descarga a un cuerpo receptor, como lo marca la normativa nacional.

La PTAR HS figura como parte de la coordinación, es reportada por sus informes y tienen asignado personal. Como parte del abordaje participativo de esta investigación se buscó acortar la brecha en la comunicación entre el diseño y el personal de mantenimiento y administrativo asignados al cuidado de la PTAR HS, por lo que se compartió información técnica relevante extraída de los documentos recuperados, como la tesis de Rojas, 2015 y el manual de operación de la PTAR AO con la que comparte muchos aspectos. Se busca que con este acercamiento el humedal funcione en óptimas condiciones. Esto se realizó a través de la vinculación con la Agenda Ambiental y uno de los diseñadores de la PTAR con todas las formalidades necesarias.

A las autoridades del campus se les comunicaron las recomendaciones técnicas siguientes para un mejor funcionamiento y manejo de la PTAR (Anexo 4):

1. Implementar acciones de desazolve
2. Replantar la vegetación faltante
3. Prever la instalación civil para el impacto de las fuertes lluvias que proteja el humedal del azolvamiento
4. Relacionado a esto se pueden tomar las consideraciones siguientes tomadas de (Rojas, 2015) página 108 y 109 que dice:
 - a) Los humedales deben ser controlados y evaluados periódicamente para observar las condiciones generales del sitio, con un tiempo mínimo de tres meses, para detectar cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable.
 - b) Es necesario realizar por lo menos un muestreo cada seis meses, para registrar y controlar la forma en que afecta a su funcionamiento.

- c) Es importante el uso de señaléticas para guiar u orientar a los estudiantes, personal académico y administrativo, así como a algún conjunto de personas visitantes, con el fin de brindar información.
- d) Poda mensual de la vegetación establecida para mantener marco de plantación y para ser visualmente armónico.
- e) Mantenimiento del pretratamiento y tratamiento primario (vaciado de la fosa séptica y sedimentador primario) por lo menos cada seis meses.
- f) Cambiar sustrato de los humedales del Campus Tamazunchale por un sustrato de menor conductividad hidráulica, el cual se calculó en el presente trabajo, es decir con un sustrato de menor granulometría, para lograr mayor tiempo de retención hidráulica, de igual manera para reducir los contaminantes.
- g) Sería conveniente que se concluya la construcción de los humedales con un área de 814.89 m² para la remoción de coliformes fecales,
- h) Se propone el cambio de tubería en la entrada de los humedales artificiales además de la construcción de una arqueta de 10 cm en la tubería de repartición que se encuentra a la entrada del humedal con ranuras a tresbolillo para asegurar la distribución uniforme del agua hacia el humedal, y de esta forma evitar taponamiento y retrasar el proceso de depuración.
- i) Establecer y elaborar un manual de operación para lograr el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento mediante humedales artificiales.

Se reconocen las buenas prácticas ambientales que tiene la HS que favorecen el buen funcionamiento de la PTAR y manejo integral del agua incluidas sus iniciativas de mantenimiento. En relación al agua del campus también cuentan con purificadora de agua para beber, donde se trata el agua entubada por procesos de ósmosis inversa y rellenan los garrafones del campus.

No existen bitácoras de operación, pero reportan comenzar a implementarlas, el personal de mantenimiento y administrativo está dispuesto a realizar las actividades de mantenimiento y mantener una comunicación y vinculación continua.

Con el involucramiento de la comunidad y museografía se proyecta que se mantenga el sentido de pertenencia, orgullo y cuidado comunitario de la PTAR HS.

Tabla 38. Características socioeconómicas y de gestión de la PTAR HS relevantes del estado actual

A. Inversión anual (\$)	\$50,000 MNX estimado
B. Inversión inicial (\$)	\$1,700,000-\$1,900,000 estimado

4.9.3 DATOS CUALITATIVOS DEL ESTADO ACTUAL DE LA PTAR HS

El análisis cualitativo busca responder al cómo y porqué del estado actual de la PTAR HS e identificar los factores o elementos que la llevaron a no estar funcionando en óptimas condiciones.

En la Figura 71 observamos la palabra “mantenimiento” y “contaminación” que representa la percepción de los actores clave de que falta dar mantenimiento a la PTAR y su preocupación por contaminar el río si la PTAR no está funcionando adecuadamente que coincide con la frecuencia del código Técnico-Mantenimiento (Figura 72). El comentario representativo es:

- *“Se nos tapa, han pedido apoyo y no lo han recibido de forma completa o no resuelven duda” N.G. (referente a que no han podido resolver dudas de mantenimiento por falta de comunicación)*

Podemos observar que la falta de comunicación afecta a las decisiones de mantenimiento y el sentido de apoyo institucional, aquí también impacta que el campus esté tan alejado de la capital donde se encuentran los diseñadores, expertos y gestores. Otros códigos importantes identificados son la capacitación, educación y diseño en donde podemos vincular la capacitación con la comunicación mencionada; la educación se relaciona que el humedal sea parte de la educación de los alumnos de HS y también la educación de la comunidad de Tamazunchale que tiene la costumbre de descargar sus aguas residuales al río. La mención del diseño hace referencia a la necesidad de construir las celdas faltantes.

- *“podría estar faltando más área para tener los 300m² que estaban en el diseño original, una segunda celda.” R. C.*

Es necesario hacer un plan de seguimiento con el apoyo del Programa Universitario de Agua de la Agenda Ambiental y el Grupo Universitario de Agua con los expertos y/o diseñadores y mantener una comunicación y vinculación continúa valorando el conocimiento local con el que cuentan.

En cuanto a la gestión se resalta la falta de comunicación, vinculación y capacitación, se reconoce el conocimiento empírico y las labores de mantenimiento llevadas a cabo. Se requiere adecuar un manual de operación específico para PTAR HS junto con una capacitación. La educación ambiental tanto para la comunidad universitaria como de la ciudad es importante. Económicamente no representa un gasto importante para la dependencia.

Es importante mantener y mejorar la PTAR HS para cumplir con la calidad de agua exigida en la NOM-001 para descarga en ríos y arroyos.

4.10 ESCENARIOS FUTUROS DE LA PTAR HS

En esta sección se revisan las características para mejorar la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Académica Multidisciplinaria Huasteca Sur (PTAR HS).

4.10.1 ELEMENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS NECESITADOS DE LA PTAR HS

En la Tabla 39 se observan los elementos técnicos necesarios para mejorar la PTAR HS los cuales forman parte de las recomendaciones hechas al personal (Anexo 4) y que corresponden a las conclusiones de Rojas, 2015.

Para cubrir con la población existente y creciente, así como cumplir con los límites permisibles se requiere ampliar el área de las celdas a 814.8 m² y se debe confirmar esta área con una nueva evaluación de aforo compuesto en donde se mida por lo menos 3 horas 3 días diferentes en por lo menos 4 meses, de manera que se pueda obtener un balance hídrico que arroje el flujo real del influente a tratar en el año en curso; este muestreo también se debe hacer para la calidad de agua que también sirve para revisar el diseño adecuado.

Para el caso de las lluvias extremas se deben implementar medidas preventivas como zonas de amortiguamiento, muros de contención y canales que ayuden a que no se deslave el humedal construido (HC), se puede modificar el terreno con ayuda de la vegetación para dirigir los cauces y no lleguen a la PTAR.

Otra sugerencia en el manejo integral del agua de HS es implementar la captación de agua de lluvia en las partes altas del campus para el riego de sus áreas verdes.

Tabla 39. Características técnicas relevantes para mejorar PTAR HS

Acción	Detalle
A. Ampliar celdas de HC a un área de 814.8 m ²	De acuerdo con el estudio de Rojas, 2015.
B. Desazolve	Remover lodos de todas las etapas de la PTAR HS (Figura 58)
C. Reponer sustrato y vegetación en celdas de HC	Agregar sustrato de 8mm hasta cubrir el nivel de la celda.
D. Instalación civil y natural para el impacto de las fuertes lluvias	Canalizar cauces de agua de lluvia para evitar que lleguen en demasía al humedal

A partir de la información que se presentan en la Tabla 40 es posible proponer que se deben de realizar acciones de gestión que nacen a partir de voluntad política que ya existe en donde se deben vincular a las demás entidades discutidas. Se destaca la colaboración que pueda existir para capacitación y comunicación cercana que incluye capacitación para el mantenimiento y para el análisis del agua, donde se sugiere se equipe el laboratorio con el que ya cuentan y se capacite al personal de laboratorio que tienen para analizar su calidad de agua periódicamente y puedan reportar a la autoridad respecto a la calidad de agua tratada que están descargando al río.

Tabla 40. Características de gestión relevantes para habilitación de la PTAR HS

Acción	Detalles
A. Vincular con académicos expertos y laboratorios que analicen el agua y sean cuidadores intelectuales.	Generar constante evaluación de la PTAR que funcione para educar a través de proyectos de investigación. Involucrar a entidades que tienen a expertos.
B. Curso de capacitación a personal de mantenimiento e involucrados en cuidado de PTAR.	En colaboración con expertos de UASLP programar capacitaciones periódicas.
C. Curso de capacitación a personal de laboratorio para análisis de calidad de agua.	En colaboración con expertos de UASLP programar capacitación para que HS realice análisis de calidad de agua

En la Tabla 41 observamos las características socioeconómicas relacionadas a la PTAR HS, en donde se considera el presupuesto de mantenimiento que ya están asumiendo al tener a personal de mantenimiento haciendo dichas labores. En estos costos también se considera el equipo de protección personal y herramienta que requieren, así como los posibles costos de compra de reposición de grava o sustrato y el desazolve.

La HS cuenta con laboratorios y personal capacitado responsable de dichos laboratorios, por lo que se propone equipar el laboratorio de química donde llevan materias como análisis fisicoquímicos y análisis industrial y podrían capacitarse y realizar análisis de agua para medir la calidad del efluente. Con este equipamiento se puede también hacer análisis del agua purificada que hacen internamente como parte de sus acciones autónomas. Es importante mencionar que de acuerdo con la Ley y a la normatividad se debe reportar la calidad de las descargas a la autoridad como discutido en la sección 4.2.1.1 y esto se lleva a cabo a través de la entrega de análisis de calidad de agua del efluente con un laboratorio certificado, por lo que son estos los costos que se incluyen en el análisis financiero.

De esta manera la asignación de un presupuesto para invertir en equipo podría redituarse en el corto y mediano plazo.

Para la obtención de los indicadores financieros se consideraron los costos de pago por agua entubada, además se consideraron los costos implicados de 5 años de mantenimiento y operación, el equipamiento del laboratorio para análisis del agua y la posible ganancia por ofrecer el servicio de análisis de agua residual, tratada y purificada. No se consideró que la dependencia deba cubrir costos de multas por descargar agua en cuerpos receptores ya que se consideró que el efluente cumple con las características de descarga en algunos parámetros, aunque en esta investigación no se hizo una caracterización completa.

Las TIR, VAN y RBC obtenidas son aceptadas, indican retornos superiores a lo que se requiere invertir de forma que se recuperará la inversión y los costos de mantenimiento y operación, indican una ganancia para la HS y expresan beneficios por unidad monetaria invertida en la PTAR en su horizonte de años, indicando que el proyecto es viable. En este caso observamos una TIR muy alta, esto es debido a los bajos costos de inversión, por lo que se puede dar más peso a la RBC que tiene un valor aceptable.

Los aspectos económicos son favorables hacia las implementaciones de mejora de la PTAR HS, pero también tiene peso el aspecto social que impacta a las cadenas de valor cuando se requieren servicios externos, pero sobre todo el beneficio social está en los beneficios intangibles que otorga cuidar el medio ambiente y el otorgar ese ejemplo a la ciudad de Tamazunchale y puntualmente a las comunidades vecinas de HS.

La comunicación y educación ambiental predomina en estos casos en donde se requiere lucir los esfuerzos del campus para mantenerlo ligado a los demás campus de la UASLP y su participación en el Programa Universitario de Agua tanto en su eje técnico como educativo, esta vinculación es importante así como

internamente en HS cuida el sentido de pertenencia lo que puede contribuir a que la PTAR sea cuidada a través del tiempo por la misma comunidad, al mismo tiempo que educa al público general y a los estudiantes.

Tabla 41. Características socioeconómicas relevantes para habilitación de la PTAR HS

Acción	Detalle
A. Asignación de presupuesto permanente anual para mantenimiento y operación	\$52,300 MXN estimado
C. Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	21%, se acepta
D. Valor Actual Neto (VAN)	\$19,868.3, se acepta
E. Relación Costo-Beneficio (RBC)	1.3, se acepta
E. Incluir comunicación y educación ambiental	Con infografías museográficas permanentes en el sitio así como digitales parte de campañas de cultura del agua.

4.10.2 DATOS CUALITATIVOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PTAR HS

El análisis cualitativo busca responder al cómo y por qué se puede mejorar la PTAR HS e identifica los factores o elementos que son necesarios para ello.

En la Figura 73 observamos en la nube de palabras la repetición de “capacitación”, que se refiere a su necesidad de capacitarse en el presente y en el futuro y se correlaciona con la Figura 74 en donde una frecuencia clara es el código “Técnico-Capacitación”, la capacitación se logra con la vinculación y les otorgaría a HS autonomía tanto para el mantenimiento de la PTAR como para el análisis de calidad de agua. Un comentario relacionado es:

- *Saber que tenemos que hacer para darle el mantenimiento cuando se requiere y cuando no esté funcionando. N.G.*

Este comentario indica la disponibilidad de cuidar la PTAR. Un código frecuente fue “Técnico-Aprovechamiento” que nos habla del deseo de aprovechar el agua y cuidarla tanto el agua de primer uso entubada, como el agua de lluvia, el agua residual y el agua purificada.

En los códigos “Gestión_Motivantes-Interes” y “Gestión_Motivantes-ComunicaciónVinculación” se reitera la conexión y accesibilidad que se correlaciona con las palabras “interés”, “institucional” y “prioritario”. Un comentario relacionado es el siguiente:

y artificial del agua de lluvia intensa para prevenir azolvamiento y el análisis periódico de la calidad de agua a través de su propio laboratorio. Para dicho laboratorio se debe gestionar una capacitación para el personal, así como la inversión de equipo de laboratorio.

En la gestión se debe mantener la vinculación institucional y seguimiento para apoyar en cualquier ajuste técnico que se requiera, así como en la capacitación continua.

Es importante reconocer el conocimiento local y empírico de HS, así como su sentido de autonomía y búsqueda de sustentabilidad. Es importante reconocer los beneficios intangibles de educar a la comunidad a través del ejemplo del uso de soluciones basadas en la naturaleza.

4.10.4 PROPUESTA PARA LA PTAR HS

Reuniendo los aspectos del estado actual y de mejoras para la PTAR HS en este trabajo se propone los siguientes escenarios futuros, todos como parte de un manejo integral del agua:

1. Duplicar el área con celdas adicionales con *Phragmites australis* y *Typha latifolia* en el humedal construido (HC), implementar un sistema de canalización de agua de lluvia para minimizar el azolve del humedal por la entrada de lodos, hacer un plan de mantenimiento y seguimiento semestral junto con el análisis de agua requerido habilitando el laboratorio del campus que ofrezca sus servicios de análisis de agua para dar seguimiento a la operación del humedal.
2. En caso de no invertir, prepararse para lluvias fuertes eventuales considerando la creación zanjas y plantar vegetación faltante. Vincularse con algún laboratorio de la UASLP para análisis semestrales de agua para fortalecer el seguimiento de operación del humedal.

4.11 ANÁLISIS DE LAS PTAR

4.12 ESTADO ACTUAL Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS DE LAS PTAR

En la Tabla 42 se puede observar el resumen de cada aspecto de esta evaluación por cada PTAR con respecto al objetivo específico 1 el cual está relacionado al estado actual de las PTAR.

En los aspectos técnicos se observa que los estados de conservación de las PTAR con humedales construidos (HC) son “buenos” en lo que se refiere a la infraestructura, esto puede estar relacionado a que los HC están diseñados para tener muy bajo mantenimiento y funcionar sin mucha intervención humana. Éstos, forman parte

de los sistemas de tratamiento considerados como “soluciones basadas en la naturaleza” que consideran a los ecosistemas además de las necesidades humanas, que en este caso es tratar el agua, pero con un enfoque de integrarse al paisaje natural ayudando a salvaguardarlo. En Zona Media (ZM) encontramos un estado de conservación “regular” y “malo” en Zona Universitaria Poniente (ZUP) y Facultad de Agronomía y Veterinaria (FAV) esto está relacionado al tiempo en que se construyeron, además del evidente deterioro previamente descrito.

Se identifican patrones del estado actual que se relacionan con aspectos técnicos como el “diseño”, en donde se aprecia que se debió tomar en cuenta las necesidades de cada campus. En el caso de ZUP y FAV se debió hacer un análisis de la calidad del agua residual (AR) para valorar el proceso de tratamiento adecuado, también en el aspecto técnico del diseño existe el sobredimensionamiento en AO y el subdimensionamiento en HS donde se reconoce que los diseños inicialmente fueron formulados adecuadamente de acuerdo al número de población y la proyección que existía, pero sucedió el caso que no se respetó el diseño original posiblemente por falta de presupuesto (HS) o que el pronóstico de crecimiento no se cumpliera (AO). Otro aspecto de diseño está relacionado con la ubicación de HS en una región con altas precipitaciones que se pudo prevenir buscando una ubicación apropiada para la planta o creando una infraestructura apropiada para la contención de los lodos que durante la época de lluvia se depositan en las celdas del humedal; en el caso de AO, no se previó el menor caudal de afluente que recibe la planta actualmente.

Otro aspecto técnico, pero también de gestión, es el hecho de que los campus o Facultades que están ubicados en zonas periurbanas sin servicios de drenaje municipal o lejanas de otros campus tienden a infiltrar o descargar su AR en cuerpos de agua o infiltrar en el suelo y no se previó que dichas prácticas pudieran representar un costo por multas; posiblemente se consideró que hay menos vigilancia de la autoridad en las zonas lejanas y también menos atención de los medios de comunicación. Otro dato relacionado a este patrón es que tienden a ser campus con predios grandes en donde es más fácil descargar el AR sin ser evidente; en este dato la gestión influye a través de la toma de decisiones de cómo se maneja el agua y cómo eso puede impactar tanto en el ambiente, así como en la posible sanción implicada. En los 5 casos analizados existe algún tipo de incumplimiento o irregularidad de acuerdo con la normatividad lo cual denota una falta de gestión, así como de comunicación con las autoridades por parte de la UASLP en sus diferentes niveles de organización. Además, todos deben tener un análisis periódico de la calidad del agua para dar seguimiento a la operación de las PTAR y así reportar a la autoridad su cumplimiento; los parámetros a evaluar dependerán del tipo de disposición del agua residual tratada.

Otro aspecto técnico y de gestión importante se relaciona con la “capacitación” al personal de mantenimiento en relación a los aspectos de operación y mantenimiento de las PTAR, además de la capacitación al personal administrativo para la planeación presupuestal que conlleve a las compras necesarias así como la asignación

de responsabilidades; este punto se relaciona con el patrón de “comunicación” en donde se requirió una comunicación inicial y continua entre los diseñadores, el personal de mantenimiento, administrativo y directivo para generar estas capacitaciones.

Se detecta que la comunicación de los campus foráneos, ubicados en otros municipios, se tiende a impactar por la distancia. La comunicación impacta en forma de desconocimiento (AO) y falta de organización interna como es el caso de ZUP y ZM. Se hace evidente la falta de comunicación cuando no hay una entrega-recepción, o una entrega de manual de operación o de estudios realizados, o resolución de dudas que surgen en la cotidianidad, o en las opiniones y consensos requeridos.

Es importante la interacción y la difusión de información entre las partes interesadas para garantizar la funcionalidad y sostenibilidad de las PTAR. En consecuencia, se fortalecen las capacidades institucionales en todos los niveles y se obtienen roles y responsabilidades claras para cada actor involucrado en la gestión de aguas residuales (Padilla et al., 2016). Con este párrafo se refuerza la discusión de la importancia y necesidad del vínculo entre los actores, además una PTAR puede tener un impacto social más profundo ya que McCulligh (2023) menciona que las PTAR también tienen un valor simbólico para comunicar el compromiso del Estado, con políticas y proyectos sostenibles. En los casos de esta investigación podemos traducir esta conclusión al escenario que el “Estado” es la institución, la UASLP y la forma en que sus PTAR simbolizan el compromiso de la UASLP con el manejo apropiado del agua.

El patrón de “educación” en el estado actual de todos los casos analizados es importante ya que la UASLP es una universidad cuyo principal objetivo es educar y por tanto es el de sus campus y facultades involucrados en este trabajo por lo que debe educar tanto a su comunidad universitaria como a la población en general con el “involucramiento de los alumnos” que es un patrón encontrado, y en la mayoría de los casos se mencionan programas educativos de interés como el programa agroindustrial, aunque el involucramiento no debe quedar limitado a este programa. Las universidades juegan un papel importante a la hora de guiar el talento del futuro hacia un entorno innovador, donde la industria y la academia puedan colaborar, siendo los estudiantes los protagonistas (Moldes et al., 2018).

En el aspecto socioeconómico actual se detecta el patrón de que todas las PTAR tuvieron un bajo costo de inversión inicial y dicho recurso fue patrocinado por empresas y/o fondos de investigación (AO, ZM) o aprovechado de fondos federales (ZUP, HS); que el costo inicial fuera bajo puede impactar en la permanencia de una PTAR porque no se planeó y presupuestó el recurso para el mantenimiento y operación posterior a su inversión, ni se asignaron responsabilidades. Otro problema de gestión que se identifica es que no se valore lo que no cuesta. Un factor económico patrón de este análisis es que no se paga o hay irregularidad en el agua de primer uso. ZUP actualmente completa su suministro mediante el pago de pipas, en FAV se paga solo por

el agua de uno de sus pozos y en el campus de HS se paga una tarifa preferencial fija por el agua; esto puede generar que no se tenga la percepción de necesitar agua, contrario a cuando se tiene escasez de agua y se valora y cuida más el recurso. Podemos tratar de explicar el fenómeno al definir la relación conceptual entre el precio y el valor que le da el consumidor que son en este caso los cuidadores de las PTAR. El precio puede ser indicador de la cantidad sacrificada para conseguir un producto y a la vez es un indicador de la calidad de este, el precio es un componente del valor del consumidor y estos conceptos son distintos cuando se incluye la percepción de la calidad y el valor del consumidor, se puede decir que el “valor” es más individual o personal que la calidad, y el “valor” involucra un dar y recibir (Sánchez e Iniesta, 2006). Cuando no hay una cantidad sacrificada y una medida de calidad el valor se minimiza, se cuida menos y se presta menos atención a el objeto. Y podemos agregar que el agua, su manejo y sus procesos tienen además un valor cultural, ecológico y de patrimonio inmaterial.

En reconocimiento que puede haber una subjetividad en estos conceptos, de acuerdo con las características del estudio que en este caso son las PTAR se puede inferir que el representar un bajo costo y al no tener una comunicación de su valor se dio menor mantenimiento y atención a la mayoría de las PTAR además de los de los otros aspectos mencionados.

Todos los actores clave respondieron unánimemente que consideran que es factible y necesario la implementación y el buen funcionamiento de las PTAR.

Tabla 42. Aspectos que corresponden al objetivo específico 1 de esta investigación.

Objetivo 1: Hacer un análisis de la situación actual del estado de infraestructura y operación de las PTAR de la UASLP.			
PTAR	TÉCNICO	GESTIÓN	SOCIOECONÓMICO
ZUP	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad (m³/d) del afluente a tratar: 373 (Picos, 2010), 2.298 (López, 2024) • DBO (mg/L): 350.83 (Picos, 2010) 69 (López, 2024) • Nitrógeno total (mg/L): 62.75 (Picos), 215 (López) • TRH (h): 6.04 en homogeneizador • Estado de conservación por inspección visual: Malo 30 % 	<ul style="list-style-type: none"> • PTAR en obra negra e inconclusa 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial (\$): Desconocida, formó parte del presupuesto para remodelación de biblioteca biomédica. Estimado en \$1,150,000 MXN • No se planeó gestionar el recurso para finalizar la obra ni se asignaron responsables
FAV	<ul style="list-style-type: none"> • GyA (mg/L): 109 • Estado de conservación: Malo (34.3 %) • Cantidad (m³/d) del influente a tratar: 25 • SST (mg/l): 919.6 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe potencial multa por infiltración de aguas residuales • Utilizan mucha agua para riego y servicios (5562.4 m³/año) 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial (\$): 252,054 MXN en 2006 • No se planeó el recurso económico para el mantenimiento • Pagan por servicios de laboratorio acreditado para el análisis de calidad del agua residual \$240,000 anual
AO	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad (m³/d) del afluente: 14 (Diseño), 2.5 (este trabajo,2024) • Área: 373 m³ • Población: 750 (Rojas, 2015), 364 (Kipping, 2020), 238 (este trabajo, 2023) • Estado de conservación: Bueno (72 %) 	<ul style="list-style-type: none"> • No hay seguimiento, vinculación y comunicación entre diseño, administración y operación • Se requiere capacitación de personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial (\$): 1,900,000 MXN en 2015

Tabla 42. Aspectos que corresponden al objetivo específico 1 de esta investigación.

PTAR	TÉCNICO	GESTIÓN	SOCIOECONÓMICO
ZM	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad (m³/d) del afluente: 172.8 (Diseño) Cantidad (m³/d) del efluente: 75 (Diseño) Estado de conservación: Bueno (60 %) 	<ul style="list-style-type: none"> Falta vinculación entre diseño y tomadores de decisiones 	<ul style="list-style-type: none"> Inversión inicial (\$): 680,000 MXN en 2014 Falta recurso económico para mantenimiento
HS	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad (m³/d) del afluente: 18.75 (Diseño) 28.48 (Rojas, 2015) Estado de conservación: Bueno (72 %) Población: 453 (Rojas, 2015), 671 (2023) <p>Remediación biológica insuficiente, falta 92.5 % de cobertura vegetal</p>	<ul style="list-style-type: none"> No hay seguimiento, vinculación y comunicación entre diseño, administración y operación Se requiere capacitación de personal 	<ul style="list-style-type: none"> Inversión inicial (\$): 1,700-1900,000 MXN en 2013

En la Figura 75 observamos la relación entre el riesgo, definido como contingencia o proximidad de un daño y que en este contexto se refiere a una vulnerabilidad frente a un peligro como es una sanción legal que implica el pago de una multa, así como la exposición negativa a los medios de comunicación por el mal ejemplo que se está realizando. Y la prioridad, definida como anterioridad de algo respecto de otra cosa, en tiempo o en orden, que este contexto se refiere a los aspectos identificados como importantes o prioritarios que son los niveles de responsabilidad social que incluyen la regularización de pagos y ajustarse a la normativa.

Se observa que es prioritario para ZUP, ZM y FAV consideren la puesta en marcha de sus PTAR considerando su responsabilidad social, el agotamiento de la disponibilidad del agua de primer uso, el costo económico que implica esta agua de primer uso y la contaminación de sus AR. HS presenta menos riesgos y prioridad ya que ya están llevando a cabo las medidas de mantenimiento indicadas y la calidad de agua, aunque requiere un análisis más completo, se considera que la descarga de agua tratada cumple con la normativa. En cuanto a riesgo FAV es la PTAR que corre más riesgos y al mismo tiempo es prioridad de rehabilitación

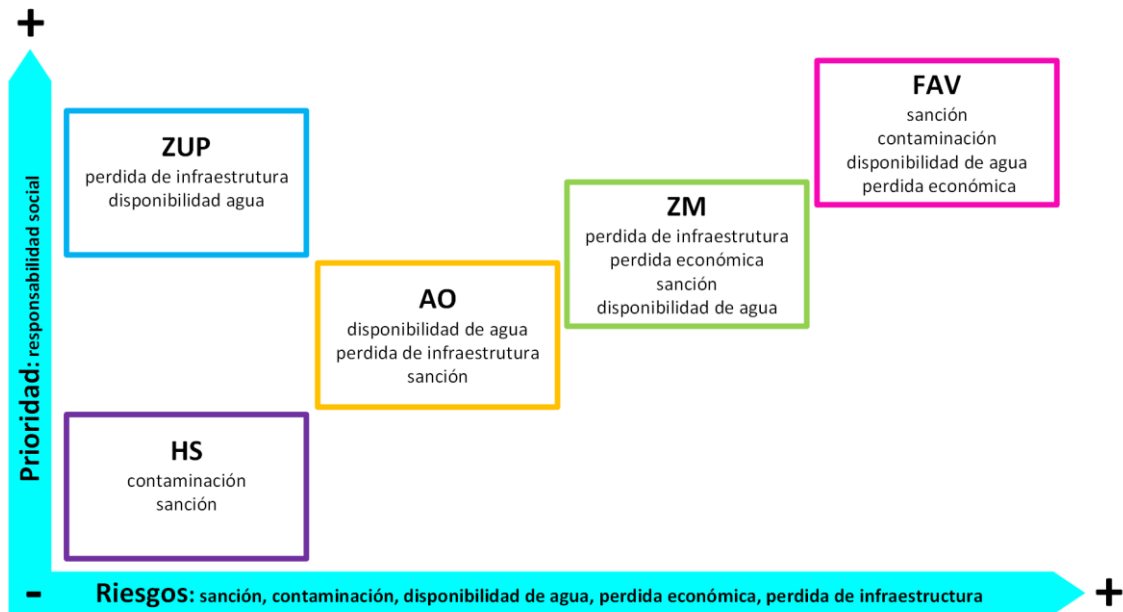


Figura 75. Gráfica de riesgos respecto a prioridad en el estado actual de las 5 PTAR.

4.13 ELEMENTOS DE MEJORA TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y SOCIOECONÓMICOS QUE REQUIEREN LAS PTAR

En la Tabla 43 se puede observar el resumen de cada aspecto de esta evaluación por cada PTAR en relación con sus acciones de mejora o actualización para las 5 PTAR.

Se reconoce el patrón técnico principal que es la necesidad de “mantenimiento” que sucede en todos casos menos en ZUP donde la PTAR está en obra negra y en los otros casos las actividades de mantenimiento son: limpieza, reparación, reposición, poda y desazolve. En el patrón de diseño se ubica la necesidad de recalcular el flujo del influente por lo que se requiere realizar un aforo confiable (ZUP, AO y HS) y tomar en cuenta en el diseño la caracterización de la calidad del agua (FAV, HS, ZUP), se identifica la necesidad de construir ya sea más etapas o ampliación de las PTAR y tener presente los gastos energéticos determinados en el diseño.

En cuanto a la gestión se identifican patrones de las necesidades de las PTAR como el involucramiento cohesionado de los actores clave, la gestión de “recursos económicos”, la “capacitación”, “comunicación”, “planeación” y la “vinculación”, cabe mencionar que estos factores son necesarios en el presente y en el futuro y que son congruentes con lo que propone Cossio et al. (2020) donde discuten que los indicadores de sostenibilidad local más relevantes son capacidad institucional, la concientización entre los habitantes sobre la necesidad del tratamiento de aguas residuales, la estética, la participación y la experiencia.

Un patrón económico común es la necesidad de todas las PTAR de recurso económico como inversión inicial y como presupuesto a mediano plazo para la operación y el mantenimiento; en el caso de ZM y HS se requiere recurso para equipar sus laboratorios y los insumos necesarios para su operación.

Otro patrón es que los indicadores financieros de todas las PTAR son positivos con base en los supuestos que se plantean en este trabajo para cada PTAR como suponer que se paga del agua de primer uso, en todos los campus, o que hay un ingreso por servicios externos o por una actividad productiva. Esto significa que en caso de no tener supuestos no es rentable invertir en las PTAR, en algunos casos estos supuestos son obligaciones legales como pagar por el agua de primer uso y/o que sea más cara que el m³ de agua residual tratada, en el mediano plazo.

Los recursos económicos de inversión que se requieren cumplen con distintos propósitos en cada PTAR, algunos son directos porque representan la reposición o ampliación de la PTAR o la reposición de equipo y materiales, otros costos indirectos se notan en la compra de equipo de laboratorio para poder analizar la calidad de agua o los costos para realizar una actividad productiva.

Económicamente es interesante comparar los costos de inversión actualizados al año que se cotizaron, que nos da una comparativa de mercado o el llamado “benchmarking” para comparar tanto empresas como tecnologías de tratamiento de forma que la colaboración externa con las empresas permite a la academia tener un panorama económico más completo. El uso de un enfoque de benchmarking es la mejor manera para que tanto los gestores de las PTAR como las autoridades consigan el funcionamiento eficiente de las diferentes instalaciones. Esta metodología nos permite conocer cómo funciona el sistema y qué entradas y salidas están afectando la eficiencia o ineficiencia. Además, podemos identificar la influencia de las economías de escala en las PTAR ubicadas en diferentes lugares. Los resultados podrían ayudar a planificar acciones futuras, como considerar el tamaño óptimo de las instalaciones para garantizar un tratamiento adecuado de las aguas residuales (Hernández-Chover et al., 2018)

Socioeconómicamente podemos tomar en cuenta la competitividad que otorga el tener una PTAR en una institución. Por ejemplo, el Instituto Mexicano para la Competitividad colocó a San Luis Potosí en la posición 18 de 32 con una clasificación de media a baja; entre los aspectos que se evalúan para este índice son el tratamiento de agua residual. Aunque la evaluación es estatal, la UASLP podría contribuir con el ejemplo y los beneficios que conlleva ser una institución social y ambientalmente sostenible. El índice de Competitividad Estatal (ICE) mide la capacidad de las entidades del país para generar, atraer y retener talento e inversión. Un estado competitivo es aquel que hace un uso eficiente de sus capacidades para detonar un entorno favorable que contribuya a mejorar el desarrollo de cada estado y con ello el bienestar de sus habitantes (IMCO, 2024).

En relación a las necesidades a tomar en cuenta y las soluciones hacia la sostenibilidad de las PTAR citamos el ejemplo de Cáñez y Rentería (2023) que mencionan que un enfoque de mayor política de planeación tiene mejores resultados que un enfoque de mayor política de dinero para la efectividad de las PTAR municipales de México sobre todo para las PTAR de bajos costos de operación. Este caso es mayoritario para las PTAR de la UASLP en donde ZUP, FAV, AO y HS se proyectaron para bajos costos de operación, así como los costos de mantenimiento.

El enfoque de mayor planeación tiene proyectos ejecutivos antes de la puesta en marcha, planear sin prisa, asegurarse de cumplir las necesidades de la comunidad, detalles técnicos que la hacen factible. Hacer escenarios, estrategias y metas antes de crear infraestructura (Cáñez y Rentería, 2023). Se deben adoptar estas sugerencias para las PTAR de la UASLP ya que se correlacionan con los hallazgos de esta investigación.

Tabla 43. Aspectos que corresponden al objetivo específico 2 de esta investigación

Objetivo 2: Identificar las acciones de mejora y/o de actualización para su puesta en operación en el corto plazo			
PTAR	TÉCNICO	GESTIÓN	SOCIOECONÓMICO
ZUP	<ul style="list-style-type: none"> • Replantear diseño de acuerdo al flujo 400 m³/día (ACCUI, 2024) y a la calidad del influente • Construcción civil de etapas faltantes: Pretratamiento: canal de desbaste con cribas gruesa y fina, mamparas captadoras de biogás, tanque clorador, tanque anóxico y tanque de almacenamiento final, caseta de equipo • Instalación y modificación de tubería: • Conexión a drenaje oeste de ZUP, tuberías de distribución de agua, tubería de descarga de lodos, conducciones de biogás a quemador. • Instalaciones mecánicas y eléctricas: • 2 bombas de alimentación, 3 sopladores, equipo de difusión de aire. • Instalación de instrumentos y de control, inóculo bacteriano anaerobio y aerobio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vincular con académicos expertos y laboratorios que analicen el agua y sean asesores de la PTAR y sus procesos. • Generar constante evaluación de la PTAR que funcione para educar a través de proyectos de investigación y generar conocimiento. • Involucrar a entidades que tienen a los expertos. • Gestionar recurso • Creación y entrega de manual de operación • Curso de capacitación a personal de mantenimiento e involucrados en cuidado de PTAR. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión anual (\$): \$50,000 MXN (ACCUI, 2024) • Cotización para equipamiento en 2013: \$1,972 MXN (Imbrium, 2013), Cotización para equipamiento en 2024: \$8,821,569 MXN (AACUI, 2024) • Involucrar a entidades de ZUP en manutención: Pueden ser las entidades que aprovechen el agua tratada como Facultad de Ingeniería, Facultad de Enfermería y Facultad del Hábitat por la ubicación de la PTAR e interés. • Tasa Interna de Retorno (TIR): 28%, se acepta (indica retorno superior) • Valor Actual Neto (VAN): \$4,827,859, se acepta (indica ganancia) • Relación Costo-Beneficio (RBC): 6.6, se acepta (indica beneficios) • Incluir comunicación y educación ambiental: Con infografías museográficas permanentes en el sitio, así como digitales parte de campañas de cultura del agua.

Tabla 43. Aspectos que corresponden al objetivo específico 2 de esta investigación

PTAR	TÉCNICO	GESTIÓN	SOCIOECONÓMICO
FAV	<ul style="list-style-type: none"> • Replantear diseño de acuerdo con el flujo 30 m³/día y a la calidad del influente con exceso de grasas. • Diseño con cribado, trampa de grasas, fosa séptica, humedal, sistema de filtración, de purificación y desinfección. • Incluir reúso de agua para riego de áreas verdes y canchas para disminuir explotación de pozo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Involucrar a profesores de FAV con conocimiento en humedales y aprovechamiento del agua • Regularizar sus permisos de descarga para agua tratada • Gestionar el recurso económico 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión anual (\$): 125,000 MXN aprox. estimado • Inversión inicial de equipamiento (\$): 3,075,000 aprox. MXN (AACUI, 2024) • Tasa Interna de Retorno (TIR): 15%, se acepta (indica retorno superior) • Valor Actual Neto (VAN): \$323,008, se acepta (indica ganancia) • Relación Costo-Beneficio (RBC): 4.2, se acepta (indica beneficios) <p>Incluir comunicación y educación ambiental</p>
AO	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de rejillas y desazolve de lodos • Reponer grava y vegetación • Acotar área usando una sola celda de humedal 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación de personal de mantenimiento y laboratorio • Vincular con académicos expertos y laboratorios que analicen el agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento productivo del humedal • Incluir comunicación y educación ambiental • Asignar presupuesto mínimo para mantenimiento • Tasa Interna de Retorno (TIR): 64%, se acepta (indica retorno superior) • Valor Actual Neto (VAN): \$193,027, se acepta (indica ganancia) • Relación Costo-Beneficio (RBC): 1.6, se acepta (indica beneficios)

Tabla 43. Aspectos que corresponden al objetivo específico 2 de esta investigación

PTAR	TÉCNICO	GESTIÓN	SOCIOECONÓMICO
ZM	<ul style="list-style-type: none"> Reposición de instalaciones mecánicas y tuberías Limpieza general y retiro de maleza 	<ul style="list-style-type: none"> Vincular con autoridades Gestionar el recurso económico Regularizar sus permisos del pozo 	<ul style="list-style-type: none"> Inversión anual (\$): 200,000 MXN aprox. estimado Inversión inicial de equipamiento (\$): 125,000 MXN Estimada Tasa Interna de Retorno (TIR): 46%, se acepta (indica retorno superior) Valor Actual Neto (VAN): \$288,959, se acepta (indica ganancia) Relación Costo-Beneficio (RBC): 1.3, se acepta (indica beneficios) Incluir comunicación y educación ambiental
HS	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza de rejillas y desazolve de lodos Reponer grava y vegetación Duplicar área de humedal Verificación de condiciones de diseño en base a afluente y condiciones de operación 	<ul style="list-style-type: none"> Capacitación de personal de mantenimiento y laboratorio Vincular con académicos expertos y laboratorios que analicen el agua 	<ul style="list-style-type: none"> Incluir comunicación y educación ambiental Asignar presupuesto mínimo para mantenimiento Tasa Interna de Retorno (TIR): 21%, se acepta (indica retorno superior) Valor Actual Neto (VAN): \$19,868, se acepta (indica ganancia) Relación Costo-Beneficio (RBC): 1.3, se acepta (indica beneficios) Equipar laboratorio para análisis de agua

4.14 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS PTAR

En las Figuras 76 y 77 se observan los resultados del análisis cualitativo de las 5 PTAR en conjunto y responde al cómo y porqué de la suspensión y de la rehabilitación de las plantas.

La palabra “capacitación” (Figura 76) predomina y refleja que los actores clave la consideran relevante en relación a las PTAR, un ejemplo de esto es la necesidad de tener una capacitación inicial durante la puesta en marcha de la PTAR y capacitación durante su funcionamiento de parte de los expertos y de los respectivos

constructores o quienes las pusieron a funcionar, con el personal responsable en el futuro, la acompañan las palabras “seguimiento” y “gestión” que forman parte de mantener el vínculo para recordar y cuidar.

La palabra “mantenimiento” puede traducirse igualmente en el mantenimiento que requieren las PTAR en su horizonte de años, relacionado a esta palabra se menciona “operación” y “limpieza”. La palabra “drenaje” representa la preocupación de los actores clave por cuidar la calidad del agua que envían al drenaje municipal o la falta de drenaje que existe en FAV, AO y HS.

La frase “calidad de agua” se refiere a su preocupación por el agua que tratan o que descargan y aquí notamos la intención de los actores clave por cuidar el medio ambiente, relacionado a este tema están las palabras “conciencia”, “riego” y “pozo”.

La palabra “alumnos” es esperada ya que las PTAR en estudio son universitarias y la palabra se refiere al involucramiento de los estudiantes en el mantenimiento y estudio de ellas, pero también en el sentido de divulgación.

Coinciden en la palabra “municipio” que se refiere a que 4 de las PTAR tienen buena relación con los organismos operadores del agua en sus respectivas ciudades.



Figura 76. Nube de palabras de las 5 PTAR

En la Figura 77 vemos reunidas todas las frecuencias de códigos de las 5 PTAR y del análisis del estado actual y de rehabilitación, esta figura nos da una mirada global del análisis de los casos en conjunto.

En discusión de lo observado en la Figura 66, el factor más relevante en las 5 PTAR fue “Gestión_Motivantes-Comunicación_Vinculación” que puede indicar que en todos los campus existe tanto la falta como la necesidad

de tener comunicación clara y constante entre los actores clave en especial HS y ZM. Estos factores son razones de suspensión, pero son indispensables para la sustentabilidad de las PTAR en el futuro.

Analizando la Figura 77 observamos que HS tuvo más códigos lo cual en base a las entrevistas y el análisis representa mayor interés y conocimiento de los requerimientos de la PTAR y la ejecución de las acciones para la sostenibilidad de su planta. En ZUP hay menos códigos por el desconocimiento de su existencia y la poca claridad en el rumbo que seguir con esta planta.

En este trabajo se observa que todos los patrones identificados en los análisis globales presentados en las secciones 4.6.1 y 4.6.2 se correlacionan a los códigos identificados en el análisis cualitativo (Figura 11), lo cual indica la conexión y paralelismo que existe entre todos los aspectos evaluados y refuerza los resultados de este análisis reflexivo.

En la investigación de Chemisto (2021) observamos como de su análisis cualitativo usando la Teoría Fundamentada, el pensamiento inductivo y la interpretación filosófica de supuestos lo llevaron a proponer una teoría llamada "optimización de perspectivas" la cual explica las perspectivas cualitativas basadas en la interpretación de las perspectivas de los participantes. Esta teoría ayudó a apalancar efectivamente la iniciativa de base de datos de suministro de agua de su estudio para aumentar el acceso de los ciudadanos al agua mediante la gestión de la funcionalidad de las fuentes de agua, el seguimiento del desempeño del sector, la gobernanza y las decisiones basadas en datos para desarrollar nuevas fuentes de agua (Chemisto, 2021).

Este ejemplo ayuda a esclarecer la discusión de esta investigación que combinó diferentes metodologías y datos ya que también en este estudio se dio valor a las opiniones y perspectivas de los actores clave y estas perspectivas pueden ser optimizadas para ofrecer este involucramiento, apropiación, autonomía, acceso a la información, poder de decisión, seguimiento y evaluación que nace de la voluntad de los actores clave y es la base del funcionamiento adecuado de las PTAR a través del tiempo. Concluyendo que el análisis cualitativo ofrece un reforzamiento al análisis cuantitativo, en este caso al entendimiento del estado actual de las PTAR de la UASLP y ofreciendo las soluciones de cómo habilitar, rehabilitar o mejorar las PTAR además de que se mantengan en el tiempo.

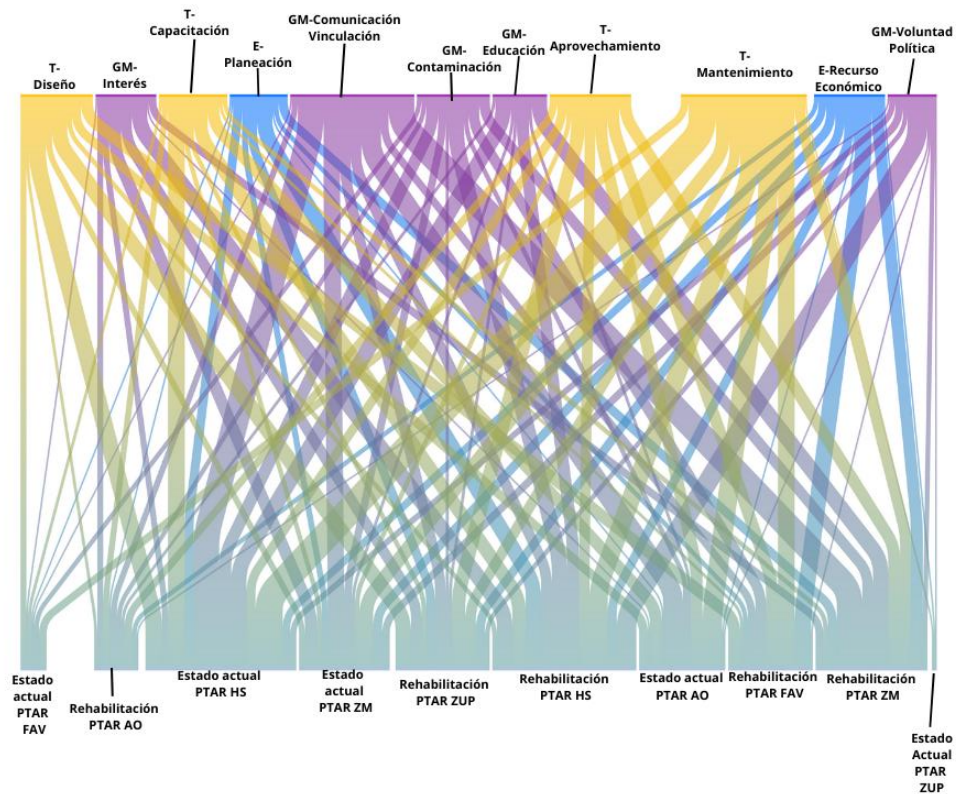


Figura 77. Frecuencias de códigos de las 5 PTAR

4.15 PROPUESTA DE ESCENARIOS DE LAS PTAR

Gracias a los objetivos específicos 1 y 2 de esta investigación y junto con el análisis cualitativo se da cumplimiento al objetivo específico 3 el cual busca proponer escenarios futuros para cada PTAR, ofreciendo opciones, en reconocimiento que se requiere una combinación de muchos aspectos para lograr un escenario ideal pero que se puede tomar alguna acción para un mejor manejo del agua de cada campus o considerar etapas.

En soporte a la relación con las soluciones a los problemas que implican la búsqueda de la sostenibilidad se encuentra el reporte de la Organización de las Naciones Unidas: “Soluciones sinérgicas para el clima y la acción de los ODS: creando puentes para cerrar la brecha de ambición para el futuro que queremos” este reporte ofrece algunas recomendaciones que aplican para esta investigación visualizadas en la Figura 78. Observamos que las 10 recomendaciones se pueden integrar en los 5 casos de estudio evaluados ya que solo unificando esfuerzos y creando sinergias contrastadas a las intenciones aisladas se puede tener un manejo integral del agua y de las PTAR. Reformar el “uso y costumbre” del manejo del agua en la UASLP es importante para

cumplir con lineamientos propios de la UASLP, así como con la normativa aplicable. Estas reformas o políticas deben ser horizontales y no de “arriba hacia abajo” para que funcionen y consideren todos los aspectos, así como la realidad de los contextos.

La planeación juega un rol imprescindible para las construcciones de las PTAR desde el diseño hasta la proyección de su funcionamiento en el porvenir. Se debe tener accesibilidad y asequibilidad a la información para poder ser usada como los manuales de operación de la PTAR y proyectos para poder “hacer” con conocimiento. En la UASLP se debe reconocer el conocimiento local y adquirido a través de la experiencia de su personal desde personal de mantenimiento, administrativo, alumnos, docentes y directivos y entender las dinámicas que hay en sus comunidades universitarias y comunidad alrededor de la universidad. Por último, como mencionaba un estudio en la sección 4.6.2 las acciones transformadoras que se sostienen se planean con paciencia y cuidado y suceden con un proceso y no de un día para otro.

Tabla 44. Fragmento de las recomendaciones para soluciones sinérgicas. Tomado de: Soluciones sinérgicas para el cambio climático y los ODS: Un puente para la brecha de ambición por el futuro que queremos (ONU, 2024).

1	Solo con acción unificada podemos tener éxito	Es esencial integrar acciones sinérgicas con cooperación realzada entre gobiernos, legisladores y comunidades globalmente.
2	Fragmentación es el enemigo	Abordando la fragmentación en estructuras y estrategias institucionales es crucial para mejorar sinergias entre el clima y los ODS.
3	Reformas serias son necesarias	Reformas serias a través de los sectores, que incluyan cambios institucionales y cambios en el comportamiento son necesarias para obtener progreso significativo.
4	Evitar abordajes arriba-abajo	Adoptar abordajes abajo- arriba que involucren soluciones hechas a la medida de los contextos locales, con fuerte compromiso local y apoyo de las iniciativas de la comunidad.
5	Las ciudades como conductores	Las ciudades juegan un papel crucial en lograr las metas de los ODS y objetivos del clima a través de planeación y desarrollo de infraestructura innovadora e integrada.
6	Romper los silos	Es esencial el desarrollo de políticas coordinadas e integradas y la implementación a través de diferentes niveles de gobierno y sectores.
7	Hay expertos en todas partes	Es vital el compromiso inclusivo a través de los sectores sociales para generar cambio transformativo, particularmente incorporar perspectivas de los grupos marginados.

Tabla 44. Fragmento de las recomendaciones para soluciones sinérgicas. Tomado de: Soluciones sinérgicas para el cambio climático y los ODS: Un puente para la brecha de ambición por el futuro que queremos (ONU, 2024).

8	Proteger a los más vulnerables	Fortalecer infraestructura, la capacidad comunitaria y la colaboración gubernamental son componentes imperativos para construir resiliencia en comunidades.
9	No podemos “hacer” si no “sabemos”	La legislación efectiva requiere conocimiento y datos accesible, relevante y coherente.
10	El cambio no va a suceder en una noche	Mantener acciones transformativas es crucial para lanzar esfuerzos hacia un futuro neto cero resiliente para 2023.

El objetivo de la Tabla 45 es que sirva de guía para los tomadores de decisiones cuyas opiniones fueron consideradas en un ejercicio participativo durante este estudio; los escenarios planteados pueden ser modificados y precisados bajo este mismo camino participativo buscando cerrar la brecha entre la generación del conocimiento y la toma de decisiones gracias a la curación de datos, análisis que finaliza en escenarios sintetizados.

Tabla 45. Aspectos que corresponden al objetivo específico 3 de esta investigación

Objetivo 3: Generar una propuesta para cada PTAR que permita su operación sostenible, considerando su factibilidad técnica, económica y de gestión.	
PTAR	Propuestas de escenarios futuros
ZUP	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puesta en marcha de la PTAR ZUP con las consideraciones técnicas, socioeconómicas y de gestión discutidas en este trabajo en tablas 8, 9 y 10 buscando el reúso del agua tratada, con el doble propósito de servir para fines de investigación y/o educación. 2. Una opción para aprovechar la inversión consiste en habilitar los tanques construidos como cisternas para almacenar agua de lluvia, aunque esto requiere que en la ZUP se implementen colectores pluviales y tratamiento para agua de lluvia, actualmente inexistentes.
FAV	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puesta en marcha de una nueva PTAR FAV con consideraciones técnicas, socioeconómicas y de gestión discutidas en las tablas 16, 17 y 18 tomando en cuenta la ubicación que implique menos construcción civil, así como el aprovechamiento de la infraestructura y equipo existente. 2. En caso de no gestionar proyecto en el corto plazo, se sugiere definir etapas a un mediano plazo, que impliquen el equipamiento gradual de la PTAR; comenzando con la trampa de grasas, la fosa séptica y el humedal construido. 3. En caso de no gestionar el proyecto, se sugiere transformar el “tanque final” de la actual infraestructura, como una fosa séptica apropiada y reubicar el sitio donde actualmente se deja filtrando y evaporando el agua residual para transformarlo en un tanque séptico impermeabilizado.
AO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizar solo la celda 1 con <i>Phragmites australis</i> del humedal construido (HC), tener mantenimiento y seguimiento semestral junto con análisis de agua, producir en HC plantas ornamentales para venta y habilitar el reúso del agua tratada para el riego y para los invernaderos, enfatizar comunicación y educación ambiental. 2. En caso de no reunir suficiente agua, usar PTAR de forma experimental para fines de investigación con profesores y alumnos de AO, incluyendo proyectos de cosecha de lluvia.
ZM	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puesta en marcha y posible ampliación de la PTAR con consideraciones técnicas, socioeconómicas y de gestión discutidas en tablas 31, 32 y 33 que asegure su funcionalidad y escala de acuerdo a las necesidades del campus asegurando el reúso del agua tratada para riego de áreas verdes y regulación de agua de primer uso.
HS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Duplicar el área con celdas adicionales con <i>Phragmites australis</i> y <i>Typha latifolia</i> en el humedal construido (HC), implementar un sistema de canalización de agua de lluvia para minimizar el azolve del humedal por la entrada de lodos, hacer un plan de mantenimiento y seguimiento semestral junto con análisis de agua habilitando el laboratorio del campus que ofrezca sus servicios de análisis de agua para dar seguimiento a la operación del humedal. 2. En caso de no invertir, prepararse para lluvias fuertes eventuales considerando la creación zanjas y plantar vegetación faltante. Vincularse con algún laboratorio de la UASLP para análisis semestrales de agua para fortalecer el seguimiento de operación del humedal.

La Figura 79 busca aportar a este último objetivo de forma que se esclarece de forma resumida las necesidades de las propuestas de las PTAR, ubicándolas de acuerdo a la prioridad en la que se encontró se deberían rehabilitar, así como que es lo que se requiere primero; estas prioridades se correlacionan con el tiempo y sirven para ubicar las etapas a seguir a corto, mediano y largo plazo. Al mismo tiempo la figura nos ofrece un panorama general que incluye los beneficios de agua tratada que puede reutilizarse. En términos generales se observa que es más benéfico rehabilitar primero la PTAR FAV y que en ocasiones se requiere primero atender los aspectos técnicos de las PTAR.

1.FAV	-Regularizar sus permisos de descarga para agua tratada.	-Inversión inicial (\$): 3,075,000 aprox. MXN (AACUI, 2024) -TIR: 15%	-Diseño con influente de 30 m³/día y exceso de grasas. -Reúso de 7,920 m³/año de agua tratada para riego y disminuir explotación de pozo.
2.ZUP	-Inversión inicial: \$8,821,569 MXN (AACUI, 2024) TIR: 28% -Involucrar a entidades de ZUP en manutención.	-Replantear diseño de acuerdo al flujo 400 m³/día (ACCUI, 2024) y a la calidad del influente. -Reúso de 54,750 m³/año de agua tratada para riego y disminuir explotación de pozo.	-Generar constante evaluación de la PTAR que funcione para educar a través de proyectos de investigación y generar conocimiento.
3.ZM	-Vincular con autoridades -Regularizar sus permisos de agua de pozo.	-Inversión anual (\$): 200,000 MXN aprox. -TIR: 46%	-Reposición de instalaciones mecánicas y tuberías. -Reúso de 27,433 m³/año de agua tratada para riego y disminuir explotación de pozo.
4. AO	-Limpieza y reposición -Acotar área usando una sola celda de humedal.	-Capacitación	-Aprovechamiento productivo del humedal. -TIR: 64%
5.HS	-Limpieza y reposición -Duplicar área de humedal	-Vincular con académicos expertos y laboratorios que analicen el agua.	-Equipar laboratorio para análisis de agua. -TIR: 21%

Figura 79. Principales características para rehabilitar las PTAR de acuerdo al orden de prioridad

5. CONCLUSIONES

La hipótesis de este trabajo se acepta con base en que la rehabilitación y operación de las PTAR son posibles en los aspectos técnicos, económicos y de gestión. Lo anterior se sustenta en que para cada PTAR se realizaron las sugerencias técnicas y de gestión, además de plantear supuestos de indicadores financieros que muestran factibilidad en su rehabilitación. Sin embargo, se reconoce el sistema complejo en él que nos encontramos, y se observa que no ha habido la gestión e involucramiento requerida de las autoridades por lo que la operación y mantenimiento de las PTAR no se ha logrado.

De forma global la rehabilitación de las cinco PTAR implica tratar 2,35,527 m³/año de agua residual, obteniendo 95,040 m³/año de agua tratada con una calidad apropiada para reúso o que no contamine cuerpos de agua. Este aprovechamiento del recurso hídrico representa un impacto ambiental positivo al disminuir o sustituir el requerimiento de agua de primer uso proveniente de agua subterránea, entubada y de pipas; además de garantizar la preservación de ríos.

Existen diferentes niveles de complejidad técnica para cada caso que se resuelven con ajustes sencillos o con tecnología innovadora que toma en cuenta la calidad del agua, el número de población y las dinámicas de los campus. La gestión resulta importante desde el punto de vista normativo, así como la capacitación al personal y la vinculación entre entidades y expertos. El recurso económico requerido para rehabilitar las cinco PTAR es de un total de \$12,359,947 y es una inversión que se recupera en todos los casos con tasas internas de retorno entre 15 y 64%.

Considerando un manejo integral del agua que contemple la educación y comunicación ambiental se proponen los siguientes escenarios para cada PTAR de la UASLP:

- El diseño de los humedales construidos de AO y HS debe revisarse detalladamente para reevaluar su funcionamiento en el corto plazo a la par de realizar las acciones de mantenimiento, seguimiento, vinculación y comunicación institucional, con lo que podrán tener una calidad de agua que cumpla con la normativa aplicable.
- En las PTAR biotecnológicas ZUP y FAV se debe hacer un rediseño de acuerdo con la calidad y cantidad del agua del afluente y se debe obtener o asignar un recurso económico para su equipamiento y mantenimiento, que sobre todo logre disminuir el agua de primer uso.
- En ZM se requiere obtener el recurso económico para la rehabilitación y operación, así como, disminuir el agua de primer uso y priorizar la vinculación y comunicación institucional.

El rehabilitar las cinco PTAR de la UASLP representa beneficios ambientales, sociales y económicos que ejemplifican los valores de la UASLP como parte de sus objetivos de educar a la sociedad y aportar al desarrollo sostenible.

6. PROSPECTIVA

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo se reconoce la necesidad de dar seguimiento a los escenarios propuestos en la Tabla 45 al mismo tiempo dar seguimiento al buen funcionamiento y atención a las recomendaciones. Se sugiere investigar y evaluar los manejos de agua llevados a cabo en las demás entidades de la UASLP y dar recomendaciones para su mejora. Por último, se propone generar modelos de gobernanza para la implementación y mantenimiento de las PTAR de la UASLP presentes y planear futuras instalaciones con la visión de avanzar en el proceso de llegar a ser una institución ambientalmente sostenible.

Estas sugerencias de prospectiva se proponen que se lleven a cabo de forma institucional a través del Programa Universitario de Agua de la Agenda Ambiental el cual debe dar seguimiento a las acciones que se emprendan; el PUA podría apoyarse en el Grupo Universitario del Agua de la UASLP.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ACCUI (2024) Proyecto de Humedal de Tratamiento Modular en Facultad de Agronomía y Veterinaria San Luis Potosí, S.L.P., México. ACCUI Circular Water SA. De CV.
- Agenda Ambiental (2019). Descripción de programas institucionales del Sistema de Gestión Ambiental. Reporte interno de la Agenda Ambiental UASLP.
- Agenda Ambiental (2021). Descripción del Programa Universitario del Agua. Reporte interno de la Agenda Ambiental UASLP.
- Agenda Ambiental. (2022). Reporte Greenmetric 2022. Reporte interno de la Agenda Ambiental UASLP
- Agenda Ambiental. (2024). Gestión Institucional. Revisado junio 2024 en: <https://ambiental.uaslp.mx/>.
- Aguilar F., Charcas H., Aguirre R., Flores J. (2024) Evolución Reciente Del Aprovechamiento Del Acuífero Rioverde, San Luis Potosí, México.
- Baca-Urbina G. (2001) Evaluación de proyectos. 4ta Edición. México. McGraw Hill.
- Balcázar, P., González-Arratia, N., Gurrola, G. y Moysén, A. (2013). Investigación Cualitativa. México DF. Universidad Autónoma del Estado de México
- Batista-Rodríguez, C. y Salgado-Holguín, R. (2006). El RCA. Un enfoque en el Diagnóstico Técnico. Conferencia asignatura mantenimiento Universidad "Oscar Lucero Moya".

- Banu R., Kaliappan S. y Yeom I. (2007). Treatment of domestic wastewater using upflow anaerobic sludge blanket reactor. *International Journal of Environment Science and Technology*, Vol 4, Número 3, páginas 363-370. 4. 10.1007/BF03326295.
- Bowman, W. (2012). *Fundamentos financieros para organizaciones sin fines de lucro*.
- Brunner, J.J. (2007). *Universidad y sociedad en América Latina*. 2da Edición. México. Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones en Educación.
- Buendía-Oliva, M., García-Torres, L.D., y Ramos-Palacios C.R. (2022) Bases para un plan de manejo del arbolado dentro del Programa Universitario De Biodiversidad en el campus zona poniente de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Proyecto integrador de licenciatura. Universidad Autónoma De San Luis Potosí.
- Cáñez A. y Rentería C. (2023). Why are municipal wastewater treatment plants abandoned in Mexico? When a more money policy approach is not enough. *Water resources and economics*. Volume 43, 100226. ISSN:2212-4284.
- Cardoso, M. y Antunes, M. (2017). Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, Volume 142, Part 1. Páginas 290-296.
- Centro Virtual de Información del Agua. (2017) ¿Cuánta agua hay? Revisado en junio 2022 en: <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/#algunos-datos-sobre-el-agua>.
- Chandrappa R. y Das D.B. (2014). *Sustainable water engineering: Theory and practice*. Jhohn Wiley and Sons. New Delhi, India, 432 pp.
- Chachuat, N. R. (2010). Dynamic optimization of small size wastewater treatment plants. *Computers and chemical Engineering* 25, 585-593.
- Chemisto M. (2021). *Optimizing Perspectives: A Classic Grounded Theory of Stakeholder Perceptions on WSDB Influence in Uganda's Water Sector*. Doctor of Philosophy thesis University of Cape Town.
- Conagua (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero San Luis Potosí (2411), estado de San Luis Potosí. Revisado el junio 2024 en: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sanluispotosi/DR_2411.pdf
- Conagua. (2023). *Indicadores del Programa Nacional Hídrico*. Recuperado en junio 2024 en: <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Indicadores/>
- Conagua (2022) Actualización de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero San Luis Potosí, estado de San Luis Potosí. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sanluispotosi/DR_2411.pdf
- Conanp (2019). ¿Sabes cuánta agua consumes? Recuperado en junio 2023 en: <https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20Organizaci%C3%B3n,de%20consumo%20como%20de%20higi>
- Cossio C., Norrman J, McConville J., Mercado A., Rauch S. (2020). Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries, *Environmental and Sustainability Indicators*, Volume 6, 100028, ISSN 2665-9727
- Creswell, J.W. (1994). *Research Design Qualitative and Quantitative Approaches*. CA: USA: Sage. p.158.
- Chrispim M., y Nolasco M. (2016). Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. Volumen 142. Parte 1. Páginas 290-296. 142. 10.1016/j.jclepro.2016.07.162.

- Daigger G., Kuo J., Derlon N., Houweling D., Jimenez J., Johnson B., McQuarrie J., Murthy S., Regmi P., Roche C., Sturm B., Wett B., Winkler M., Boltz J. (2023). Biological and physical selectors for mobile biofilms, aerobic granules, and densified-biological flocs in continuously flowing wastewater treatment processes: A state-of-the-art review, *Water Research*, Volume 242, 120245, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120245>.
- Disterheft, A., Caeiro, S., Miranda-Azeteiro, U. and Leal-Filho, W. (2013). Sustainability Science and Education for Sustainable Development in Universities: A Way for Transition” in *Sustainability Assessment Tools in Higher Education Institutions*, (Eds.). Cham: Springer International Publishing.
- Dufour A., Morato J., Gallegos A. (2013). PTAR campus Tamazunchale UASLP. Facultad de Ingeniería y Cátedra UNESCO de Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Durmus E (2008). Energy efficiency in pumps. *Energy Conversion and Management* 49, 1662- 1673.
- FAO (2022) Food and Agriculture Organization. Portal de datos de indicadores de los ODS. Revisado octubre 2022 en <https://www.fao.org/water/es/>
- Flick, U. (2012). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid, España: Ediciones Morata.
- Gallert, C., y Winter, J. (2005). *Bacterial Metabolism in Wastewater Treatment Systems. Environmental Biotechnology concepts and applications*. Chapter 1 (pp. 1-28).
- Gil M. y Reyes H. (2015). Gestión integral del agua desde un enfoque social, hacia una economía ecológica. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*. 24. 159-176. 10.20983/noesis.2015.1.6.
- Godfrey, S., Labhasetwar, P., Wate S. (2009). Greywater reuse in residential schools in Madhya Pradesh, India: A case study of cost–benefit analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 53, Issue 5 (pp. 287-293)
- Gray, S., Zanre, E. y Gray, S., 2014. Fuzzy cognitive maps as representations of mental models and group beliefs. In: E. Papageorgiou, Ed. *Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 29-48.
- Hernández-Chover V., Bellver A, Hernández F., (2018). Efficiency of wastewater treatment facilities: The influence of scale economies, *Journal of Environmental Management*, Volume 228, Pages 77-84.
- Hernández, Y. y Betancourt A. (2015). Agua y abastecimiento: gestión de cuerpos de agua en la ciudad de San Luis Potosí (México) 1831-1887. *Historelo.rev.hist.reg. local* vol.7 no.14
- Hernández R., Fernández C. y Baptista P. (2010). *Metodología de la investigación*. Quinta edición. México: Editorial Mac Graw Hill, 2010.
- Hysa E., Kruja A., Rehman N., Laurenti R. (2020). Circular Economy Innovation and Environmental Sustainability Impact on Economic Growth: An Integrated Model for Sustainable Development. *Sustainability*. 12. 4831. 10.3390/su12124831.
- IMBRIUM (2013) Proyecto: Planta Tratadora de Aguas Residuales ZUP-UASLP.
- IMCO (2024). Índice de Competitividad Estatal 2024 del Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. imco.org.mx/indices
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2017) Anuario estadístico y geográfico de San Luis Potosí Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2017. 638 p.
- Interapas (2021). Informe Anual 2021 Revisado el 13 de noviembre 2021 en: <https://interapas.mx/nosotros/informesanuales/>
- Jaramillo (2024) El ciclo hidrológico ha sido modificado. *Gazeta UNAM*. Mencionado en <https://www.atmosfera.unam.mx/el-ciclo-hidrológico-ha-sido-modificado/>

- Kadlec R y Wallace S. (2009) Treatment wetlands Taylor and Francis Group. 2nd edition.
- Kostel J., (2024). Wetlands. The Wetlands Initiative.
<http://www.wetlandsinitiative.org/nutrientremoval#:~:text=Wetland%20plants%20uptake%20inorganic%20nitrogen,temporary%20storage%20of%20the%20nutrients>.
- Lachinani M. y Abna P. (2023) Urban Constructed Wetlands In Arid And Semiarid Zones. Civil and Environmental Engineering Shahid Beheshti University, Iran. 19. 10.2478/cee-2023-0033.
- LAN (2023). Ley de Aguas Nacionales de 2023. 8 de mayo del 2023. DOF 08-05-2023.
- Leff, E. (1998). Saber ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. México: Siglo XXI, PNUMA, UNAM.
- LGEEPA (2024). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Al Ambiente de 2023. 1 de abril del 2024. DOF 01-04-2024
- Lipps, W., Burton E., Baxter T. (2023). Determinación de la Demanda Química de Oxígeno de Reflujo Cerrado, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24th edition.
- López-Ramírez, M. (2020). La Gestión del Agua en México y el PRONACES-Agua. Revisado en abril 2022 en: <https://conahcyt.mx/la-gestion-del-agua-en-mexico-y-el-pronaces-agua/>
- López-Torres, J. G., Aldama-Aguilera, C., y Olvera-Delgado, J.M. (2024) Evaluación de la capacidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Zona Universitaria Poniente de la UASLP. Trabajo Desarrollo de proyecto integrador de Ingeniería Ambiental UASLP.
- López-Yepes (1981). Estudio de Documentación General e Informativa. Madrid, Seminario Millares Carlo. p. 116-141
- Lorenzo, Y. (2006) Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. XL(2):10-17. Revisado en 22 de Diciembre de 2024. ISSN: 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>.
- McCulligh, C. (2023). Wastewater and wishful thinking: Treatment plants to “revive” the Santiago River in Mexico. Environment and Planning E: Nature and Space, 6(3), 1966-1986. <https://doi.org/10.1177/25148486221125230>.
- Mejía Méndez G., Lara de la Calleja M. A., López Aguilar R. C. (2022). Propuesta de humedal artificial como alternativa sustentable para el cuidado del medio ambiente. Revista biológico agropecuaria Tuxpan, Volumen 10, Número 2. Páginas 219-238. www.doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i2.448.
- Metcalf and Eddy (2014) Wastewater Engineering: Treatment and reuse (5th Edition) McGraw-Hill.
- Metz F, Ingold K. Sustainable Wastewater Management: Is it Possible to Regulate Micropollution in the Future by Learning from the Past? A Policy Analysis. *Sustainability*. 2014; 6(4):1992-2012. <https://doi.org/10.3390/su6041992>
- Moldes A., Rodriguez A., Cruz J. (2018) Linking Education And Innovation In Urban Waste Water Treatment Plants Through Final Degree Projects, Edulearn18 Proceedings, Pp. 2721-2725.
- Morales L. (2008). Diagnóstico organizacional para el desempeño ambiental de la UASLP. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí] Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales.
- Morgan J.M. et al. (2023) Tratamiento y Reúso de Agua Residual Municipal: Metodología para estimar el potencial de reúso en una región y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento. 1ra Edición Universidad Nacional Autónoma de México.
- MRWA (2009): Coagulation and Flocculation. Minnesota Water Works Operations Manual. Chapter 12. Minnesota Rural Water Association (MRWA). 4th edition. Minnesota (USA).

- Nieto-Caraveo, L.M. (1998). "Hacia la construcción de una Agenda Ambiental de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Reporte de la Comisión de Medio Ambiente. Medellín Milán, P., 2004, Agenda Ambiental, Carpeta informativa UASLP. Junio 2004."
- Noyola-Cherpitel (2018). La construcción de la sustentabilidad en el currículo universitario: cinco carreras de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Tesis de doctorado UASLP. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales.
- Obiuto C., Ninduwezuor, Nwakamma, Olu-lawal, Kehinde. (2024). Advancing wastewater treatment technologies: The role of chemical engineering simulations in environmental sustainability. World Journal of Advanced Research and Reviews. 21. 019-031. 10.30574/wjarr.2024.21.3.0649.
- Organización de las Naciones Unidas (2021). La agenda para el desarrollo sostenible. Recuperado julio 2021 en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Organización de las Naciones Unidas (2024) La escases detona problemas sociales Revisado junio 2024 en: <https://www.gaceta.unam.mx/la-escasez-de-agua-detona-conflictos-sociales/#:~:text=%E2%80%9CCuando%20el%20agua%20escasea%2C%20est%C3%A1,que%20atraviesa%20las%20fronteras%20nacionales.>
- Organización de las Naciones Unidas (2024). Synergy Solutions for Climate and SDG Action: Bridging the Ambition Gap for the Future We Want Revisado en junio 2024 en: <https://sdgs.un.org/publications/synergy-solutions-climate-and-sdg-action-bridging-ambition-gap-future-we-want-56106>
- ONU Habitat. (2021). ONU Habitat Reporte Anual 2021. Revisado mayo 2022 en: <https://onu-habitat.org/index.php/ONU-habitat-reportes-anuales-2021>
- Padilla A., Morgan J. y Güereca L. (2019) Sustainability Assessment of Wastewater Systems: An Environmental and Economic Approach. Journal of Environmental Protection, 10, 241-259. <https://doi.org/10.4236/jep.2019.102014>
- Pandey, V.P., Shrestha, S., Kazama, F. (2012). Groundwater in the Kathmandu valley: development dynamics, consequences and prospects for sustainable management. Eur. Water 37, 3–14.
- Parker, C., Scott, S., & Geddes, A., (2019). Snowball Sampling, In P. Atkinson, S. Delamont, A. Cernat, J.W. Sakshaug, & R.A. Williams (Eds.), SAGE Research Methods Foundations. <https://doi.org/10.4135/9781526421036831710>
- Picos-Benítez, R. A. (2010) Estudio Para La Reducción Del Consumo De Agua En La Zona Universitaria Poniente De La UASLP Mediante Sustitución De Muebles Sanitarios, Captación De Agua De Lluvia, Cambio De Jardinería Y Reutilización De Agua Tratada. [Tesis de maestría Universidad Autónoma de San Luis Potosí] Maestría en hidrosistemas.
- PIDE 2024-2030 (2023). Plan Institucional de Desarrollo 2024-2030 de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Revisado mayo 2024 en: <https://www.uaslp.mx/pide#gsc.tab=0>.
- Programa Universitario de Biodiversidad, PUB (2020). Agenda Ambiental UASLP. Revisado noviembre 2023 en: ambiental.uaslp.mx.
- PUMAGUA (2013) Reporte de avances del programa 2013. www.pumagua.unam.mx.
- Rojas R. (2002). Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Curso Internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales" Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Mundial de la Salud.
- Rojas S. (2015). Diseño y evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal en dos campus universitarios. Tesis maestría Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

- Rossel E., Gaytan N., Ortiz H., Cisneros R., Cisneros R. (2020). Evaluation of the functionality of a constructed wetland system under semidesert and saline conditions. *Agroproductividad*: Vol. 13, Num.11, noviembre 2020. Pp. 115-121
- Ramos-Palacios C.R. (2019) Guía del arbolado y otras formas vegetales en situación de banqueta. Ciudad de San Luis Potosí. 1ra Edición. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. UASLP-SEGAM. México.
- Rivas, A. (2023) ¿Cómo construir un humedal para el tratamiento del agua residual en mi escuela?: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 61 p.
- Rittmann B. & McCarty P. (2001) *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. 1ª Edition McGraw-Hill Education
- Rodríguez J., Martínez D., Blanco E. (2013). Proyecto Hidrológico Coordinación Académica Zona Huasteca Sur Campus Tamazunchale Universidad Autónoma De San Luis Potosí. Reporte técnico.
- Rueda A. (2004). Modelación del sistema de agua potable en la zona universitaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Tesis de maestría UASLP Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.
- Sánchez R. e Iniesta A. (2006) Consumer perception of value: Literature review and a new conceptual framework. Volumen 19. P 40-53
- Srinivasan S., Cullen Z., Connolly R., Breen B., Albadawi A. (2024) Minimising carbon footprint and enhancing energy savings using premium-efficiency motors. *IFAC PapersOnLine* 58-3 340-344.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., Zurbrügg, C. (2017) - Commons: Schematic of a septic tank 2.png.
- The Stockholm Resilience Center (2016). The SDGs wedding cake. Recuperado junio 2024 en: <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html>
- Troncoso C. y Amaya A. (2012). Entrevista: guía práctica para la recolección de datos cualitativos en investigación de salud. *Introducción a la investigación cualitativa*. Rev. Fac. Med. 2017 Vol. 65 No. 2: 329-32.
- Tudela F. (2006). Gestión integral del agua. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, SEMARNAT. Recuperado en junio de 2024 en: paot.org.mx.
- UASLP (2022) Informe rector indicadores 2022 Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado octubre 2023 en: <https://wp.uaslp.mx/informe/>
- UASLP. (2022) Estatuto Orgánico De La Universidad Autónoma De San Luis Potosí. Recuperado en octubre 2023 en: <https://www.uaslp.mx/SecretariaGeneral/Paginas/Normativa-Universitaria/3298#gsc.tab=0>
- UASLP (2023). Plan Institucional de Desarrollo UASLP 2024-2030 Avances del documento PIDE 2024-2030 – Documento de trabajo para revisión de la Comisión Técnica Ampliada.
- UNwater (2021). UN World Water Development Report 2021 Recuperado el: julio 2021 en: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021>
- Valdez E. y Vázquez A. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. Fundación ICA. México.
- Vázquez M. (2015). Reporte técnico No. 214129. CONACYT, en el PEI_2014. UASLP-Yesera Monterrey, S.A. de C.V., Informe de Proyecto a CONACYT.
- Vishwakarma, S. & Dharmendra. (2022). A Critical Review on Economical and Sustainable Solutions for Wastewater Treatment Using Constructed Wetland. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 32. 260-284. 10.2478/ceer-2022-0040.

- Vivar C., Arantzamendi M., López O., Gordo L. (2010). La Teoría Fundamentada como Metodología de Investigación Cualitativa en Enfermería. *Index Enferm* 19 (4): 283-288. Revisado enero 2023. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962010000300011&Ing=es.
- Vymazal, J. (2011). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience. *Environ. Sci. Technol.* 45, 61–69.
- Wageningen Research Institute (2024). Sustainability on campus. Recuperado junio 2024 en: <https://www.wur.nl/>
- Water Foundation (2020) Sustainable Water Management (SWM) Profile. <https://waterfdn.org/sustainable-water-management-swm-profile/#:~:text=Resources,those%20needs%20in%20the%20future>
- Younos T. (2011). Paradigm shift: Holistic approach for water management in urban environments. The Cabell Brand Center for Global Poverty and Resource Sustainability Studies, Salem, VA 24249, USA Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

ANEXO 1

Protocolo de comunicación y gestión institucional



AAC23-214

San Luis Potosí, S.L.P., 01 de septiembre de 2023.

DR. HÉCTOR LÓPEZ GAMA
DIRECTOR DE LA UNIDAD ACADÉMICA MULTIDISCIPLINARIA ZONA MEDIA
PRESENTE.-

Reciba un afectuoso saludo. Agradezco el apoyo que nos ha externado en oficio Z.M. 053/2023 para contar con información de la planta tratadora de aguas residuales ubicada en la Unidad Académica a su digno cargo, así como de la colaboración de la Dra. María Concepción Vázquez Almazán, para conocer los detalles técnicos de la planta.

Hemos revisado con la alumna Laura Daniela Hernández Rodríguez la posibilidad de programar una visita para el día 29 de septiembre del presente año, en el horario que usted nos indique. Esta visita tiene el objetivo de llevar a cabo una caracterización de la planta tratadora de aguas residuales, conocer el diseño y la operación por medio de la aplicación de instrumentos de recolección de datos.

De ser pertinente la fecha propuesta para la visita, quedamos a la espera de su confirmación. Agradezco de antemano su amable atención y quedo a sus apreciables órdenes.

Atentamente

"SIEMPRE AUTÓNOMA, POR MI PATRIOTISMO"

DR. MARÍA ISABEL LAZARO BÁEZ
DIRECTORA DE LA AGENCIA AMBIENTAL



AGENCIA AMBIENTAL

"UASLP, más de un siglo educando con autonomía"



www.uaslp.mx

Av. Mineral Potosí 201 - Urb. San Agustín
Zona Universitaria - CP 78210
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. 0446 226 2476, 31 y 33
info@institucionaluaslp.mx

CC: C. d. p. Dra. María Concepción Vázquez Almazán
Adjeto.

Re: Seguimiento y muestreo



LAURA DANIELA HERNANDEZ RODRIGUEZ

Para: NOE GONZALEZ MARTINEZ

CC: AGENDA AMBIENTAL; MA. CATALINA ALFARO DE LA TORRE; SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL

Dom 14/04/2024 10:58 AM

Buen día,

De acuerdo a la visita del día jueves 11 de abril le comento por correo lo aconsejado que pueden realizar para el buen funcionamiento de la PTAR:

1. Cierre de entrada a humedal 1 para que el agua residual vaya toda a humedal 2.
2. Limpieza, remoción de lodos y residuos de todas las etapas, empezando por rejillas.
3. Limpieza de humedal 2 (carrizo) de residuos, vegetación no de humedal.
4. Agregar grava a humedal 2.

Adjunto **fotos de humedales parecidos sanos**, así como una foto de como se veía su humedal cuando fue instalado, en este momento falta agua, espero con estos cambios puedan tener un flujo en la salida del humedal y así puedan tomar las muestras que faltan y los flujos de salida.

Quedo atenta al envío de las muestras en los días y horarios que comentamos con los recipientes que deje, puede ser **lunes 15 de abril 9, 12, 13, 15 horas y miércoles 17 de abril** en los mismos horarios muestra de influente (entrada) y efluente (salida) 1 litro, así como la medición de **ambos flujos** (distancia de largo, de fondo, segundos en distancia).

Adjunto el artículo que le intereso al director respecto al beneficio económico.

Cualquier cosa no duden en llamarme, seguimos en contacto,

IBR. Laura Daniela Hernández Rodríguez

Seguimiento y preguntas extra



LAURA DANIELA HERNANDEZ RODRIGUEZ

Para: NELSON MARCIAL GONZALEZ HERNANDEZ

CC: MA. CATALINA ALFARO DE LA TORRE

Mié 10/04/2024 11:23 AM

Manual_Sistema de tratamien...
3 MB

SILVANA_Tesis Maestría ver. F...
4 MB

2 archivos adjuntos (7 MB) Guardar todo en OneDrive - Universidad Autonoma de San Luis Potosi - UASLP Descargar todo

Buenos días Lic. Nelson,

Espero se encuentre muy bien. Le escribo para dar **seguimiento al funcionamiento de su humedal** y para solicitarle más datos para completar mi informe.

Me comento la Dra. Alfaro que fue ella a visitarlos y tuvo la oportunidad de hacerles algunas observaciones respecto al humedal como la necesidad de:

1. Desazolver
2. Replantar la vegetación faltante
3. Prever la instalación civil para el impacto de las fuertes lluvias, que considere canales seguros para el desvío de ésta.
4. Relacionado a esto puede tomar las consideraciones de (Rojas, 2015) página 108 y 109 (adjunto documento).

Aprovecho para adjuntar el manual de operación del humedal de Salinas que se parece mucho a su humedal ya que fueron diseñadas intencionalmente así con el contraste de los diferentes climas.

Respecto a la información que me falta para mi tesis, me pueden compartir:

1.12 Cantidad de agua de primer uso (m³): Quizás lo encuentran en los recibos del organismo creador que les surte el agua

ANEXO 2

Formato de diagnóstico de PTAR

Objetivo: Conocer la información necesaria para caracterizar apropiadamente la PTAR.

1. Nombre de PTAR: [Abierta](#)
2. Tipo: [Abierta](#)
3. Año de creación: [Abierta](#)
4. Responsable de diseño: [Abierta](#)
5. Responsable actual: [Abierta](#)
6. Área de PTAR (m³): [Abierta](#)
7. Número y tipo de tanques: [Abierta](#)
8. Tiempo de entrega (instalación) (días): [Abierta](#)
9. Cantidad (m³/l) y calidad (tipos de contaminantes) del influente a tratar: [Abierta](#)
10. Cantidad (m³/l) y calidad (DBO, DQO) del efluente esperado: [Abierta](#)
11. Normas esperadas que debería cumplir el efluente tratado: [Abierta](#)
12. Tiempo de retención hidráulico y celular (si aplica) (días): [Abierta](#)
13. Solidos Suspendedos Volátiles tratados (%): [Abierta](#)
14. Generación de desecho (lodos): [Si/No, características, cantidad \(kg\), destino](#)
15. Consumo energético (KwH/m³): [Abierta](#)
16. Tiempo de operación: [Abierta](#)
17. Tipo de capacitación requerida para el personal operador: [Abierta](#)
18. Inversión inicial (\$): [Abierta](#)
19. Características de fondo de inversión: [Abierta](#)
20. Inversión anual (\$): [Abierta](#)
21. ¿Cuentan con el personal capacitado y destinado a la operación de la planta?
22. En la operación de la planta, para su supervisión, ¿Qué personal técnico les da asesoría? ¿Por cuánto tiempo?
23. ¿Existe un registro de sus datos de operación y seguimiento?
24. Características técnicas adicionales de la PTAR:

ANEXO 2.1

Diagnóstico de PTAR ZUP

1. INFORMACIÓN GENERAL		
1.1 Nombre de PTAR: Zona Universitaria Poniente (ZUP)	1.2. Fecha de visita: 6 de septiembre 2023 y 1 de diciembre 2023	1.3. Ubicación: San Luis Potosí capital
1.4 Ubicación geográfica (Latitud, longitud): 22°08'44"N, 101°00'54"W	1.5 Cuenca hidrológica: Cuenca Presa San José Región Hidrológica el salado (INEGI, 2022)	1.6 Responsable actual: CP y Lic. Ma de Carmen Aranda Manteca. Secretaria Administrativa Contacto de responsable: secretaria.administrativa@uaslp.mx
1.7 Altitud (msnm): 1 864	1.8 Temperatura media anual (°C): 18.2	1.9 Precipitación media anual (mm): 387.3
1.10 Temperatura máxima (°C): mínima (°C): 24.4 y 10 (1940-2010) (SEMARNAT, 2020)	1.11 Procedencia del agua de primer uso: agua entubada (interapas)/pozo/captación de agua de lluvia/agua tratada	1.12 Cantidad de agua de primer uso (m³/año): 108,515 (Rueda, 2004); 112,981.72 (ACCU, 2024)
1.13 Usos del agua de primer uso: sanitarios, laboratorios, riego	1.14. Destino de descargas: tratamiento para reuso/ drenaje municipal/ fosas sépticas/cuerpo de agua	
Comentarios: No se dio el cargo de responsable a una persona o a una Facultad en su momento, por lo que la PTAR quedo a cargo de la Secretaría Administrativa.		

2. DESCRIPCIÓN BÁSICA			
2.1 Tipo: Biotecnológica	2.2 Año de diseño: 2012	2.3 Año de creación: 2013	2.4 Año de operación: No opero Tiempo de operación: NA
2.5 Modificación: No Año: Tipo: 	2.6 Ejecución de obra: Diseño y Construcción de la UASLP.	2.7 Responsable de solicitud: Comisión de Construcción	2.8 Responsable de diseño: Mtro. Fernando Manzanque Rodríguez, Empresa Imbrium

2.9 Cronología de PTAR: -2012- Se acuerda realizar obra negra de planta con presupuesto de remodelación de Biblioteca Biomédica por parte de comisión de construcción -Marzo 2012- Envío de oficio con características especiales de la PTAR de parte de empresa dirigida a Roberto Legaspi Director de Depto. Diseño y Construcción en ese momento. -Enero 2013- Envío de oficio con presupuesto inicial por parte de empresa. -2013- Se construye obra negra de PTAR- Septiembre 2023- PTAR sigue en obra negra.		
2.10 Horizonte de duración (años): 15 años	2.13 Tiempo de entrega (instalación) (meses): Menos de 12 meses	Comentarios: Inconclusa 50% obra negra, falta todo el equipamiento.

3. DATOS DE OPERACIÓN			
3.1 Área de PTAR (m³): 747.7 m³ y 115m²	3.2 Número y tipo de tanques: 6 etapas: pretratamiento, homogeneización, proceso anaerobio, proceso aerobio, sedimentación y cloración.	3.3 ¿Cómo llega el AR a la PTAR? Bombeo/gravedad/ambos	
3.4 % de aguas residuales tratadas: 100%	3.5 Población a la que da servicio (#): 11350 en 2013 sin proyección. En 2022 se reportan 13664 alumnos y maestros en ZUP.		
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE			
3.6 Cantidad (m³/d) del influente a tratar: 397 (2013), 5 L/m²d (Rueda, 2004) 373.03 (Picos, 2010), 2.298 (López, 2024)	3.7 Calidad del influente a tratar (tipos de contaminantes): Agua negra cruda	3.8 DQO (mg/L): 1000 (diseño), altas cargas orgánicas (hasta 20 Kg DQO/m³d)	3.9 SST (mg/L): 1.03-1.2 (MetCalf), 11 (López, 2024) 270.83 (Picos, 2010)
3.10 DBO ₅ (mg/L): 750 (diseño), 69 (López, 2024) 350.83 (Picos, 2010)	3.11 Nitrógeno total (mg/L): 7.2-8.4, 215 (López, 2024) 62.75 (Picos, 2010)	3.12 Grasas y aceites (mg/L): visualmente presentes	3.13 P total (mg/L): 1.03-1.2 17 (López), 9.75 (Picos, 2010)
3.14 Coliformes fecales (NMP/100mL): 107-108 99.02 (Picos, 2010)	3.15 Huevos de helmito: >1	3.16 Ph: 6-11 (diseño)	3.17 Temp (°C): 25, 22.35 (López, 2024)
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE			
3.18 Cantidad (m³/d) del efluente a tratar: 75.2	3.19 Calidad del efluente a tratar Para riego de áreas verdes	3.20 DQO (mg/L): 60 (NOM001, 2021)	3.21 SST (mg/L/d): reducción del 70 al 80% (diseño), 30

			(NOM001, 2021)
3.22 DBO ₅ (mg/L): reducción al 80%, 20 (NOM003, 1997)	3.23 N total (mg/L/d): NA	3.24 P total (mg/L/d): NA	3.25 Grasas y aceites (mg/l/d): 15 (NOM001, 2021)
3.26 Coliformes fecales (NMP/100mL): 240	3.27 E. Coli (NMP/100mL): 250	3.28 Huevos de helmito (huevo/litro): 1	3.29 Enterococos fecales (NMP/100mL): 250
3.30 Carbono orgánico (mg/L): 15	3.31 pH: 6 a 9	3.32 Temp (°C): 35	3.33 Uso de efluente tratado: Descarga/Reuso/Mixto/Otro
3.34 Normas esperadas que debería cumplir el efluente tratado: para agua de riego con NOM- SEMARNAT-001-1996, para lodos: NOM-004- semarnat-2002.	Comentarios: -Se diseñó para que el efluente cumpliera la NOM-001-ECOL-1996, ahora se debería adecuar al cumplimiento de NOM-001-SEMARNAT-2021 o buscar el reúso del agua tratada y cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997. -Se generará biogás (metano) por un volumen aproximado de 139 m3/d y una capacidad calorífica de 2 millones de BTU. -Lodo residual puede ser utilizado como mejorador de suelos -PTAR cerrada, sin olores -Soportan sin problemas incrementos o decrementos bruscos de carga y periodos de inactividad.		
4. FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR			
4.1 Tiempo de retención hidráulico y celular (si aplica) (días): 6 h en homogenizador, 6.8 h en reactor anaerobio	4.2 Generación de desecho (lodos): Si/No, genera pocos lodos y pueden ser retirados (cada mes) con una pipa para ser dispuestos en jardines, 23-27kg biomasa por día	4.3 Consumo energético (KwH/m ³): 16.75 HP (2 bombas)	
4.4 Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)			
4.5 Pretratamiento: 2 cribas Descripción: retiran del agua los sólidos gruesos. Estado de conservación: 0	4.6 Tratamiento primario: Homogenizador Descripción: Tanque donde se homogeniza y evita que el reactor tenga shocks de carga repentinos.	4.7 Tratamiento secundario: 1 reactor anaerobio y 1 reactor aerobio Descripción: Digestor anaerobio UASB (Reactor	4.8 Tratamiento avanzado: Sedimentador y clorador Descripción: El sedimentador separa las bacterias del agua ya tratada y permite que estas sean regresadas al tanque de

Comentarios: No se observan en la obra negra las 2 cribas, están faltando.	Estado de conservación: 4 Comentarios: En estado de obra negra se observa el estado adecuado.	anaerobio de flujo ascendente) removiendo el 80% de carga orgánica seguido de sistema aerobio de lodos activados de flujo continuo, fabricado en concreto y con selector de bacterias. Estado de conservación: 4 Comentarios: En estado de obra negra se observa el estado adecuado.	aireación vía selector. El clorador es un tanque de contacto que permite que el cloro destruya los microorganismos para estar en los límites permisibles de NOM. Estado de conservación: 4 y 0 Comentarios: En estado de obra negra del sedimentador se observa el estado adecuado. No se cuenta con obra negra de clorador.
4.9 Instalaciones civiles: 4	4.10 Instalaciones mecánicas y de tubería: NA	4.11 Instalaciones eléctricas: NA	4.12 Instalaciones de instrumentos y de control: NA
Comentarios: Inconclusa 50% obra negra, falta todo el equipamiento.			

5. DATOS SOCIOECONÓMICOS Y DE GESTIÓN			
5.1 Inversión anual (\$) No especificado en diseño	5.2 Inversión inicial (\$): Desconocida, formo parte de presupuesto para remodelación de biblioteca biomédica Inversión para equipamiento en 2013: 1,700,000.00 + IVA (Un millón setecientos mil pesos M.N. + IVA) *Deducción de la PTAR del 100% en el primer año.	5.3 Características de fondo de inversión: recurso: federal, aportación múltiple	5.4 Vinculación: Comisión de construcción y empresa Imbrium
5.5 ¿Se da capacitación/asesoría para el personal operador? Si/No ¿De qué tipo? ¿Cada cuánto?	5.6 ¿Cuentan con el personal capacitado y destinado a la operación de la planta? Si/No	5.7 ¿Hay manual de operación? Si/No	5.8 ¿Existe un registro de sus datos de operación y seguimiento (bitácora)? Si/No
5.9 ¿Hay productos académicos? Si/No	5.10 Se cuenta con los planos de la PTAR: Si/No	5.11 ¿Se cuenta con permisos necesarios como de descarga,	5.12 ¿Se realizan actividades de mantenimiento como desazolve, retiro de grava,

		de manejo de PTAR o de manejo de pozo? Si/No Concesión de pozo	repoblación de vegetación, cambio de tuberías etc.? Si/No/NA
5.13 ¿Se efectúan análisis de laboratorio para calidad de agua? Si/No, ¿Dónde, que parámetros se miden?	5.14 Hay manejo de Residuos: Si/No 39% de RSU 75% de RP Aprox. Considerando 12 entidades de ZUP Recuperado de reporte Greenmetric 2021	5.15 Hay emisiones a la atmosfera: Si/No, ¿Cuáles? Metano (pocas cantidades)	5.16 Características técnicas adicionales de la PTAR:
5.17 # de empleados asignados: ninguno	5.18 ¿Cuenta con señalética o museografía educativa? Si/No	5.19 ¿Hay un impacto en las cadenas de valor en localidad (civil, eléctrico, mecánico, hidráulico, lodos, residuos, personal) Al momento no	5.20 Otros beneficios directos a la sociedad Al momento no

**CALCULO DE INDICADORES SOCIOECONÓMICOS PTAR ZONA UNIVERSITARIA
PONIENTE**

SUPUESTOS: Se supone que SI se esta pagando por el agua de primer uso, en este caso agua de pozo

Tasa social de descuento mexicana						
.	12%					
Ft Ingresos (+) Egresos (-)						
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Agua de primer uso (+)		\$3,053,612.10	\$3,053,612.10	\$3,053,612.10	\$3,053,612.10	\$3,053,612.10
Biofertilizantes (+)		182500	182500	182500	182500	182500
Ingresos Totales (=)	\$0.00	\$3,236,112.10	\$3,236,112.10	\$3,236,112.10	\$3,236,112.10	\$3,236,112.10
Inversión inicial equip. (-)	\$ 8,821,569.00					
Mant. y operación de PTAR (-)		\$50,000.00	\$50,000.00	\$50,000.00	\$50,000.00	\$50,000.00
Depreciación (-)		\$441,078.45	\$441,078.45	\$441,078.45	\$441,078.45	\$441,078.45
Flujo final	-\$ 8,821,569.00	\$2,745,033.65	\$2,745,033.65	\$2,745,033.65	\$2,745,033.65	\$2,745,033.65

VAN	\$4,827,859.35	Se acepta
TIR	28.26%	Se acepta
RBC	6.589806781	>1 se acepta

ANEXO 2.2

Formato de diagnóstico de PTAR FAV

1. INFORMACIÓN GENERAL		
1.1 Nombre de PTAR: Facultad de Agronomía y Veterinaria	1.2. Fecha de visita: 2 de febrero 2024	1.3. Ubicación: Carretera San Luis - Matehuala Km. 14.5 Ejido Palma de la Cruz, 78321 Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.
1.5 Ubicación geográfica (Longitud, Latitud): 22°14'01N 100° 51'49"	1.5 Cuenca hidrológica: Cuenca Presa San José Región Hidrológica el salado (INEGI, 2022)	1.6 Responsable actual: Lic. Ymir Montiel Méndez Contacto de responsable: ymir.montiel@uaslp.mx
1.7 Altitud (msnm): 1 864	1.8 Temperatura media anual (°C): 18.2	1.9 Precipitación media anual (mm): 387.3
1.10 Temperatura máxima (°C): mínima (°C): 24.4 y 10 (1940-2010) (SEMARNAT, 2020)	1.11 Procedencia del agua de primer uso: agua entubada/pozo/captación de agua de lluvia	1.12 Cantidad de agua de primer uso (m³/año): 5562.4 para servicios, gasto autorizado de 3 pozos 620,000 m³ de acuerdo a concesión y pagos
1.13 Usos del agua de primer uso: Producción agrícola y pecuaria, servicios sanitarios, laboratorios, potabilizadora	1.14. Destino de descargas: tratamiento para reuso/ drenaje municipal/ fosas sépticas /cuerpo de agua	
Comentarios: Se recurrió a un segundo oficio en enero 2024 porque el oficio de septiembre 2023 fue respondido comentando "la PTAR está fuera de funcionamiento" .		

2. DESCRIPCIÓN BÁSICA			
2.1 Tipo: Biotecnológica aerobia	2.2 Año de diseño: enero 2006	2.3 Año de creación: 2006	2.4 Año de operación: 2006 Tiempo de operación: 5-6 años

2.5 Modificación: Si. Año: 2006-2012 Tipo: cambio de bombas	2.6 Ejecución de obra: 2006	2.7 Responsable de solicitud: Dirección de FAV	2.8 Responsable de diseño: Grupo Imbrium S.A. de C.V.
2.9 Cronología de PTAR: 2006 se diseña e instala la PTAR, se le tienen que hacer modificaciones, el soplador se avería y no se reemplazó, 2012 aprox.-2023 está suspendida.			
2.10 Horizonte de duración (años): Una PTAR de este tipo dura 10 años		2.11 Tiempo de entrega (instalación) (meses): menos de 12 meses	
Comentarios: Se comenta que se estaba experimentando, primeros tiempos de este tipo de PTAR. Se pretendía reemplazar el uso de fosas sépticas.			

3. DATOS DE OPERACIÓN DE LA PTAR SEGÚN DISEÑO			
3.1 Área de PTAR (m ³): 40m ² aprox.		3.2 Número y tipo de tanques: Cárcamo de rebombeo, reactor biológico, sedimentador secundario, sistema de aireación, sistema de retorno de lodos, sistema de extracción de lodos	
3.3 ¿Cómo llega el AR a la PTAR? Bombeo/gravedad/ambos	3.4 % de aguas residuales tratadas: 100%	3.5 Población a la que da servicio (#): 1220 alumnos y profesores en 2023.	
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE			
3.6 Cantidad (m ³ /d) del influente a tratar: 25	3.7 Calidad del influente a tratar (tipos de contaminantes): Agua negra (cruda) considerar agua residual con lácteos, grasas, patógenos de actividad pecuaria.	3.8 DQO (mg/L): 1,100 ppm capacidad máxima (diseño) 955.49 (Gutlab, 2023)	3.9 SST (mg/L): 1.03-1.2 (McCalf), 115.7, 919.6 (Gutlab, 2023)
3.10 DBO ₅ (mg/L): 400- 550 ppm capacidad máxima (diseño)	3.11 Nitrógeno total (mg/L): 7.2-8.4	3.12 P total (mg/L): 1.03-1.2	3.13 Grasas y aceites (mg/L): visualmente presentes
3.14 Coliformes fecales (NMP/100mL): 10 ⁷ -10 ⁸	3.15 Huevos de helmito: >1	3.16 pH: 6-11	3.17 Temp (°C): 25
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE			

3.18 Cantidad (m ³ /d) del efluente tratado: no considerado (NC) en diseño original	3.19 Calidad del efluente a tratar: Para descarga diseñado para NOM-SEMARNAT-001-1996, ahora podría ser riego o infiltración y otros riegos	3.20 DQO (mg/L): 80-90% reducido (diseño) 60 (riego) 150 (infiltración)
3.21 SST (mg/L): 30 (riego) y 100 (infiltración)	3.22 DBO (mg/L): 32, 92% reducido (diseño)	3.23 Grasas y aceites (mg/l/d): 15
3.25 E. Coli (NMP/100mL): NC	3.26 Huevos de helmito (1huevo/L): 1	3.24 Coliformes fecales
3.29 P total (mg/L): NC	3.27 Enterococos fecales (NMP/100ml): 240	3.28 Nitrógeno total (mg/L):
3.30 Carbono orgánico (mg/L): NC	3.31 pH: 6-9	3.32 Temp (°C): 35
3.33 Uso de efluente tratado: Descarga/ Reuso/ Mixto/ Otro	3.34 Normas esperadas que debería cumplir el efluente tratado: Se diseñó para NOM-SEMARNAT-001-1996 y NOM-004-semarnat-2002.Lodos	

Comentarios: Mencionan recordar que cuando PTAR estaba operando olía muy mal.

Datos de Cálculo del Reactor Biológico

DBO ₅ Eliminada	9.5	Kg/d
Tiempo de Retención Hidráulica.	14.4	horas
Volumen del Reactor	15	m ³
Producción Neta de Biomasa	3.7	kg SSV/d
Caudal de recirculación	8.33	m ³ /d
Edad del Lodo	8.86	días
Caudal de Purga	0.47	m ³ /d
Carga Másica	0.333	kgDBO ₅ /kg SSV.d
Carga volumétrica	0.667	kgDBO ₅ /m ³ .d
Requerimientos de Oxígeno	13.09	kg O ₂ /d

Dimensiones del Reactor Biológico

Ancho	2.15	m
Largo	2.15	m
Profundidad	3.8	m Incluye reborde de 30 cm
Número de Difusores	20	Unidades

Tanque de Sedimentación			
Tiempo de retención hidráulica	3	horas	
Volumen	3.12	m ³	

4. FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR			
4.1 Tiempo de retención hidráulico y celular (si aplica) (días): 14.4 horas en reactor biológico 3 h en sedimentador	4.2 Generación de desecho (lodos): <input checked="" type="checkbox"/> No, Con buen sustrato no debe haber acumulación de lodo	4.3 Consumo energético (KwH/m ³): 2 bombas de agua en cárcamo	
4.4 Estado de conservación por inspección visual: Bueno (3), Regular (2), Malo (1), Inexistente (0)			
4.5 Pretratamiento: Cárcamo de rebombeo Describir: Se intercepta agua bombeada de la fosa de descargas donde probablemente pasaba por alguna rejilla Estado de conservación: 1 Comentarios: Esta desconectado la fosa de la PTAR	4.6 Tratamiento primario: Primer tanque Describir: No queda claro proceso utilizado, no se describe en diseño ni se observa visualmente Estado de conservación: 1 Comentarios:	4.7 Tratamiento secundario: Reactor biológico aerobio Describir: Reactor con difusores 20 (diseño original) en la actualidad 10 difusores Estado de conservación: 1 Comentarios: quizás es tipo lecho móvil, se encuentra en malas condiciones, requiere de soplador para aireación	4.8 Tratamiento avanzado: Cloración Estado de conservación: 1 Comentarios: no cuenta con
4.9 Instalaciones civiles: 2	4.10 Instalaciones mecánicas y de tubería: 1	4.11 Instalaciones eléctricas: 0	4.12 Instalaciones de instrumentos y de control: 0
Comentarios: No se producen olores desagradables mientras se mantenga la aireación. En caso de un paro por mucho tiempo pueden presentarse olores debido a las condiciones sépticas en los tanques.			

5 OTROS			
5.1 Inversión anual (\$): NC	5.2 Inversión inicial (\$): \$252,054 en 2006	5.3 Características de fondo de inversión: Desconocido	5.4 Vinculación: Dirección de FAV y empresa privada
5.5 ¿Se da capacitación/asesoría para el personal operador? <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> De	5.6 ¿Cuentan con el personal capacitado y destinado a la operación de la planta? <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si	5.7 ¿Hay manual de operación? <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si	5.8 ¿Existe un registro de sus datos de operación y seguimiento (bitácora)? <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si

<p>qué tipo? ¿Cada cuánto tiempo?</p> <p>¿Se requiere? <input checked="" type="checkbox"/>/No</p> <p>Se dio capacitación inicial para operar PTAR a un grupo de intendentes y profesores, de los cuales solo permanecen 2 intendentes y no recuerdan lo aprendido.</p>	<p>Se cuenta con 1 trabajador del área de mantenimiento que requiere volver a ser capacitado de acuerdo al rediseño.</p>	<p>Había uno al inicio, pero se perdió</p>	
<p>5.9 ¿Hay productos académicos? <input checked="" type="checkbox"/>/No</p>	<p>5.10 Se cuenta con los planos de la PTAR: <input checked="" type="checkbox"/>/No</p>	<p>5.11 ¿Se cuenta con permisos necesarios como de descarga, de manejo de PTAR o de manejo de pozos? <input checked="" type="checkbox"/>/No</p>	<p>5.12 ¿Se realizan actividades de mantenimiento como desazolve, retiro de grava, repoblación de vegetación, cambio de tuberías etc.? <input checked="" type="checkbox"/>/No</p>
<p>5.13 ¿Se efectúan análisis de laboratorio para calidad de agua? <input checked="" type="checkbox"/>/No, ¿Dónde, que parámetros se miden?</p> <p>Pero se analiza el agua de las descargas con laboratorio certificado.</p>	<p>5.14 Hay manejo de Residuos: <input checked="" type="checkbox"/>/No</p> <p>66.6% de RSU</p> <p>100% Orgánicos</p> <p>100% de RP</p> <p>Recuperado de reporte (Greenmetric, 2022)</p>	<p>5.15 Hay emisiones a la atmósfera: <input checked="" type="checkbox"/>/No ¿Cuáles?</p>	<p>5.16 Características técnicas adicionales de la PTAR:</p> <p>En el diseño la empresa deja garantía de resolución de problemas antes de 12 horas de parte de empresa</p>
<p>Comentarios:</p>			

<p>6 IMPACTO SOCIAL</p>			
<p>6.1 # de empleados asignados: 1 en su tiempo de funcionamiento</p>	<p>6.2 ¿Cuenta con señalética o museografía educativa? <input checked="" type="checkbox"/>/No</p> <p>Tenía señalética en un inicio, ya está carcomida por el sol</p>	<p>6.3 ¿Hay un impacto en las cadenas de valor en localidad?</p> <p>Ahora no</p>	<p>6.4 Otros beneficios directos a la sociedad</p> <p>Ahora no</p>
<p>Comentarios:</p>			

CALCULO DE INDICADORES SOCIOECONÓMICOS PTAR FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA						
SUPUESTOS:	Se supone que nos prevenimos de una multa y que se sigue pagando por el análisis de agua igualmente					
Tasa social de descuento mexicana	12%					
Ft Ingresos (+) Egresos (-)						
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Agua de primer uso (+)		\$156,525.94	\$156,525.94	\$156,525.94	\$156,525.94	\$156,525.94
Biofertilizantes (+)		182500	182500	182500	182500	182500
Bombeo de cárcamo (+)		15600	15600	15600	15600	15600
Ahorro en pago a lab (+)		\$ 240,000.00	\$240,000.00	\$ 240,000.00	\$ 240,000.00	\$ 240,000.00
Bonos de carbono (+)		\$156,525.94	\$156,525.94	\$156,525.94	\$156,525.94	\$156,525.94
Reparaciones de pozos (+)	\$ 111,000.00					
Posibles multas (+)	\$6,009,264.72					
Ingresos Totales (=)	\$6,120,264.72	\$751,151.87	\$751,151.87	\$751,151.87	\$751,151.87	\$751,151.87
Inversión inicial equip. (-)	\$3,072,000.00					
Mant. y operación de PTAR (-)		\$25,000.00	\$25,000.00	\$25,000.00	\$25,000.00	\$25,000.00
Depreciación (-)		\$153,600.00	\$153,600.00	\$153,600.00	\$153,600.00	\$153,600.00
Flujo final	\$3,048,264.72	\$572,551.87	\$572,551.87	\$572,551.87	\$572,551.87	\$572,551.87

VAN	\$323,008.12	Se acepta
TIR	15.17%	Se acepta
RBC	4.205777559	Se acepta

ANEXO 2.3

Formato de diagnóstico de PTAR AO

1. INFORMACIÓN GENERAL		
1.1 Nombre de PTAR: Coordinación Académica Región Altiplano Oriente (CARAO)	1.2. Fecha de visita: 18 de octubre 2023 de 10:00 a 13:30 horas	1.3. Ubicación: municipio de Salinas de Hidalgo San Luis Potosí
1.6 Ubicación geográfica (Latitud, longitud): 22°37'40.87" N, 101°42'56.05" W	1.5 Cuenca hidrológica: Cuenca San Pablo de región hidrológica 26, El Salado (INEGI, 2022)	1.6 Responsable actual: L.A. Noé González Martínez Puesto: Asistente de administración del campus Contacto: noe.gonzalez@uaslp.mx
1.7 Altitud (msnm): 2075	1.8 Temperatura media anual (°C): 23.5	1.9 Precipitación media anual (mm): 771
1.10 Temperatura máxima (°C): 28 mínima (°C): 3	1.11 Procedencia del agua de primer uso: agua entubada/pozo/captación de agua de lluvia /agua tratada	1.12 Cantidad de agua de primer uso (m³/año): 5110 (de acuerdo a diseño de PTAR)
1.13 Usos del agua de primer uso: servicios sanitarios, producción agrícola en invernaderos, laboratorios	1.14. Destino de descargas: tratamiento para reuso/ drenaje municipal/ fosas sépticas/cuerpo de agua/infiltración	Comentarios:

2. DESCRIPCIÓN BÁSICA			
2.1 Tipo: Sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal	2.2 Año de diseño: 2015	2.3 Año de creación: 2015	2.4 Año de operación: 2015 Tiempo de operación: 8 años (a la fecha)
2.5 Modificación: No Año: Tipo:	2.6 Ejecución de obra: Empresa privada	2.7 Responsable de solicitud: CARAO	2.8 Responsable de diseño: Rojas S. en asesoría de Cisneros R.
2.9 Cronología de PTAR:			

-2015- Se diseña proyecto por tesis de maestría de S. Rojas, -2015- Se ejecuta obra por empresa externa con recurso económico de ayuntamiento de Salinas, -2016- Inauguran campus, -2017-2018- se realizan pruebas y observación, -2020-Se publica artículo por Rossel-Kipping et al. -Octubre 2023- se realiza visita y se observa efluente pero no con la calidad necesaria.		
2.10 Horizonte de duración (años): 30 a 50 años dependiendo de calidad de influente	2.11 Tiempo de entrega o instalación (meses): menos de 12 meses	Comentarios: Se comenta que Dr. Berrsope le daba seguimiento, pero luego ya dejó de trabajar en el campus

3. DATOS DE OPERACIÓN DISEÑADO			
3.1 Área de PTAR (m ²): 378m ³ , 189 m ³ cada celda	3.2 Número y tipo de tanques: 3 etapas, Pretratamiento con rejillas de cribado de gruesos y finos Tratamiento primario de sedimentador, tratamiento secundario de 2 celdas de humedales construidos con <i>Phragmites australis</i> (carrizo) y <i>Typha latifolia</i> (espadaña)		
3.3 ¿Cómo llega el AR a la PTAR? Bombeo/gravedad/ambos	3.4 % de aguas residuales tratadas: 100% (diseño)	3.5 Población a la que da servicio (#): 750 personas en 2015, 364 personas en 2020 y 238 alumnos y profesores en 2023	
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE			
3.6 Cantidad (m ³ /d) del influente a tratar: 14 m ³ /d (Rojas, 2015)	3.7 Calidad del influente a tratar (tipos de contaminantes): Agua negra (cruda)	3.8 DQO (mg/L): 482 mg/l máximo (Rojas, 2015) 1549.5 (2020)	3.9 SST (mg/L): 226 (Rojas, 2015), 202 (2020)
3.10 DBO ₅ (mg/L): DBO ₅ : 290mg/L (Rojas, 2015), 658.4 (2020)	3.11 Nitrógeno total (mg/L): 35 (Rojas, 2015)	3.12 P total (mg/L): 12 (2015), 201513.3 (2020)	3.13 Grasas y aceites (mg/L): Presencia visual de grasa (Hernández, 2023)
3.14 Coliformes fecales (NMP/100ml): 10 ⁸ (Rojas, 2015) 8.4 x10 ⁷ MPN/100ml 8.8x10 ¹² (2020)	3.15 Huevos de helmito: >1	3.16 pH: 6 a 11	3.17 Temperatura (°C): 25
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE			

3.18 Cantidad (m ³ /d) del efluente tratado: 0.01351, 13.51 litros/día (medido por Rojas)	3.19 Calidad del efluente a tratar: Para riego	3.20 DQO (mg/L): 493.9, Remoción de 68.8% (2020) (Hernández, 2023)	3.21 SST (mg/L): 40 (Rojas, 2015) 60.7 Remoción de 62.3% (2020) 7.5 x10 ⁻⁷ (Hernández, 2023)
3.22 DBO ₅ (mg/L): 30 (Rojas, 2015) 117.7, 82.2% de remoción (2020)	3.23 N total (mg/L/d): 15 (Rojas, 2015)	3.24 P total (mg/L/d): 5 (Rojas, 2015) 0.65, 95.2% de remoción (2020)	3.25 Grasas y aceites (mg/L/d): Sin presencia visual (Hernández, 2023)
3.26 Coliformes fecales: CF 1000 NMP/100 mL (Rojas, 2015) 9.86x10 ⁸ , remoción del 98.8% (2020)	3.27 E. Coli (NMP/100mL): 250	3.28 Huevos de helmito (1huevo/L): 1	3.29 Enterococos fecales (NMP/100ml): 250
3.30 Carbono orgánico (mg/L): 15	3.31 pH: 7-7.9 (Rojas, 2015) 6 (Hernández, 2023)	3.32 Temp (°C): 20-30 (Rojas, 2015) 25 (Hernández, 2023)	3.33 Uso de efluente tratado: Descarga/ Reuso/ Mixto/ Otro
3.34 Normas esperadas que debería cumplir el efluente tratado: Se diseñó para agua de riego con NOM-SEMARNAT-001-1996 y para muestreo se usó NMX-AA-014-1980 Cuerpos receptores. - muestreo			
<p>Comentarios: Se diseñó para que efluente cumpliera NOM de 1996 ahora se debería adecuar a NOM 2021. Recibe solo agua residual de servicios y no de laboratorios. En las conclusiones de (Rossel-Kipping, 2020) se hacen las siguientes observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Por las condiciones extremas del clima de fluctuaciones de temperatura altas y bajas tuvo efecto adverso en el agua recuperada del tratamiento de descargas. -El influente fue sobreestimado, el influente es 5 veces menor al diseño. - Las precipitaciones temporales esperadas no fueron suficientes para aumentar la reserva del humedal -La evapotranspiración fue un factor responsable de reducir las reservas lo cual induce estrés hídrico a las plantas de las celdas. 			

4. FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR		
4.1 Tiempo de retención hidráulico y celular (si aplica) (días): 2 días	4.2 Generación de desecho (lodos): Si/No, Con buen sustrato	4.3 Consumo energético (KwH/m ³): Ninguno, no requiere rebombeo

	no debe haber acumulación de lodo		
2.16 Estado de conservación por inspección visual: Bueno (3), Regular (2), Malo (1), Inexistente (0)			
<p>4.4 Pretratamiento:</p> <p>Describir: Consta de un canal de desbaste y un desarenador</p> <p>Adecuado/Insuficiente/ No aplica</p> <p>Comentarios: Se observó lo descrito en la literatura a excepción que faltaba limpieza de objetos voluminosos como ramas y RSU</p>	<p>4.5 Tratamiento primario:</p> <p>Describir: sedimentador primario tipo circular.</p> <p>Adecuado/Insuficiente/ No aplica</p> <p>Comentarios: Se observó lo descrito en la literatura</p>	<p>4.6 Tratamiento secundario:</p> <p>Describir: Humedal construido de flujo subsuperficial don medio granular y con flora <i>Phragmites australis</i> y <i>Typha latifolia</i> de 3 ejemplares por m²</p> <p>Adecuado/Insuficiente/ No aplica</p> <p>Comentarios: La instalación de vegetación se encuentra en un 100% en densidad presente en Humedal 1 (<i>Phragmites australis</i>) con decoloración y la vegetación de Humedal 2 (<i>Typha latifolia</i>) se encontró en un 15% de densidad de vegetación.</p>	<p>4.7 Tratamiento avanzado:</p> <p>Adecuado/Insuficiente/ No aplica</p> <p>Comentarios: no cuenta con</p>
2.17 Instalaciones civiles: 3	2.18 Instalaciones mecánicas y de tubería: 3	2.19 Instalaciones eléctricas: NA	2.20 Instalaciones de instrumentos y de control: NA
Comentarios: Thypha no funciona por el clima			

5. OTROS			
5.1 Inversión anual (\$): Abierta	5.2 Inversión inicial (\$): 1400-1700	5.3 Características de fondo de inversión: recurso de ayuntamiento	5.4 Vinculación: Ayuntamiento de Salinas y empresa externa

<p>5.5 ¿Se da capacitación/asesoría para el personal operador? <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No ¿De qué tipo? ¿Cada cuánto tiempo?</p> <p>¿Se requiere? <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	<p>5.6 ¿Cuentan con el personal capacitado y destinado a la operación de la planta? <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No</p> <p>Se cuenta con 2 trabajadores del área de mantenimiento con capacitación general, pero con necesidad de capacitación específica</p>	<p>5.7 ¿Hay manual de operación? <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No</p>	<p>5.8 ¿Existe un registro de sus datos de operación y seguimiento (bitácora)? <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No</p>
<p>5.9 ¿Hay productos académicos? Si, una tesis de maestría (Rojas, 2015)</p>	<p>5.10 Se cuenta con los planos de la PTAR: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No</p>	<p>5.11 Hay manejo de RSU y RP: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No</p> <p>50% de RSU</p> <p>100% de RP</p> <p>Recuperado de reporte (Greenmetric, 2021)</p>	<p>5.12 Hay emisiones a la atmosfera: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No ¿Cuáles?</p>
<p>5.13 ¿Se efectúan análisis de laboratorio para calidad de agua? <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No, ¿Dónde, que parámetros se miden?</p> <p>No, pero están dispuestos a habilitar uno de sus laboratorios y capacitar al responsable de laboratorio para realizar los análisis correspondientes.</p>	<p>5.14 Características técnicas adicionales de la PTAR:</p>		

<p>6. IMPACTO SOCIAL</p>			
<p>6.1 # de empleados asignados: 3, 1 responsable, 2 trabajadores de mantenimiento.</p>	<p>6.2 Materiales de comunicación/educación ambiental: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No ¿Cuáles?</p>	<p>6.3 ¿Hay un impacto en las cadenas de valor en localidad (civil, eléctrico, mecánico, hidráulico, lodos, residuos, personal)? Sí, porque han contratado bombas para drenar el colector final</p>	<p>6.4 Otros beneficios directos a la sociedad</p> <p>En este momento no.</p>

CALCULO DE INDICADORES SOCIOECONÓMICOS PTAR COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN ALTIPLANO OESTE						
SUPUESTOS		Se supone que se paga por el agua de primer uso y se tiene actividad productiva				
Tasa social de descuento mexicana		12%				
Ft Ingresos (+) Egresos (-)						
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Agua de primer uso (+)		1080	\$1,080.00	\$1,080.00	\$1,080.00	\$1,080.00
Bonos de carbono de humedales		\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Bombeo de tanque de almacenamiento (+)		50000	50000	50000	50000	50000
Venta de plantas ornamentales (+)		\$100,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00
Ingresos Totales (=)	\$0.00	\$171,080.00	\$171,080.00	\$171,080.00	\$171,080.00	\$171,080.00
Inversión inicial actual (-)	\$150,000.00					
Costos de producción de plantas ornamentales (-)		50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
Mant. y operación de PTAR (-)		\$50,000.00	\$50,000.00	\$50,000.00	\$50,000.00	\$50,000.00
Depreciación (-)		\$7,500.00	\$7,500.00	\$7,500.00	\$7,500.00	\$7,500.00
Flujo final	\$150,000.00	\$63,580.00	\$63,580.00	\$63,580.00	\$63,580.00	\$63,580.00

VAN	\$193,027.19	Se acepta
TIR	64.31%	Se acepta
RBC	1.59144186	Se acepta

ANEXO 2.4

Formato de diagnóstico de PTAR ZM

1. INFORMACIÓN GENERAL		
1.1 Nombre de PTAR: Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media (UAMZM)	1.2. Fecha de visita: 29 de septiembre 2023	1.3. Ubicación: municipio de Rioverde, San Luis Potosí
1.7 Ubicación geográfica (Latitud, longitud): 21°55'49"N 99°59'30"O	1.5 Cuenca hidrológica: Cuenca Rio Tamuín (INEGI, 2022)	1.6 Responsable actual: Dra. En Ing. María Concepción Vázquez Almazán Contacto de responsable: maria.vazquez@uaslp.mx
1.7 Altitud (msnm): 994	1.8 Temperatura media anual (°C): 20.1	1.9 Precipitación media anual (mm): 771
1.10 Temperatura máxima (°C): mínima (°C): 9 y 32	1.11 Procedencia del agua de primer uso: agua entubada/pozo /captación de agua de lluvia /agua tratada	1.12 Cantidad de agua de primer uso (m³/año): 23162
1.13 Usos del agua de primer uso: Servicios sanitarios, producción agrícola en huerto, laboratorios, riego áreas verdes	1.14. Destino de descargas: tratamiento para reuso/ drenaje municipal / fosas sépticas/cuerpo de agua/infiltración	Comentarios: Se corrige en noviembre 2023 que responsable ha solicitado no ser la responsable de la PTAR

2. DESCRIPCIÓN BÁSICA			
2.1 Tipo: físicoquímica con tecnología de floculación-coagulación	2.2 Año de diseño: 2014	2.3 Año de creación: 2014	2.4 Año de operación: 2014 Tiempo de operación: 3 años
2.5 Modificación: No Año: Tipo:	2.6 Ejecución de obra: Diseño y Construcción de la UASLP.	2.7 Responsable de solicitud: UAMZM	2.8 Responsable de diseño: Dra. En Ing. María Concepción Vázquez Almazán
2.9 Cronología de PTAR:	2.10 Horizonte de duración (años): 15 años	2.11 Tiempo de entrega (instalación) (meses):	

2014 ejecución de proyecto, febrero 2017 deja de operar PTAR y remueven a responsable de actividades, julio 2017 recupera sus actividades, 2022 se le comenta que se apoyara la puesta en marcha de la PTAR, septiembre 2023 PTAR sigue sin operar.			Menos de 12 meses
Comentarios: La PTAR se creó en respuesta a falta de drenaje en ese año			
2.17 Instalaciones civiles: 3	2.18 Instalaciones mecánicas y de tubería: 2	2.19 Instalaciones eléctricas: 2	2.20 Instalaciones de instrumentos y de control: 2
Comentarios: en respuesta a falta de drenaje en ese año			

3. DATOS DE OPERACIÓN			
3.1 Área de PTAR (m ²): 616.40 espacio total asignado 324.42 de los trenes	3.2 Número y tipo de tanques o etapas: 3 etapas, pretratamiento con cribado, trenes de tratamiento Floculación Orto, Cinética, Tren de tratamiento Floculación Peri cinética y sedimentación, flotación y microtamizado.	3.3 ¿Cómo llega el AR a la PTAR? Bombeo/gravedad/ambos	
3.4 % de aguas residuales tratadas: 75%	3.5 Población a la que da servicio (#): 1171 personas proyectado a aumento de alumnos en 15 años (se consideró este criterio porque los servicios conectados al tren de tratamiento son ocupados en su mayoría por los alumnos)		
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE			
3.6 Cantidad (m ³ /d) del influente a tratar: 172.8	3.7 Calidad del influente a tratar (tipos de contaminantes): Agua cruda típica (Metcalf & Eddy, 2003)	3.8 DQO (mg/L): 500	3.9 SST (mg/L): 55
3.10 DBO ₅ (mg/L): 220	3.11 Nitrógeno total (mg/L): 40	3.12 Grasas y aceites (mg/L): 100	3.13 P total (mg/L): 8

3.14 Coliformes fecales: 10^7-10^8 n°/100ml	3.15 Huevos de helmito: >1	3.16 pH: 6 a 11	3.17. Temp (°C): 25
CARACTERISTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE			
3.18 Cantidad (m³/d) del efluente tratado: 75.168	3.19 Calidad del efluente a tratar Para riego	3.20 DQO (mg/L): 60	3.21 SST (mg/L/d): 200
3.22 DBO ₅ (mg/L): 200	3.23 N total (mg/L/d): 60	3.24 P total (mg/L/d): 30	3.25 Grasas y aceites (mg/L/d): 25
3.26 Coliformes fecales: 240	3.27 E. Coli (NMP/100mL): 250	3.28 Huevos de helmito (1huevo/L): 1	3.29 Enterococos fecales (NMP/100mL) 250
3.30 Carbono orgánico (mg/L): 15	3.31 pH: 6 a 9	3.32 Temp (°C):35	
3.26 Uso de efluente tratado: Descarga/ Reuso/ Mixto/ Otro	3.27 Normas esperadas que debería cumplir el efluente tratado: para agua de riego con NOM-SEMARNAT-001-1996 y para muestreo se usó NMX-AA-014-1980 Cuerpos receptores.- muestreo y NMX-AA-003-1980 Aguas residuales.- muestreo		
Comentarios: Se diseñó para que efluente cumpliera NOM de 1996 ahora se debería adecuar a NOM 2021			
4. FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR			
4.1 Tiempo de retención hidráulico y celular (si aplica) (días): 1.5 Depende del grado de concentración de los contaminantes, en época de calor 1 hora a 2 horas; en temporada de invierno de 30 a 1 hora aproximadamente.	4.2 Generación de desecho (lodos): Si/No, características, cantidad (kg), destino	4.3 Consumo energético (KwH/m³): Aproximadamente al día con tres corridas de los trenes: 1.3 kw/hr/m3	
4.4 Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)			
4.5 Pretratamiento: Cribado y desarenador Describir: remover objetos y partículas de tamaño grueso a través de un sistema físico de barras espaciadoras después en el sistema desarenador se inyecta oxígeno a través de un equipo de bombeo y bypass de tuberías.	4.6 Tratamiento primario: Trenes de floculación Describir: Procesos físico químicos de tratamiento primario avanzado, floculación de forma ortocinética y floculación pericínética que	4.7 Tratamiento secundario: Sedimentación, flotación y microtamizado Describir: Sedimentación de sólidos	4.8 Tratamiento avanzado: Filtros de arena Describir: Para partículas pequeñas Estado de conservación: 3

Estado de conservación: 3 Comentarios: No se pudo observar en visita por estar bajo tierra sumergido en agua	reduce principalmente SST y DBO. Estado de conservación: 4 Comentarios: Se observa adecuado	Estado de conservación: 3 Comentarios: Se observa adecuado	Comentarios: Se requiere mantenimiento y posible cambio de piezas así como adición de arena.
4.9 Instalaciones civiles: 3 Comentarios: Se observa adecuado al ser una construcción de cemento solo con el deterioro del sol sobre la pintura.	4.10 Instalaciones mecánicas y de tubería: 2 Comentarios: Los motores existentes requieren mantenimiento, más del 50% de la tubería expuesta al sol requiere ser cambiada.	4.11 Instalaciones eléctricas: 3 Se requiere hacer una prueba para definir si requieren cambiarse.	4.12 Instalaciones de instrumentos y de control: 3 Comentarios: Se requiere hacer una prueba para definir si requieren cambiarse.
Comentarios:			

5. OTROS			
5.1 Inversión anual (\$): \$50,570.00 a \$85,340.00 aproximadamente	5.2 Inversión inicial (\$): \$680,000.00 aproximadamente	5.3 Características de fondo de inversión: privado	5.4 Vinculación: con empresa YESERA MONTERREY y CONACYT
5.5 ¿Se da capacitación/asesoría para el personal operador? Si/No ¿De qué tipo? ¿Cada cuánto? Podría capacitarse de productos y servicios así como tiempos de duración en los procesos.	5.6 ¿Cuentan con el personal capacitado y destinado a la operación de la planta? Si/No Se ha operado con alumnos	5.7 ¿Hay manual de operación? Si/No Se está trabajando en este documento con el fin de presentarlo ante el HCDU	5.8 ¿Existe un registro de sus datos de operación y seguimiento (bitácora)? Si/No
5.9 ¿Hay productos académicos? Si, un artículo de divulgación	5.10 Se cuenta con los planos de la PTAR: Si/No	5.11 ¿Se cuenta con permisos necesarios como de descarga, de manejo de PTAR o de manejo de pozo? Si/No	5.12 ¿Se realizan actividades de mantenimiento como desazolve, retiro de grava, repoblación de vegetación, cambio de tuberías etc.? Si/No/NA

<p>5.13 ¿Se efectúan análisis de laboratorio para calidad de agua? Si/No. ¿Dónde, que parámetros se miden? Ahora no porque está fuera de funcionamiento, pero en diseño original se tenía considerado un laboratorio y se quedó en obra negra pero los equipos y reactivos necesarios si se tienen en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria, pero habría que revisar caducidad.</p>	<p>5.14 Hay manejo de Residuos: Si/No</p> <p>35% de RSU</p> <p>25 kg de RP</p> <p>Recuperado de reporte Greenmetric 2021</p>	<p>5.15 Hay emisiones a la atmosfera: Si/No, ¿Cuáles?</p>	<p>5.14 Características técnicas adicionales de la PTAR:</p> <p>Se incluye la modelación de la estructura de la PTAR.</p>
--	--	---	---

<p>6. IMPACTO SOCIAL</p>			
<p>6.1 # de empleados asignados: 1, responsables asignada</p>	<p>6.2 Materiales de comunicación/educación ambiental: Si/No ¿Cuáles?</p> <p>Vídeo de creación de PTAR</p>	<p>6.3 ¿Hay un impacto en las cadenas de valor en localidad (civil, eléctrico, mecánico, hidráulico, lodos, residuos, personal? Este tipo de tecnología impacta en la cadena del valor por sustentabilidad del medio ambiente.</p>	<p>6.4 Otros beneficios directos a la sociedad</p> <p>Posible apertura al público</p>

CALCULO DE INDICADORES SOCIOECONÓMICOS PTAR COORDINACIÓN ACADEMICA MULTIDISCIPLINARIA ZONA MEDIA

SUPUESTOS	Se paga por el agua de pozo					
Tasa social de descuento mexicana	12%					
Ft Ingresos (+) Egresos (-)						
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Agua de primer uso (+)		\$582,498.00	\$582,498.00	\$582,498.00	\$582,498.00	\$582,498.00
			0	0	0	0
Ingresos Totales (=)	\$0.00	\$582,498.00	\$582,498.00	\$582,498.00	\$582,498.00	\$582,498.00
Inversión inicial equip. (-)	\$ 250,000.00					
Mant. y operación de PTAR (-)		\$450,000.00	\$450,000.00	\$450,000.00	\$450,000.00	\$450,000.00
Depreciación (-)					\$12,500.00	\$12,500.00
Flujo final		\$ 250,000.00			\$119,998.00	\$119,998.00
						\$12,500.00
						\$119,998.00

VAN	\$288,958.47	Se acepta
TIR	45.96%	Se acepta
RBC	1.259455135	

ANEXO 2.5

Formato de diagnóstico de PTAR HS

1. INFORMACIÓN GENERAL		
1.1 Nombre de PTAR: Unidad Académica Multidisciplinaria Huasteca Sur (UAMHS)	1.2. Fecha de visita: 27 de octubre 2023, 10:00-14:00 horas	1.3. Ubicación: municipio de Tamazuchale, San Luis Potosí
1.2 Ubicación geográfica (Latitud, longitud): 21°16' N, 8°48' O	1.5 Cuenca hidrológica: Cuenca Río Moctezuma (INEGI, 2022)	2.2 Responsable actual: L.A. Nelson Marcial González Hernández Puesto: Administrador de Unidad Contacto: nelson.gonzalez @uaslp.mx
1.7 Altitud (msnm): 120	1.8 Temperatura media anual (°C): 25.5	1.9 Precipitación media anual (mm): 2168.3
1.10 Temperatura máxima (°C): mínima (°C): 44 y 11	1.11 Procedencia del agua de primer uso: agua entubada/pozo/captación de agua de lluvia /agua tratada	1.12 Cantidad de agua de primer uso (m ³ /año): 10395.2
1.13 Usos del agua de primer uso: Servicios sanitarios, producción agrícola en invernadero, laboratorios, riego áreas verdes	1.14. Destino de descargas: tratamiento para reuso/ drenaje municipal/ fosas sépticas/cuerpo de agua/infiltración	Comentarios:

2. DESCRIPCIÓN BÁSICA			
2.1 Tipo: Sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal	2.2 Año de diseño: 2013	2.3 Año de creación: 2013	2.4 Año de operación: 2014 Tiempo de operación: 2-3 años bien, 50% a la fecha (octubre 2023)
2.5 Modificación: No Año: No Tipo:	2.6 Ejecución de obra: Diseño y Construcción de la UASLP.	2.7 Responsable de solicitud: UAMHS parte de diseño de campus	2.8 Responsable de diseño: MI Arturo Dufour Candelaria UASLP y Dr. Jordi Morantó Farreras Universidad de Catalunya
2.9 Cronología de PTAR:			

-2013- Se propone proyecto por R. Cisneros, -2013- Se propone proyecto por Imbrium, -Agosto 2013- Se ejecuta proyecto Dufour, Morantó y A. Gallegos. -Enero 2014- (280 alumnos) se inaugura el campus con PTAR por falta de drenaje para no descargar el agua negra al río, -2015- (392 alumnos) se realiza evaluación con tesis de maestría en donde se establecen sugerencias técnicas, -2017 (aprox.)- PTAR funciona normalmente, -2022- reporta campus en Greenmetric que no funciona PTAR, -Octubre 2023- (602 alumnos) se realiza visita y si tiene efluente pero no con la calidad necesaria.		
2.10 Horizonte de duración (años): 30-50 años	2.13 Tiempo de entrega (instalación) (meses): Menos de 12 meses	Comentarios: El diseño de esta PTAR fue evaluado y comparado con la PTAR de CARAO que tiene diseño parecido.

3 DATOS DE OPERACIÓN DISEÑADO			
3.1 Área de PTAR (m ³): 176m ² 10.17m ² canal de desbaste, 15.7 m ² tratamiento primario, 150 m ² (75 m ² cada celda de humedales)	3.2 Número y tipo de tanques o etapas: 3, canal de desbaste y 2 desarenadores, fosa séptica con 2 cámaras de digestión anaerobia y una cámara de clarificación, 2 celdas de humedales construidos con <i>Phragmites australis</i> (carrizo) y <i>Typha latifolia</i> (espadaña)	3.3 ¿Cómo llega el AR a la PTAR? Bombeo/gravedad/ambos	
3.5 % de aguas residuales tratadas: 100%	3.6 Población a la que da servicio (#): 453 personas en 2015, 671 personas (alumnos y profesores) en 2023		
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE			
3.6 Cantidad (m ³ /d) del influente a tratar: 18.75 m ³ /día (diseño) 28.48 m ³ /día (Rojas, 2015)	3.7 Calidad del influente a tratar (tipos de contaminantes): Agua negra (cruda)	3.8 DQO (mg/L): 482 máximo (Rojas, 2015), 16.5 (Hdz, 2023)	3.9 SST (mg/L): 226, 86.66 (Hdz, 2023)
3.10 DBO ₅ (mg/L): 350 mg/L (diseño), 290mg/L (medido por Rojas, 2015)	3.11 Nitrógeno total (mg/L): 35	3.12 Grasas y aceites (mg/L): 100	3.13 P total (mg/L): 12
3.14 Coliformes totales: 10 ⁸ n°/100ml	3.15 Huevos de helmito: >1	3.16 pH: 6 a 11	3.17 Temp (°C): 25
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE			
3.18 Cantidad (m ³ /d) del efluente a tratar: 13.51 (Rojas, 2015)	3.19 Calidad del efluente a tratar: Para riego	3.20 DQO (mg/L): 170 máximo Eficiencias de remoción 63-85% por <i>Thypha latifolia</i>	3.19 SST (mg/l): 40 (Rojas, 2015), 7.5 (Hernández, 2023)

		(Rojas, 2015) (Hernández, 2023)	
3.20 DBO ₅ (mg/L): 30 Máximo de remoción 88.33% (Rojas, 2015)	3.21 N total (mg/L/d): 15 con remoción máxima de 58.8% (Rojas, 2015)	3.22 Grasas y aceites (mg/L/d): remoción máxima de 42% (Rojas, 2015)	3.23 P total (mg/L/d): 5 Con remoción máxima de 56.192% (Rojas, 2015)
3.26 Coliformes totales: 1000 NMP/100 mL Con remoción máxima de 66% o no diferenciado (Rojas, 2015)	3.27 E. Coli (NMP/100ml): 250	3.28 Huevos de helmito: 1	3.29 Enterococos fecales (NMP/100ml):
3.30 pH: 7-7.9 (Rojas, 2015) 6 (Hernández, 2023)	3.31 Temp (°C): 20-30 (Rojas, 2015) 30.2 (Hernández, 2023)	3.32 Uso de efluente tratado: Descarga/ Reuso/ Mixto/ Otro	
3.34 Normas esperadas que debería cumplir el efluente tratado: Se diseñó para agua de riego con NOM-SEMARNAT-001-1996 y para muestreo se usó NMX-AA-014-1980 Cuerpos receptores.- muestreo y NMX-AA-003-1980 Aguas residuales.- muestreo			
Comentarios: Se diseñó para que efluente cumpliera NOM de 1996 ahora se debería adecuar a NOM 2021 con énfasis que efluente se descarga en río. En las conclusiones de (Rojas, 2015) se hacen observaciones técnicas como: -Se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 en los parámetros de temperatura, pH, materia flotante, solidos sedimentables, DBO, solidos suspendidos totales y grasas y aceites. -No se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 con los parámetros de nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales. - Dos factores reducen la eficiencia en el funcionamiento de dicho sistema y son: 1. El área construida de los humedales está incompleta, solo se encuentran construidas dos celdas de 150 m2, el diseño original consta de 300 m2, en cambio para remover para remover los contaminantes establecidos se requiere de una mayor área (SST: 5.54 m2, DBO: 141.47 m2, NT: 230.28 m2, PT: 498.75 m2, CF: 814.8 m2). 2. El tiempo de residencia hidráulica es de 2 días debido al diámetro de 32 mm del sustrato, para incrementar el tiempo de residencia hidráulica se requiere de un sustrato de 8 mm o 3/8" de diámetro para incrementar el tiempo de residencia hidráulica.			
4 FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR			

4.1 Tiempo de retención hidráulico y celular (si aplica) (días): 2	4.2 Generación de desecho (lodos): Si/No. Con buen sustrato no debe haber acumulación de lodo	4.3 Consumo energético (KwH/m³): Ninguno, no requiere rebombeo	
4.4 Procesos y estado de conservación por inspección visual: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Terrible (1), Inexistente (0)			
4.4 Pretratamiento: Desabaste y desarenador Describir: Canal de desbaste y un desarenador para separación de sólidos gruesos. Estado de conservación: 4 Comentarios: Se observó lo descrito en la literatura, pero requiere limpieza.	4.5 Tratamiento primario: Fosa, digestor y clarificador Describir: fosa séptica con un volumen de 22.9 m3, con dos cámaras una de digestión anaerobia y una cámara de clarificación Estado de conservación: 4 Comentarios: Se observó lo descrito en la literatura	4.6 Tratamiento secundario: Humedal construido Describir: compuesto por dos celdas de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con área superficial de 75m² cada una. Estado de conservación: 2 Comentarios: Falta 92.5% de vegetación	4.7 Tratamiento avanzado: Describir: Estado de conservación: Comentarios: no cuenta con
2.17 Instalaciones civiles: 4	2.18 Instalaciones mecánicas y de tubería: 3 No cuenta con instalación mecánica, alguna tubería debe ser modificada o cambiada.	2.19 Instalaciones eléctricas: NA No cuenta con instalación eléctrica	2.20 Instalaciones de instrumentos y de control: NA No cuenta con instrumentos de control
Comentarios: La instalación de vegetación se encuentra en un 15% en Humedal 1 (carrizo) y la vegetación de Humedal 2 (espadaña) se encontró en un 0%			

5 OTROS			
5.1 Inversión anual (\$): <900,000	5.2 Inversión inicial (\$): \$1700- \$1,900,000	5.3 Características de fondo de inversión: Recurso federal para la construcción del campus	5.4 Vinculación: UASLP-gobierno federal

<p>5.5 ¿Se da capacitación/asesoría para el personal operador? Si/No</p> <p>¿De qué tipo? ¿Cada cuánto tiempo?</p> <p>¿Se requiere?</p>	<p>5.6 ¿Cuentan con el personal capacitado y destinado a la operación de la planta? Si/No</p> <p>Se cuenta con 2 trabajadores del área de mantenimiento con capacitación general pero con necesidad de capacitación específica</p>	<p>5.7 ¿Hay manual de operación? Si/No</p>	<p>5.8 ¿Existe un registro de sus datos de operación y seguimiento (bitácora)? Si/No</p>
<p>5.9 ¿Hay productos académicos? Si, una tesis de maestría (Rojas, 2015)</p>	<p>5.10 Se cuenta con los planos de la PTAR: Si/No</p>	<p>5.11 ¿Se cuenta con permisos necesarios como de descarga, de manejo de PTAR o de manejo de pozo? Si/No</p>	<p>5.12 ¿Se realizan actividades de mantenimiento como desazolve, retiro de grava, repoblación de vegetación, cambio de tuberías etc.? Si/No/NA</p> <p>Por deslaves se han realizado desazolves, retiro y cambio de grava, poda y remplazo de vegetación.</p>
<p>5.13 ¿Se efectúan análisis de laboratorio para calidad de agua? Si/No, ¿Dónde, que parámetros se miden?</p> <p>No, pero están dispuestos a habilitar su laboratorio de Química y su responsable de laboratorio puede realizar los análisis correspondientes.</p>	<p>5.14 Hay manejo de RSU y RP: Si/No</p> <p>35% de RSU</p> <p>100% de RP</p> <p>Recuperado de reporte (Greenmetric, 2021)</p>	<p>5.12 Hay emisiones a la atmosfera: Si/No, ¿Cuáles?</p>	<p>5.14 Características técnicas adicionales de la PTAR:</p>
<p>6 IMPACTO SOCIAL</p>			
<p>6.1 # de empleados asignados: 3, 1 responsable, 2 trabajadores de mantenimiento.</p>	<p>6.2 Materiales de comunicación/educación ambiental: Si/No, ¿Cuáles?</p> <p>Pero había un interés inicial en que fuera educativo</p>	<p>6.3 ¿Hay un impacto en las cadenas de valor en localidad (civil, eléctrico, mecánico, hidráulico, lodos, residuos, personal)? En este momento no.</p>	<p>6.4 Otros beneficios directos a la sociedad</p> <p>En este momento no.</p>

CALCULO DE INDICADORES SOCIOECONÓMICOS PTAR COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN HUASTECA SUR

SUPUESTOS	Se venden servicios de análisis de agua					
Tasa social de descuento mexicana	12%					
Ft Ingresos (+) Egresos (-)						
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Agua de primer uso (+)		\$1,080.00	\$1,080.00	\$1,080.00	\$1,080.00	\$1,080.00
Bonos de cabono (+)		\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Ingreso por analisis de agua (+)		\$ 50,000.00	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00
Ingresos Totales (=)		\$71,080.00	\$71,080.00	\$71,080.00	\$71,080.00	\$71,080.00
Inversión inicial equip LAB (-)	\$ 63,378.00					
Mant. y operación de PTAR (-)		\$52,300.00	\$52,300.00	\$52,300.00	\$52,300.00	\$52,300.00
Depreciación (+)		\$3,168.90	\$3,168.90	\$3,168.90	\$3,168.90	\$3,168.90
Flujo final	\$ 63,378.00			\$15,611.10	\$15,611.10	\$15,611.10

VAN	\$19,868.31	Se acepta
TIR	21.36%	Se acepta
RBC	1.281438788	

ANEXO 3

Agua Residual Típica

mg/L

Table 3-18
Typical composition of untreated domestic wastewater

Constituent	Unit	Concentration ^b		
		Low strength	Medium strength	High strength
Solids, total (TS)	mg/L	537	806	1612
Dissolved, total (TDS)	mg/L	374	560	1121
Fixed	mg/L	224	336	672
Volatile	mg/L	150	225	449
Suspended solids, total (TSS)	mg/L	130	195	389
Fixed	mg/L	29	43	86
Volatile	mg/L	101	152	304
Settleable solids	mL/L	8	12	23
Biochemical oxygen demand, 5-d, 20°C BOD	mg/L	133	200	400
Total organic carbon (TOC)	mg/L	109	164	328
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	339	508	1016
Nitrogen (total as N)	mg/L	23	35	69
Organic	mg/L	10	14	29
Free ammonia	mg/L	14	20	41
Nitrites	mg/L	0	0	0
Nitrates	mg/L	0	0	0
Phosphorus (total as P)	mg/L	3.7	5.6	11.0
Organic	mg/L	2.1	3.2	6.3
Inorganic	mg/L	1.6	2.4	4.7
Potassium	mg/L	11	16	32
Chlorides ^c	mg/L	39	59	118
Sulfate ^c	mg/L	24	36	72
Oil and grease	mg/L	51	76	153
Volatile organic compounds (VOCs)	µg/L	<100	100-400	>400
Total coliform	No./100 mL	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ¹⁰
Fecal coliform	No./100 mL	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸
Cryptosporidium oocysts	No./100 mL	10 ⁻¹ -10 ¹	10 ⁻¹ -10 ²	10 ⁻¹ -10 ³
Giardia lamblia cysts	No./100 mL	10 ⁻¹ -10 ²	10 ⁻¹ -10 ³	10 ⁻¹ -10 ⁴

^a Adapted from Tchobanoglous et al. (2003).

^b Low strength is based on an approximate wastewater flowrate of 570 L/capita·d (150 gal/capita·d). Medium strength is based on an approximate wastewater flowrate of 380 L/capita·d (100 gal/capita·d). High strength is based on an approximate wastewater flowrate of 190 L/capita·d (50 gal/capita·d).

^c Values should be increased by amount of constituent present in domestic water supply.

ANEXO 4

Entrevista estructurada general

Objetivo de entrevista: Obtener información respecto a la PTAR, así como de la persona entrevistada y su percepción de la problemática, considerando el contexto.

1. Fecha:
2. Lugar:
3. Nombre completo de entrevistad@:
4. Género: A) Hombre B) Mujer C) Prefiero no decir
5. Formación académica:
6. Ocupación actual:
7. ¿Cuántos años lleva trabajando en la UASLP o en la empresa en cuestión? <1 años, 1 a 2 años, 2 a 4 años, 4 a 6 años, 6 a 10 años, >15 años
8. ¿Cuántos años tiene ocupando el puesto actual? <1 años, 1 a 2 años, 2 a 4 años, 4 a 6 años, 6 a 10 años, >15 años
9. ¿En qué consiste su trabajo o actividad? Abierta
10. ¿Cómo es la organización y estructura de su entidad? Abierta
11. ¿Cuáles fueron los motivantes “drivers” para la creación de la PTAR? Abierta
12. ¿En qué grado opero la PTAR en su inicio, siendo 1 menos satisfecho y 10 satisfecho, de acuerdo a lo esperado en el diseño? 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
13. ¿Quién participo en la implementación de la PTAR? Puede elegir más de 1 opción.
a) Alumnos b) Personal administrativo c) Personal técnico o de mantenimiento d) Profesores de tiempo completo e) Profesores hora clase e) Directores f) empresas externas g) Otros (mencionar)
14. ¿En qué grado opero la PTAR ahora, siendo 1 menos satisfecho y 10 satisfecho, de acuerdo a lo esperado en el diseño? 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
15. ¿Qué factores de influencia considera que impactan el funcionamiento de la PTAR? Puede elegir más de 1 opción.
a) Gestión b) Administración c) Capacitación d) Recurso económicos e) Recurso humanos f) Otros (mencionar)
16. ¿Cuáles cree son los motivantes para la suspensión o estado actual de la PTAR? Abierta
17. ¿Qué efectos y/o consecuencias tiene esta suspensión o estado actual? Abierta
18. ¿Considera que hay escases de agua en su campus? ¿En su ciudad? ¿En su país? Si/No/A veces

19. ¿Considera pertinente tener una PTAR funcionando en su entidad? [Abierta](#)
20. ¿Cuáles son las necesidades que usted considera para el apropiado funcionamiento de la PTAR?
[Abierta](#)
21. ¿Cómo se imagina que estas necesidades pueden ser cumplidas? [Abierta](#)
22. ¿Quiénes considera se deben involucrar en la puesta en marcha?
[a\) Alumnos b\) Personal administrativo c\) Personal técnico o de mantenimiento d\) Profesores de tiempo completo e\) Profesores hora clase e\) Directores f\) empresas externas g\) Otros \(mencionar\)](#)
23. Seleccione cuales son las necesidades de su campus respecto al agua de primer uso:
[a\) Riego de jardines b\) Limpieza de patios c\) Limpieza de interiores d\) Sanitarios e\) Regaderas f\) filtro de bebederos g\) otras _____](#)
24. Que más considera debe ser incluido en el manejo integral de su agua y que puntuación de urgencia le daría (1 más urgente al 10 menos urgente):
[a\) Plantas Tratadoras de Agua Funcionales b\) Captación de agua de lluvia c\) Reparación de fugas y cisternas d\) Monitoreo de la cantidad de entradas y salidas del agua \(m³/L\) e\) Monitoreo de la calidad de las entradas y salidas con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos f\) Captación de neblina g\) Comunicación ambiental h\) Educación ambiental i\) otros _____](#)
25. Comentarios: [Abierta](#)

ANEXO 4.1

Entrevista estructurada general

Objetivo de entrevista: Obtener información respecto a la PTAR, así como de la persona entrevistada y su percepción de la problemática, considerando el contexto.

1. Fecha:
2. Lugar:
3. Nombre completo de entrevistad@:
4. Género: A) Hombre B) Mujer C) Prefiero no decir
5. Formación académica:
6. Ocupación actual:
7. ¿En qué grado opero la PTAR ahora, siendo 1 menos satisfecho y 10 satisfecho, de acuerdo a lo esperado en el diseño? 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
15. ¿Qué factores de influencia considera que impactan el funcionamiento de la PTAR? Puede elegir más de 1 opción.
a) Gestión b) Administración c) Capacitación d) Recurso económicos e) Recurso humanos f) Otros (mencionar)
16. ¿Cuáles cree son los motivantes para la suspensión o estado actual de la PTAR? Abierta
17. ¿Qué efectos y/o consecuencias tiene esta suspensión o estado actual? Abierta
18. ¿Considera que hay escases de agua en su campus? ¿En su ciudad? ¿En su país? Si/No/A veces
19. ¿Considera pertinente tener una PTAR funcionando en su entidad? Abierta
20. ¿Cuáles son las necesidades que usted considera para el apropiado funcionamiento de la PTAR?
Abierta
21. ¿Cómo se imagina que estas necesidades pueden ser cumplidas? Abierta
22. ¿Quiénes considera se deben involucrar en la puesta en marcha?
a) Alumnos b) Personal administrativo c) Personal técnico o de mantenimiento d) Profesores de tiempo completo e) Profesores hora clase e) Directores f) empresas externas g) Otros (mencionar)
23. Seleccione cuales son las necesidades de su campus respecto al agua de primer uso:
a) Riego de jardines b) Limpieza de patios c) Limpieza de interiores d) Sanitarios e) Regaderas f) filtro de bebederos g) otras _____
24. Que más considera debe ser incluido en el manejo integral de su agua y que puntuación de urgencia le daría (1 más urgente al 10 menos urgente):

a) Plantas Tratadoras de Agua Funcionales b) Captación de agua de lluvia c) Reparación de fugas y cisternas d) Monitoreo de la cantidad de entradas y salidas del agua (m³/L) e) Monitoreo de la calidad de las entradas y salidas con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos f) Captación de neblina g) Comunicación ambiental h) Educación ambiental i) otros _____

25. Comentarios: Abierta

ANEXO 5

Consentimiento Informado de Entrevistas

Consentimiento informado

Consiento y autorizo que mis datos personales sean tratados solo para investigación en cuestión, conforme a lo previsto en el presente documento:

Los datos personales, así como la información confidencial, proporcionada por los entrevistados serán protegidos, tratados y resguardados según la normatividad propia de la materia, por lo cual, se utilizarán única y exclusivamente para las siguientes finalidades estrictamente académicas y de investigación para la tesis: "Evaluación Integral de las Plantas Tratadoras de Agua Residual de la UASLP (Universidad Autónoma de San Luis Potosí) y su propuesta de rehabilitación" cuyos objetivo general es: Hacer un diagnóstico del estado actual de construcción, operación y/o mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en los diferentes campus de la UASLP y de la factibilidad técnica y económica para su operación y/o rehabilitación.

- El investigador de esta investigación, es el responsable del tratamiento de los datos personales y datos personales sensibles que usted proporcione con motivo de conocer los objetivos de la investigación, mismos que serán tratados de acuerdo a la metodología del estudio, sin que se vulnere su identidad mediante el proceso de disociación, para proteger la identificación de los mismos, de conformidad con la normativa.
- La participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria, puedo retirarme de ella en cualquier momento y puede ser anónima si así se desea.
- No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto, ni retribución económica alguna. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitan incidir positivamente en la investigación.
- Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente; en virtud de ello, esta información será archivada en medio electrónico. Tiene el derecho a tener su información procesada así como rectificarla.
- En caso de requerir mis datos personales, las fotografías, los videos y otra información, resultantes de la aplicación de la entrevista para presentación con fines estrictamente académicos o científicos en eventos tales como seminarios, congresos, cursos, simposios y publicaciones, entre otros tipos de espacios de divulgación científica, será por autorización previa.

Tratándose de datos personales del tipo sensible, éstos serán mantenidos y tratados con estricta confidencialidad, de acuerdo a lo estipulado en la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública del Estado de San Luis Potosí y la Ley de Protección de Datos Personales en Posesión de los Sujetos Obligados del Estado de San Luis Potosí.

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad. Por lo anterior, hago constar que he sido informado a satisfacción sobre los procesos que se realizarán y, por tanto, doy mi consentimiento.

ANEXO 6

Códigos del análisis cualitativo

Códigos	Categoría	Criterio o definición	Ejemplo
Eco	ECONÓMICO	Lo que está relacionado al recurso económico para la creación y funcionamiento de la PTAR	...solo hay que buscar el financiamiento inicial para el equipamiento e instalación
Eco_PI	ECONÓMICO. Planeación	Refiere a la planeación que se pudo haber realizado o se puede realizar en cuanto a la asignación de los recursos económicos.	Es factible la PTAR y necesaria,... (refiere a que se puedes hacer planeando y organizando)
Eco_Re	ECONÓMICO. Recurso económico	Refiere al dinero que se tiene o no se tiene.	...se tenía el proyecto y se decidió hacer la obra civil para ahorrar dinero de lo que costaría la PTAR.
Tec	TÉCNICO	Cuestiones técnicas, de ingeniería básica de la PTAR	Supervisar trabajo de mantenimiento solicitado bajo ticket
Tec_Ah	TÉCNICO. Ahorro	Relacionado al ahorro y disponibilidad del agua de primer uso.	...y ya se tenía una preocupación por el ahorro y disponibilidad del agua.
Tec_Mt	TÉCNICO. Mantenimiento	Refiere al mantenimiento, reparaciones, sustitución de piezas, desazolve.	...hay dos alimentaciones principales que desembocan en un brocal con registro en...
Tec_Cp	TÉCNICO. Capacitación	Refiere a la capacitación del manejo u operación, el contexto del programa institucional, la educación ambiental implicada	(Capacitación impacta en el funcionamiento de la PTAR)
Tec_Ds	TÉCNICO. Diseño	Refiere al diseño, como se proyectó.	...puede ser que no funcionen por falta de mantenimiento no por mal diseño.
Códigos	Categoría	Criterio o definición	Ejemplo
Mot	MOTIVANTES	Son las razones porque las personas hacen algo o promueven, impulsan para la creación u operación de la PTAR	

Mot_It	MOTIVANTES. Interés	Expresa el interés, inclinación o disposición para realizar acciones.	...luego hacerse cargo la universidad de mantenerla.
Mot_VP	MOTIVANTES. Voluntad Política	Refiere a las acciones realizadas por directivos para impulsar, permitir o participar.	...es indispensable y hay que involucrar a todos los interesados académicos y funcionarios.
Mot_CV	MOTIVANTES. Comunicación Vinculación	Refiere a los procesos de comunicación y vinculación tanto interna como externa.	Unir y consensar voluntades...

ANEXO 7

Límites permisibles NOM001-SEMARNAT-2021

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
										P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
Carbono Orgánico Total*	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Huevos de Helminthos (huevos/litro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								
<i>Escherichia coli</i> , (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Enterococos fecales* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
pH (UpH)	6-9																	
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo								