



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLA DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

**“INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE LA  
INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE LAS  
AGUAS RESIDUALES EN LA RIVERA DEL LAGO  
DE CUITZEO”**

MEMORIA EN EXPERIENCIA PROFESIONAL QUE PRESENTA:

JUAN CAMACHO OROZCO

PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO

ASESOR: M.C. GABRIEL MARTINEZ HERRERA

MORELIA, MICHOACÁN. SEPTIEMBRE DE 2018.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres, por haberme apoyado incondicionalmente para poder estudiar una carrera en tan importante, y sus grandes esfuerzos que hicieron para salir adelante.

A mi papa Rogelio gracias por ser un padre ejemplar, por haberme dado la oportunidad de tener estudios, y apoyarme en todas las decisiones que he tomado en mi vida, como lo fue el estudiar esta carrera, por todos los esfuerzos que has hecho para que pudiera prepararme y superarme en la vida, gracias por tus sabios consejos que me han sido de gran ayuda para ser una mejor persona

A mi mama Susana, gracias por tus desvelos, consejos, cuidados, cariños, por levantarme y nunca dejarme caer en los momentos más difíciles. Gracias por tu paciencia y esas palabras sabias que siempre tienes para mis enojos, tristezas y mis momentos felices, gracias por escucharme y siempre apoyarme.

A mis hermanos Alejandro y Mayreli, gracias por apoyarme, escucharme y estar cuando más te eh necesitado.

A mi amada esposa Lizbeth porque siempre me está alentando a ser mejor, a desarrollarme como persona y profesionista por todo el amor que me demuestra y por haberme dado el mejor regalo: ser Padre. A mis pequeños hijos Juan Alberto y Kevin Rodrigo que son una inspiración para seguir trabajando y seguir preparándome en esta vida.

A mis profesores, que me dieron clase, por sus enseñanzas, su dedicación y su tiempo, por todos sus conocimientos que me aportaron, a todos aquellos maestros que me hicieron pasar una estancia agradable e inolvidable en esta etapa de mi vida.

A Todos..... Muchas Gracias.

Juan Camacho Orozco

## **DEDICATORIA**

Quiero externar mi agradecimiento a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en la facultad de Ingeniería Química y en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética puesta de manifiesto en las aulas donde adquirimos sus conocimientos que nos servirán para ser útiles a la sociedad.

## ÍNDICE

	Pagina
Relación de Figuras y Tablas.....	5
<b>Resumen</b> .....	8
<b>Abstract</b> .....	9
<b>I. Introducción</b> .....	10
<b>II. Justificación</b> .....	11
<b>III. Objetivos</b> .....	11
III.1. Objetivo General.....	11
III.2. Objetivos específicos.....	12
<b>IV. Marco Teórico</b> .....	12
IV.1. Definición y características de las aguas residuales.....	12
IV.2. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	14
IV.3. Marco Legal.....	19
IV.4. Sistemas de tratamiento.....	21
<b>V. Material y métodos</b> .....	27
VI.1. Área de estudio.....	27
<b>VI. Análisis y discusión de los resultados</b> .....	28
VI.1. Resultados de campo.....	28
VI.2. Análisis de los resultados de la medición de los parámetros de campo.....	66
VI.3. Implementación de acciones específicas.....	87
<b>VII. Conclusiones</b> .....	100
<b>VIII. Recomendaciones</b> .....	103
<b>IX. Anexos</b> .....	106
IX.1. Resultados de laboratorio.....	106
IX.2. Resultados de laboratorio.....	108
<b>X. Referencias bibliográficas</b> .....	110

## RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 1.- Composición típica del Agua Residual.....	17
Figura 2.- Área de estudio.....	27
Figura 3.- Localización de la PTAR de Cuitzeo.....	31
Figura 4.- PTAR de Cuitzeo.....	31
Figura 5.- Localización del sistema de tratamiento Dr. Miguel Silva.....	35
Figura 6.- PTAR Dr. Miguel Silva.....	35
Figura 7.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Cuaracurio.....	37
Figura 8.- PTAR de Cuaracurio.....	37
Figura 9.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Copandaro.....	39
Figura 10.- Sistema de tratamiento PTAR de Copandaro.....	40
Figura 11.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Santa Rita.....	41
Figura 12.- PTAR de Santa Rita de Casia.....	41
Figura 13.- Mapa de localización del sistema de tratamiento Rosa de Castilla.....	43
Figura 14.- PTAR de Rosa de Castilla.....	44
Figura 15.- Mapa de localización del sistema de tratamiento del Salitre.....	46
Figura 16.- PTAR del Salitre.....	46
Figura 17.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de San Sebastián.....	48
Figura 18.- PTAR San Sebastián.....	49
Figura 19.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Huandacareo.....	51
Figura 20.- PTAR de Huandacareo.....	51
Figura 21.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Tupatarillo.....	53
Figura 22.- PTAR de Tupatarillo.....	53
Figura 23.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de la Ladera.....	53
Figura 24.- PTAR de la Ladera.....	55
Figura 25.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de la Col. Buena Vista.....	57
Figura 26.- Laguna de oxidación.....	58
Figura 27.- Mapa de localización del sistema de tratamiento San Rafael.....	59
Figura 28.- PTAR San Rafael.....	60
Figura 29.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Santa Ana Maya.....	60
Figura 30.- PTAR de Santa Ana Maya. ....	61
Figura 31.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Chehuayo Grande.....	62

Figura 32.-	PTAR Chehuayo.....	62
Figura 33.-	Mapa de localización del sistema de tratamiento de Zinapécuaro.....	64
Figura 34.-	PTAR de Zinapécuaro.....	65
Figura 35.-	Comportamiento del pH.....	66
Figura 36.-	Comportamiento de la Temperatura.....	67
Figura 37.-	Comportamiento de la conductividad eléctrica.....	68
Figura 38.-	Comportamiento de los parámetros DQO, DBO y SST.....	70
Figura 39.-	Sistema antes de las modificaciones PTAR Dr. Miguel Silva.....	87
Figura 40.-	Sistema después de las modificaciones PTAR Dr. Miguel Silva.....	88
Figura 41.-	Sistema antes de las modificaciones PTAR Cuaracurio.....	90
Figura 42.-	Sistema después de las modificaciones PTAR Cuaracurio.....	90
Figura 43.-	Sistema antes de las modificaciones PTAR Santa Rita.....	92
Figura 44.-	Sistema después de las modificaciones PTAR Santa Rita.....	93
Figura 45.-	Sistema antes de las modificaciones PTAR El Salitre.....	95
Figura 46.-	Sistema después de las modificaciones PTAR El Salitre.....	96
Figura 47.-	Sistema antes de las modificaciones PTAR Chehuayo.....	98
Figura 48.-	Sistema después de las modificaciones PTAR Chehuayo.....	99

**Tablas**

Página

Tabla 1.-	Importancia e impacto hacia el medio ambiente de los diferentes contaminantes.....	15
Tabla 2.-	Composición típica del Agua Residual.....	17
Tabla 3.-	Límites máximos permisibles por la norma NOM-001 ECOL- 1996.....	20
Tabla 4.-	Relación de plantas de tratamiento localizadas en la cuenca.....	30
Tabla 5.-	Resultados de las determinaciones realizadas en campo.....	66
Tabla 6.-	Resultados de los análisis fisicoquímico y bacteriológico (PTAR, Dr., Miguel Silva, Cuaracurio y Cuitzeo).....	68
Tabla 7.-	Resultados de los análisis fisicoquímico y bacteriológico (PTAR, Tupatarillo, San Sebastián y Santa Rita).....	69
Tabla 8.-	Resultados de los análisis fisicoquímico y bacteriológico (PTAR, Buena Vista, San Rafael y La Ladera).....	69
Tabla 9.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Dr. Miguel Silva .....	70

Tabla 10.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Cuaracurio.....	71
Tabla 11.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Cuitzeo.....	73
Tabla 12.-	Eficiencias de Remoción PTAR Cuitzeo.....	73
Tabla 13.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Tupatarillo.....	75
Tabla 14.-	Eficiencias de Remoción PTAR Tupatarillo.....	75
Tabla 15.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR San Sebastián.....	77
Tabla 16.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Santa Rita.....	79
Tabla 17.-	Eficiencias de Remoción PTAR Santa Rita.....	79
Tabla 18.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Col. Buena Vista.....	81
Tabla 19.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR San Rafael.....	83
Tabla 20.-	Eficiencias de Remoción PTAR San Rafael.....	83
Tabla 21.-	Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR La Ladera.....	85
Tabla 22.-	Eficiencias de Remoción PTAR La Ladera.....	85
Tabla 23.-	Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Dr. Miguel Silva...	88
Tabla 24.-	Eficiencias de Remoción PTAR Dr. Miguel Silva.....	89
Tabla 25.-	Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Cuaracurio.....	91
Tabla 26.-	Eficiencias de Remoción PTAR Cuaracurio.....	91
Tabla 27.-	Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Santa Rita.....	93
Tabla 28.-	Eficiencias de Remoción PTAR Santa Rita.....	94
Tabla 29.-	Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR El Salitre.....	96
Tabla 30.-	Eficiencias de Remoción PTAR El Salitre.....	96
Tabla 31.-	Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Chehuayo.....	99
Tabla 32.-	Eficiencias de Remoción PTAR Chehuayo.....	99

## **RESUMEN**

En el presente trabajo, se habla acerca de la experiencia laboral que he adquirido durante el transcurso de trece años, en el cual he estado trabajando en la Comisión de Cuenca del Lago de Pátzcuaro, la Comisión de Cuenca del Lago de Cuitzeo y en la Comisión Nacional del Agua, en esta memoria se analiza la problemática del saneamiento de las aguas residuales que se vierten a lago de Cuitzeo. Con este enfoque se realizó una evaluación de las condiciones físicas y de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, involucrando a los tres órdenes de gobierno y sociedad en general, también se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua vertida a través de los sistemas de tratamiento.

En el aspecto técnico y como resultado de la experiencia ganada a través del contacto diario con la problemática propiciada por las aguas residuales, su impacto y la falta de acciones para lograr el saneamiento de las aguas residuales, en esta memoria se propone la implementación de acciones concretas para la puesta en marcha y mejora en la operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Para eliminar la contaminación provocada por el vertido de aguas residuales domésticas y cumplir con la normativa, es fundamental lograr la participación de las administraciones municipales, de la sociedad en general, generando conciencia ecológica, de protección del Lago y medio ambiente, cambiar los hábitos de consumo e incentivar el pago de los servicios de agua y por el saneamiento.

## **SUMMARY**

In the present work, we talk about the work experience that I have acquired over the course of thirteen years, in which I have been working in the Lake of Pátzcuaro Basin Commission, the Lake Cuitzeo Basin Commission and in the Commission National Water, in this minority the problem of the sanitation of the residual waters that are poured into Lake Cuitzeo is analyzed. With this approach I carried out an evaluation of the physical and operational conditions of the wastewater treatment plants, involving the three levels of government and society in general, the evaluation of the quality of the water discharged through the the treatment systems

In the technical aspect and as a result of the experience gained through daily contact with the problem caused by wastewater, its impact and the lack of actions to achieve the sanitation of wastewater, this report proposes the implementation of actions for the start-up and improvement of the operation of wastewater treatment systems

To eliminate the pollution caused by the discharge of domestic wastewater and comply with regulations, it is essential to involve the municipal administrations, society in general, generating ecological awareness, the protection of the lake and the environment, the consumption habit and payment of water and sanitation services.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La generación de aguas residuales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, las cuales se han convertido en el problema ambiental y de salud más importante y de mayor aumento en la actualidad. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos.

Durante los últimos años el crecimiento poblacional de la cuenca ha presentado un crecimiento considerable que ha pasado de concentrar en los últimos 10 años una población de 885,883.00 habitantes a 1,004.723, lo cual ha propiciado el creciente consumo de los recursos naturales que están originando por consiguiente un incremento en el vertido de aguas residuales sin depurar a los ríos, cauces y al lago de Cuitzeo.

Actualmente, en la cuenca se genera un caudal aproximado de 2807.19 lps, de aguas residuales provenientes de las descargas domiciliarias. De este volumen, 1711.4 lps ingresan a un sistema de tratamiento de aguas residuales en muchos de los cuales con deficiencias operativas y de mantenimiento y el resto se descarga directamente al lago, se infiltra en suelos o se usa para fines agrícolas.

Esta situación hace que los vertidos de aguas residuales sin tratamiento constituyan un escenario que pone en peligro la salud pública y el equilibrio del ecosistema acuático del lago debido a la sobresaturación de carga orgánica generando condiciones anoxias (sin oxígeno) de difícil recuperación que limitan la vida de las especies acuáticas y generando procesos de eutrofización en algunas zona del lago por la abundancia de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y disminuyendo la calidad de vida de las comunidades con sus consiguientes impactos, sociales y ambientales.

La responsabilidad por el tratamiento de las aguas residuales domésticas, por ser una actividad complementaria del servicio público de alcantarillado, es de las administraciones municipales, de forma que éstas deben velar por la disminución

del impacto sobre el medio ambiente, encargándose, directamente de la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales domésticas.

## **II. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la incorporación de aguas residuales al cuerpo de agua, actualmente el lago se encuentra fuertemente afectado ya que es receptor final de un continuo aporte de fosfatos y nitratos producto de detergentes, desechos industriales, urbanos y agrícolas provenientes de las comunidades, parques industriales y zonas agrícolas que aumentan la cantidad de materia orgánica y provocan la disminución del oxígeno en sus aguas; a la presencia del lirio acuático y residuos sólidos que ingresan por el transporte de sedimentos a causa de la precipitación, aunado a que la concentración de sales es elevada debido al origen endorreico de la cuenca; lo anterior no permite la recuperación del ciclo biológico del lago de Cuitzeo, presenta así pues, el problema de eutrofización (acumulación excesiva y perjudicial de residuos orgánicos), además de un fuerte azolvamiento.

Por lo anterior y al no contar con información actualizadas de las condiciones físicas y de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales así como de las eficiencias de remoción de los sistemas en operación, se determinó realizar un diagnóstico de las condiciones de operación y evaluación de la calidad del agua vertida a través de los sistemas de tratamiento.

## **III. OBJETIVOS**

### **III.1. Objetivo General.**

Contar con información que contribuya a conocer el estado actual sistemas de tratamiento de aguas residuales ubicados en la cuenca, así como evaluar la calidad del agua del influente y efluente en cada sistema, que permita definir con mayor precisión las acciones necesarias para mejorar su operación.

### **III.2. Objetivos específicos.**

- Realizar un inventario de los sistemas de tratamiento localizados en la ribera del lago de Cuitzeo.
- Identificar la problemática que se presenta en cada una de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Analizar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua residual en el influente y efluente de los sistemas de tratamiento.
- Evaluar la capacidad de remoción de la DBO<sub>5</sub> y SST de cada sistema de tratamiento.
- Evaluar el cumplimiento a la NOM- 001-SEMARNAT-1996.
- Emitir las recomendaciones necesarias sobre las acciones y medidas a realizar en los sistemas.

## **IV. MARCO TEORICO**

### **IV.1. Definición y características de las aguas residuales.**

El agua residual puede definirse como el cambio que sufre el agua desde su abastecimiento, pasando por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, para finalmente ser colectadas por la red de alcantarillado sanitario que las conducen a sus destinos; siendo así, la combinación de líquidos y sólidos que son transportados por el agua ( Rolim, 2000), en proporciones de 99 % de agua y 0.1 % de contaminantes orgánicos e inorgánicos, ya sean en suspensión o disueltos (Henry y Heinke, 1996).

De acuerdo a su procedencia, las aguas residuales se clasifican de la siguiente manera:

Aguas residuales urbanas: son las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial. Las aguas de escorrentía pluvial tendrán su influencia en las aglomeraciones con redes

de saneamiento unitarias (lo más frecuente) y en los momentos en que se registren lluvias.

Aguas residuales domésticas: son las aguas procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. Las aguas residuales domésticas siempre estarán presentes.

Aguas residuales industriales: se refiere a todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. La incidencia de las aguas residuales industriales dependerá del grado de industrialización de la aglomeración urbana y de la cantidad y características de los vertidos que las industrias realicen a la red de colectores municipales.

El 0.1% corresponden a sólidos en la composición de las aguas residuales (suspendidos, coloidales y disueltos) es la que presenta mayores problemas en el tratamiento y disposición (Rolim, 2000).

Características fisicoquímicas y biológicas del agua residual.

De acuerdo con Van Haandel y Lettinga (1994), los constituyentes más importantes de los desechos líquidos, le confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables, su composición y concentración determinadas por su caudal y fuente.

La característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, los cuales comprenden la materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, color, la temperatura, la densidad y la turbiedad.

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

Para el tratamiento biológico se deben de tomar en cuenta las siguientes características del agua residual: principales grupos de microorganismos presentes, tanto en el agua superficial como en residual, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; organismos patógenos presentes en el agua residual; organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y métodos empleados para determinar la toxicidad del agua tratada.

#### **IV.2. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.**

El agua residual vertida sobre cualquier fuente de agua natural originará en ella cierto grado de contaminación, por ello debemos controlar los efectos indeseables a fin que el cuerpo receptor no altere sus propiedades, y sus características se vuelvan inaceptables para el uso en el que fue propuesto. En la tabla 1.0 se muestra en forma muy breve y generalizada la importancia e impacto hacia el medio ambiente de los diferentes contaminantes.

Contaminante	Parámetro tipo de medida	Fuente	Causa de su importancia	Efectos por la descarga del agua en cuerpos receptores
Sólidos suspendidos	SST, SSV	ARD y ARI; Erosión del suelo	Las partículas absorben contaminantes orgánicos y metales pesados; protegen a los microorganismos de los agentes desinfectantes y en cantidades excesivas tapan los sistemas de irrigación	Deposición en los lechos de los ríos; si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases; e interfiere con la reproducción de los peces o transforma la cadena alimenticia.
Sustancias biodegradables (Materia Orgánica)	DBO, DQO	ARD y ARI	Está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas/aceites. Si no es previamente removida puede producir agotamiento de oxígeno disuelto de la fuente receptora y desarrollo de condiciones sépticas que significan problemas estéticos y de salud ambiental.	Agotamiento de oxígeno, muerte de peces, olores indeseables, condiciones sépticas.
Nutrientes Nitrógeno fosforo	Nitrógeno amoniacal y total Ortofosfatos	ARD, ARI y ARA; Descarga natural	Nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, su presencia mejora la calidad del agua de riego. Cuando son descargas a un cuerpo receptor de agua, el (N), (C) y el (P) pueden influir en el crecimiento de malezas acuáticas.	Crecimiento indeseable de algas y plantas, las cuales alteran el ecosistema acuático, causando malos olores.
Materia toxica Metales pesados Compuestos Orgánicos tóxicos	.....	ARI, ARA y ARI	Algunos se acumulan en el ambiente y son tóxicos para plantas y animales	Deterioro del ecosistema, envenenamiento de los alimentos en caso de acumulación provocando intoxicaciones y muerte de los seres vivos, además de ser cancerígenos.
Sólidos inorgánicos Cloruros Sulfuros pH	(Iones hidrogeno) pH	Abastecimiento de agua, uso de agua, infiltración ARD y ARI	Afecta la desinfección, coagulación, solubilidad de los metales y la alcalinidad.	Incremento del contenido de sal. Se debe eliminar si se va a reutilizar el agua residual.
Microorganismos patógenos	Coliformes fecales	ARD	Existen en grandes cantidades en las aguas residuales y son transmisores de enfermedades contagiosas para el hombre.	Comunicación de enfermedades, generando que el agua sea insegura para la recreación.

Tabla 1.- Importancia e impacto hacia el medio ambiente de los diferentes contaminantes.

ARD: Aguas Residuales Domesticas  
ARA: Aguas Residuales Agrícolas  
ARI: Aguas Residuales Industriales

### Razones de su importancia

- **Sólidos suspendidos:** Desarrollan depósitos de lodos y condiciones anaerobias cuando se descarga agua residual cruda a algún medio acuático.
- **Materia orgánica biodegradable:** Puede producir el agotamiento del Oxígeno Disuelto del cuerpo receptor el cual es desfavorable para la flora y fauna presente en dicho cuerpo, se mide en términos de DBO<sub>5</sub> y DQO, y está compuesta de proteínas carbohidratos y grasas.
- **Patógenos:** Producen enfermedades.
- **Nutrientes:** El Carbono, nitrógeno y fosforo (C, N, P), son nutrientes que pueden ocasionar vida acuática indeseable y vertidos en el suelo, pueden contaminar el agua subterránea por infiltración de los mismos.
- **Metales pesados:** Proviene del agua residual doméstica e industrial, deben ser removidos si se desea reutilizar el agua.
- **Sólidos inorgánicos disueltos:** El calcio, sodio y sulfatos son agregados al suministro doméstico original como resultado del uso y deben ser removidos para la reutilización del agua.

Los parámetros individuales presentes en las aguas residuales domésticas, se muestran en la (Tabla 2.0), donde se clasifica como fuerte, media o débil, de acuerdo a la concentración de sus diferentes contaminantes. Estos constituyentes en su conjunto provocan un impacto a la salud humana y al hábitat acuático, por tal motivo existe una importancia relevante desde el punto de vista del saneamiento ambiental y de la necesidad del tratamiento de las aguas residuales que incluya la reducción de los contaminantes más significativos.

Constituyente	Unidades	Concentraciones		
		Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	mg/l	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	850	500	250
Sólidos Disueltos Fijos	mg/l	525	300	145
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/l	325	200	105
Sólidos Suspendidos	mg/l	350	220	105
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	75	55	20
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	275	165	80
Sólidos Sedimentables	mg/l	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	400	220	110
Carbono Orgánico Total	mg/l	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	1000	500	250
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	85	40	20
Nitrógeno Orgánico	mg/l	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	15	8	4
Fósforo Orgánico	mg/l	5	3	1
Fósforo Inorgánico	mg/l	10	5	3
Cloruros	mg/l	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO3)	mg/l	200	100	50
Grasas y Aceites	mg/l	150	100	50
Sulfato	mg/l	34	22	12
Coliformes totales	UFC/100ml	107 - 109	107 - 108	106 - 107

Tabla 2.- Composición típica del Agua Residual.

La composición media de un agua residual doméstica se esquematiza en la figura 1, las cuales provienen de distintas fuentes dependiendo de las diferentes costumbres de cada población aportarte.



Figura 1.- Composición típica del Agua Residual

Las proteínas, carbohidratos y lípidos constituyen aproximadamente el 99% de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas, las cuales son fácilmente biodegradados en medios acuáticos, consumiendo el oxígeno disuelto presente, pudiendo llegar a condiciones anaerobias si no se controla el vertido de estos compuestos orgánicos. La mayor parte de estas sustancias pueden también degradarse bajo condiciones anaerobias, procesos generalmente más lento y que produce malos olores, principalmente cuando los sistemas no operan adecuadamente (Henry y Heinke, 1996; Corbitt, 1999).

Se utilizan diversos parámetros como medida de la concentración orgánica de las aguas residuales como; Carbono Orgánico Total (TOC), por sus siglas en inglés, otros métodos basan su medición en la cantidad de oxígeno que se necesita para convertir el material oxidable en productos finales estables; los dos métodos de sus más frecuentes son la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y para el material biodegradable la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) (Henry y Heinke, 1996).

Microorganismos; su presencia está relacionada directamente a la cantidad de nutrientes presentes y temperatura idóneas que la convierten en un ambiente ideal para su proliferación, principalmente bacterias y protozoos (Barbecho y Bosquez, 2008). Por otro lado las aguas residuales pueden contener patógenos provenientes de los excrementos de las personas con enfermedades infecciosas susceptibles de transmitirse en las aguas contaminadas (Henry y Heinke, 1996). Los microorganismos que contienen estas aguas se clasifican en tres grupos: aerobios, anaerobios y facultativos (viven en condiciones con o sin oxígeno).

Los Sólidos en Suspensión, es uno de los parámetros importantes a tomar en cuenta, en las aguas residuales, al momento de considerar una opción para su tratamiento, ya que pueden ocasionar situaciones desagradables como depósito de lodos, olores, demanda de oxígeno (generando condiciones anaerobias) y problemas de estética (Corbitt, 1999). El metro cubico de agua residual pesa

aproximadamente 1,000 gm y contiene alrededor de 500 gm de sólidos, la mitad de estos están disueltos y los restantes son insolubles; de los cuales 125 gm permanecen en suspensión durante largos periodos de tiempo y el resto sedimentan (Mackenzie y Masten 2004).

### **IV.3. Marco Legal**

Normas Oficiales Mexicanas.

En materia de saneamiento, el tratamiento de las aguas residuales debe ser considerado como un aspecto fundamental para evitar la contaminación de los cuerpos receptores de aguas nacionales.

Para su control se tienen diferentes fundamentos legales que conjuntamente con lo dispuesto en la ley de Aguas Nacionales ayudan a la preservación del entorno ecológico y crean una nueva cultura del agua. La normatividad vigente al respecto corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (tabla 3), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997. Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observación obligatoria para los responsables de dichas descargas.

Los límite máximo permisible (LMP), es el valor o rango de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente, que al ser sobrepasada causa o puede causar daños a la salud; al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigido legalmente por la autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiere, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos.

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS																				
PARAMETROS	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	(A)	(B)	(B)	(C)	(B)	(C)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspensos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	175	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Tabla 3.- Límites máximos permisibles por la norma NOM-001 ECOL- 1996

(1)Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

(4) PD.= Promedio Diario; P.M= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable

(A), (B) y (C) = Tipo de cuerpo receptor según la ley Federal de Derechos

#### **IV.4. Sistemas de tratamiento.**

El agua residual contiene por lo general sólidos en suspensión de diferente tamaño, las aguas residuales provenientes de residencias individuales vierten al sistema de alcantarillado, además del agua contaminada y los residuos sólidos generados en la cocina, pañales, cepillos dentales, tampones, elementos profilácticos y otros residuos de gran tamaño, junto con una gran variedad de otros materiales como trapos, maderas, arenas y gravas que conduce la red de alcantarillado. Los objetivos del tratamiento preliminar o pretratamiento son: 1) acondicionar el agua residual para ser tratada en las siguientes etapas de proceso de tratamiento, 2) remover materiales que pueden interferir con los equipos y procesos de tratamiento aguas abajo, y 3) reducir la acumulación de materiales en los procesos ubicados aguas abajo del tratamiento preliminar

##### Pretratamiento

En su expresión más general, el tratamiento preliminar ocurre a través de una secuencia de unidades de tratamiento encargadas de modificar la distribución del tamaño de las partículas presentes en el agua residual.

La presencia de residuos de gran tamaño en el agua residual ocasiona problemas mecánicos en bombas y demás equipos de la planta de tratamiento. Gran cantidad de material flotante, entre los se incluyen elementos profilácticos, tienden a acumularse en los sedimentadores, formando una desagradable capa de nata. La presencia de gravas y arenas presenta también un problema debido a que se acumulan en los tanques de tratamiento.

##### Rejillas

Estas tienen como objetivo la remoción de los materiales gruesos o en suspensión, estas tienen aberturas (separación entre barras) superiores a 1/2 pulgada

(12.5mm). En los procesos de tratamiento del agua residual, las rejillas se utilizan para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra posibles daños o obturaciones ocasionados por objetos de gran tamaño como trapos y palos. De acuerdo con el método de limpieza, las rejillas y tamices se clasifican como de limpieza manual o de limpieza mecánica, los sólidos removidos por las rejillas se colocan sobre una bandeja perforada para su deshidratación.

### Desarenador

La remoción de material coloidal y en suspensión del agua residual mediante separación por gravedad constituye una de las operaciones unitarias de tratamiento más ampliamente usada.

La sedimentación se usa para la remoción de arenas en unidades de pretratamiento con base en la concentración de partículas y la tendencia de éstas a interactuar entre sí, se pueden presentar cuatro clases de sedimentación 1) sedimentación de partículas discretas, 2) sedimentación de partículas floculentas, 3) sedimentación interferida o zonal, y 4) sedimentación por compresión. Dada la importancia de las operaciones de separación en el tratamiento de aguas residuales, los desarenadores se emplean para la sedimentación de partículas discretas.

### Sedimentación de partículas discretas (tipo 1)

Se refiere a la sedimentación por gravedad de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos en un campo de aceleración constante. Las partículas sedimentan como entidades individuales, y no hay interferencia significativa con las partículas vecinas.

Reactor anaerobio de flujo ascendente.

El reactor anaerobio de flujo ascendente RAFA es un tanque de forma rectangular, cerrado con una losa superior la cual no permite la entrada de aire para que se

desarrolle el proceso anaerobio; este tanque recibe el agua a través de un canal instalado en la losa superior y posteriormente es derramada en un canal de distribución de agua, que en el fondo cuenta con tubos para la alimentación del reactor; los tubos distribuyen el agua en forma uniforme en el fondo del reactor y a partir de este punto el agua asciende para pasar a través del manto de lodos anaerobios los cuales realizan la descomposición de los contaminantes. En la parte superior al centro y a lo largo del lado mayor se tiene la zona de recolección de agua tratada, y en la parte superior de esta zona se cuenta con una canaleta de recolección de agua tratada, la cual conduce el agua a la caja de salida de agua para así alimentar a la siguiente unidad de tratamiento. Es importante hacer notar que el nivel del agua en la canaleta de recolección de agua, es superior al nivel de la entrada de agua al tubo de distribución, esto es para garantizar que el aire no entre al tanque y descompensar el proceso anaerobio del sistema.

Por debajo de la canaleta de recolección de agua tratada se tienen dos losas inclinadas que funcionan como separadores del biogás producido y que este se desvíe hacia las cámaras de gas, y sean captadas por la tubería de gas para ser llevados a los quemadores de gas. Las canaletas están dispuestas de tal forma que se tienen dos cámaras de recolección de gas, una cada lado de la zona de recolección de agua tratada.

Cuando la cantidad de lodo anaerobio en el reactor sea alto, el reactor cuenta con una tubería para la eliminación de lodos, los cuales serán enviados a los lechos de secado.

Para el control en el desarrollo de los lodos biológicos, el reactor cuenta con seis tuberías para toma de muestras instaladas a diferentes niveles del reactor; con la finalidad de tomar muestras en cada uno de ellos y evaluar con esto el comportamiento en el desarrollo del tratamiento del agua.

## Filtro percolador o biológico

Los filtros son unidades de tratamiento biológico, que toman parte en tratamiento con biopelícula fija, representan tanques de concreto con forma circular o rectangular; en el presente proyecto son de forma rectangular, dentro del filtro se coloca material filtrante (grava), donde se forma la biopelícula, predominante con desarrollo de microorganismos aerobios.

El desarrollo de los microorganismos se basa de la materia orgánica que contiene el agua residual y oxígeno que se obtiene del aire, el cual está circulando en el material filtrante (circulación natural de aire).

Otros componentes que integran el filtro, además del tanque y el material filtrante son el sistema de distribución del flujo colocados en la parte superior del filtro, orificios para entrada de aire en la parte baja del filtro y espacio formado con fondo falso y sistema de canales para captación del agua residual tratada y de estos el flujo va al sedimentador secundario.

Los filtros propuestos son diseñados con carga media sin recirculación de flujo con objeto de evitar los altos costos de bombeo y mantener los gastos de operación y mantenimiento de un mínimo posible, tomando en cuenta las serias limitaciones financieras de las localidades rurales en el estado.

## Sedimentador secundario

El sedimentador secundario de la planta es de tipo vertical, tiene forma cilíndrica con canaleta perimetral para la salida del flujo construida fuera de la estructura principal.

Verticalmente el sedimentador tiene una parte recta (de agua) y otra cónica, donde se acumulan los lodos.

El flujo de agua que proviene del filtro entra al sedimentador secundario por medio de la tubería central (soldada al puente metálico donde se soporta), se tiene separación del agua y de lodos dentro del sedimentador secundario. El agua se dirige arriba y a través de un vertedor perimetral entra a la canaleta perimetral, de donde se dirige al tanque de contacto de cloro. Los lodos por gravedad se acumulan en la parte baja (la parte cónica) del sedimentador secundario, su salida está prevista por medio de tubería de acero de 8" utilizando la presión hidroestática de 1.5m, el control de la salida de los lodos se realizará por medio de una válvula, la válvula mencionada esta normalmente cerrada, se abre solo una vez al día para enviar los lodos a los lechos desecado.

El control de las natas se realiza por medio de las mamparas de madera y su retiro se hará manualmente y las natas se envían al sitio de relleno sanitario.

Respecto el control de funcionamiento este se logrará a través de la revisión de la carga hidráulica superficial y tiempos de retención hidráulicos en el sedimentador secundario, las eficiencias de remoción de sólidos y DBO5 en el sistema global, y la concentración del lodo purgado.

#### Lagunas wetland o humedales

Se definen a las lagunas wetland a partir del este vocablo ingles que significa tierra húmeda, por lo tanto se refiere a aquellas zonas naturales que se mantienen húmedas o inundadas casi todo el año, en donde se reproducen diferentes tipos de vegetación, que mediante complejos procesos físico-químicos y biológicos mantienen el equilibrio ecológico, y cuya capacidad intrínseca para remover los contaminantes del agua por lo que los convierte en un sistema de tratamiento

alterno de aguas residuales. Para el desarrollo de este tipo de tratamientos se tienen las lagunas artificiales que son las que se emplearon en el presente proyecto.

Estas lagunas también se le conocen como lechos de hidrófitas y se consideró el tipo de flujo superficial, estas consisten en canales con un suelo relativamente impermeable, empacados con grava como medio de soporte para las raíces de las plantas emergentes. El nivel del agua se mantiene entre 2 y 5 cm por debajo de la superficie.

Los elementos principales de este sistema son el sustrato y las plantas.

El sustrato, como ya se indicó, provee el soporte a las plantas y además la superficie para que los microorganismos sean capaces de reducir anóxicamente los contaminantes orgánicos en dióxido de carbono, metano y nuevos microorganismos, también actúa como simple filtro para la retención de sólidos suspendidos y como generador de sólidos orgánicos, los cuales a su vez son degradados y estabilizados en un determinado tiempo dentro del lecho, de tal manera que el nivel de sólidos suspendidos en el efluente es generalmente bajo.

Las planta hidrófitas remueven los contaminantes mediante asimilación directa dentro de sus tejidos y proporcionan un medio ambiente adecuado para la actividad microbiana a través del transporte de oxígeno a la rizófera, por lo que estimula la degradación aeróbica de la materia orgánica y el crecimiento de las bacterias nitrificantes.. Además estabilizan la conductividad hidráulica del suelo, en donde el fósforo y los metales pesados se depositan.

Tanque de contacto de cloro

El sistema de cloración sirve para desinfectar el agua tratada, en este caso se utilizará cloro líquido, el cual se depositará en un tanque de plástico para ser

dosificado directamente al tanque de contacto de cloro, este depósito es un tanque de concreto, el cual tiene un tiempo de retención de 30 minutos, que es el tiempo requerido para que este elemento realice la función de desinfección.

## V. MATERIAL Y MÉTODOS

### VI.1. Área de estudio.

La realización de este inventario está dirigido a los municipios Álvaro Obregón, Chucandiro, Copandaro, Cuitzeo, Huandacareo, Santa Ana Maya y Zinapécuaro (ver figura 2).



Figura 2.- Área de estudio.

### Caracterización del Agua Residual.

La caracterización implicó la realización de un muestreo que garantizara una apropiada representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio, de acuerdo a las normas que aseguren una precisión y exactitud en los resultados. Lo que supuso un estricto cuidado en el tipo y número de muestras y parámetros a analizar.

La caracterización se realizó tomando en cuenta los siguientes procedimientos:

- Localización e identificaron los sitios representativos de la calidad del agua, iniciando un análisis de la entrada y descarga del sistema de tratamiento.
- Selección de los parámetros para llevar a cabo en la evaluación, realizando un recorrido de campo para identificar cada sitio, tomado mediciones de campo y muestras.

Debido a la disponibilidad para los análisis y del objetivo a seguir, las muestras se dividieron en muestras puntuales, debido a que el flujo de agua residual no era continuo y el parámetro a analizar puede cambiar significativamente durante el periodo de muestreo.

Estimación del gasto.

El caudal es uno de los parámetros más importantes a ser medidos del agua residual, ya que permite conocer la cantidad de agua que ingresa al sistema de tratamiento.

Para la determinación del caudal se utilizaron dos tipos de medición; volumen vs tiempo y canales abiertos, la cual consistió en la instalación de un dispositivo hidráulico (vertedero triangular).

## **VI. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.**

### **VI.1. Resultados de campo.**

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos del inventario de las plantas de tratamiento localizadas en los 13 municipios pertenecientes a la Cuenca del Lago de Cuitzeo, así como el tipo de tratamiento, y gasto de operación.

Municipio	Planta	Capacidad de tratamiento (lps)	Tipo de tratamiento	Gasto medio	Estatus
Cuitzeo	Cuitzeo	20	Humedal	8.5	En Operación
	Dr. Miguel Silva	1.0	Fosa de Oxidación	1.0	En Operación
	Cuaracurio	2.0	Filtros biológicos	1.0	En Operación
Copandaro	Copandaro	10.0	Dual, película biológica en medio suspendido (tanque de aireación) y en medio fijo (Biocontactores).	0.0	Inconclusa
	Santa Rita	1.9	Rafa o Wasb	4.6	En Operación
	Rosa de Castilla	2.0	Rafa o Wasb	0.2	En Operación
Charo	Charo	10.0	Dual: Película biológica en medio suspendido y en medio fijo	0.0	Fuera de Operación
Chucándiro	El Salitre	3.0	Rafa o Wasb	2.0	Fuera de Operación
	San Sebastián	1.0	Bioenzimático	0.0	Fuera de Operación
Huandacareo	Huandacareo	15	Bioenzimático	0.0	Fuera de Operación
	Tupatarillo	1.0	Batería de fosas sépticas en serie	0.5	En Operación
Indaparapeo	Indaparapeo	9.0	Sistema Lagunar	0.0	Fuera de Operación
Morelia	Apataneo	1200	Biológico Aerobio (Lodos activados)	1095.80	En Operación
	Itzicuaros	210	Biológico Aerobio (Lodos activados)	94.8	En Operación
	Cuto de la Esperanza	7.0	Biológico Anaerobio (RAFAS)	3.5	En Operación
	Ignacio Zaragoza	7.0	Biológico Anaerobio (RAFAS)	2.0	En Operación
	San Miguel del Monte	3.0	Biológico Anaerobio (RAFAS)	1.0	En Operación
	Villa Magna	8.5	Tratamiento Primario Avanzado (Fisicoquímico)	8.5	En Operación
	Arko San Antonio	18.0	Tratamiento Primario Avanzado (Fisicoquímico)	10	En Operación
	Lomas de la Maestranza	18.0	Tratamiento Primario Avanzado (Fisicoquímico)	9.0	En Operación
Santa Ana Maya	La Ladera	1.0	Fosa de Oxidación	0.4	En Operación
	Col. Buena Vista	1.0	Laguna de Oxidación	0.3	En Operación
	San Rafael	3.0	Fosa de Oxidación	1.5	En Operación
	Santa Ana Maya	15	Bioenzimático	0	Inconclusa
Álvaro Obregón	Chehuayo	1.0	Anaerobia seguida por un humedal	0.9	En Operación
Tarimbaro	El Trébol	4.0	Discos Biológicos Rotatorios	0.0	Fuera de Operación
	Metrópolis II	18.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación

	Valle Real	7.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	Santa Fe	5.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	Paseos del Valle	4.0	aireación extendida modificada	0.0	Fuera de Operación
	Campestre Tarimbaro	15.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	Terranova I	2.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	Terranova II	4.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	San Jose de la Palma	5.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	Rinconada los Sauces	12.0	Lodos activados, aireación extendida	5.0	Fuera de Operación
	Hacienda el Encanto	7.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	San Bernabé de la Cantera	13.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
	Galaxia Tarimbaro	12.0	Lodos activados, aireación extendida	0.0	Fuera de Operación
Zinapécuaro	Zinapécuaro	35.0	Filtros Rociadores	15	Fuera de Operación

Tabla 4.- Relación de plantas de tratamiento localizadas en la cuenca.

Como se puede apreciar en la tabla anterior se localizaron 39 plantas de tratamiento, con una capacidad de instalada de 1711.4 lps de los cuales 1263.5 lps reciben tratamiento, es decir que se está trabajando al 72.8 % de la capacidad instalada, propiciado principalmente por la operación y funcionamiento de las Plantas de tratamiento de la Ciudad de Morelia.

Debido a la preocupación que se ha tenido en los últimos años por el saneamiento y depuración de las aguas residuales en pequeñas poblaciones, este problema adquiere un matiz diferente, ya que se tiene que hacer frente a una serie de obstáculos que se dan en otros contextos.

Por lo anterior a continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de los 16 sistemas de tratamiento ubicados en la reviera del Lago de Cuitzeo.

## Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Cuitzeo.

El Humedal de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Cuitzeo, se localiza a 1.7 km en dirección Oeste de la entrada principal de Cuitzeo y al final de la Calle Los Pinos; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $19^{\circ} 57' 54.16''$ ; longitud  $101^{\circ} 09' 28.13''$ ; con una elevación de 1839 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 20 lps, tratando un gasto de 8.5 lps.

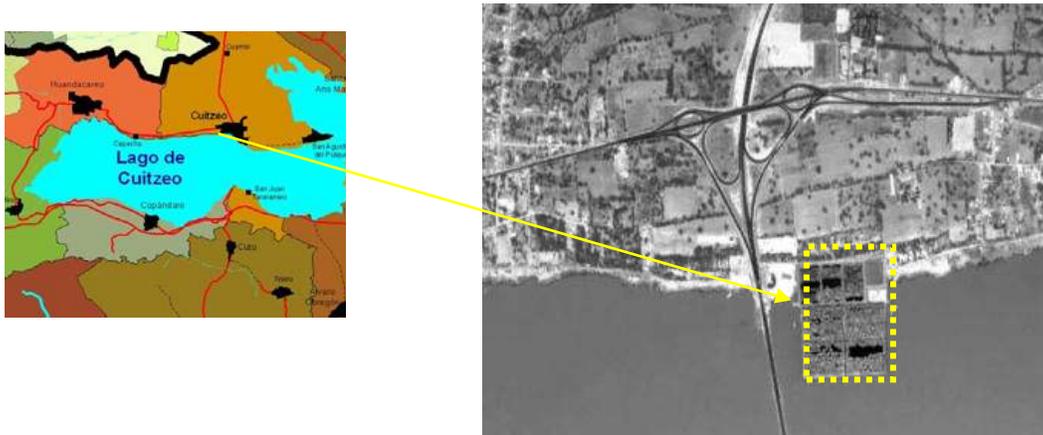


Figura 3.- Localización de la PTAR de Cuitzeo.

El proceso de tratamiento consta de un Humedal de tratamiento conformado por: pretratamiento, clarificador, celda de lodos y celdas de Purificación.



Figura 4.- PTAR de Cuitzeo

Descripción del proceso: Las aguas residuales generadas en la cabecera municipal de Cuitzeo, llegan inicialmente a la unidad de pretratamiento, que consiste en un

tanque de recepción en donde se retienen cuerpos extraños o sólidos gruesos (basura, ramas, ropa, madera, etc), que son llevados por el afluente y que pueden dañar u/o alterar posteriormente el proceso de tratamiento, estos sólidos son removidos del agua residual mediante un sistema de rejillas saca basura de barras de acero de operación manual de cribado fino y grueso.

Posteriormente el agua residual se hace pasar a través de dos estructuras paralelas (desarenadores en canal de flujo horizontal) diseñada para retener o separar material inorgánico por sedimentación como arena u otros material pesado presente en las aguas residuales, a través de una velocidad controlada o reducida del agua y de las turbulencias, permitiendo así que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo de una canaleta, de donde es retirado de forma manual y de manera alternada periódicamente.

Después del pretratamiento el agua residual pasa al Cárcamo de Bombeo; el cual consiste en dos tanques de concreto conocidos como Cárcamo Norte y Cárcamo Sur, en este último cárcamo llegan tres descargas de aguas municipales y la proveniente del cárcamo Norte, los cárcamos cuentan con 2 bombas sumergibles inatascables de 10 hp cada una, con capacidad para bombear a hasta 32 lps por bomba. En esta etapa se le proporciona al agua la carga hidráulica suficiente para que fluya con gravedad durante el resto del proceso de tratamiento.

Las aguas que provienen del cárcamo de bombeo entran a un tanque clarificador rectangular con 2 secciones con 3 conos de sedimentación, cada uno de los cuales permiten la precipitación y la separación de los sólidos suspendidos de mayor tamaño en el agua; en este clarificador se asume remociones de  $DBO_5$  y SST de aproximadamente 35% y 68%, respectivamente. El efluente del clarificador es enviado a las celdas de lodos. Dado que la contaminación del agua residual en este punto es en gran medida por la presencia de compuestos orgánicos, es obligado el uso de la sedimentación, conocida como clarificación primaria, debido a

que tiene un tiempo de reacción relativamente corto. En este dispositivo el agua se divide en dos corrientes de tratamiento; la corriente que sale por la parte inferior del tanque (abundante en sólidos) a través de un lecho fluido creado en el fondo por los sólidos sedimentables, que se envía a la celda de lodos y la superior agua clarificada y baja en sólidos que asciende a través del lecho fluido hacia la superficie, siendo evacuada por medio de un canal a la celda de lodos.

Posteriormente en la celda de lodos se realiza el tratamiento de los sólidos sedimentables de la corriente rica de lodos que proviene del Clarificador y tres celdas purificadoras de flujo superficial que son la parte central del proceso de purificación de las aguas residuales de la planta de tratamiento. La alimentación de las celdas se realiza mediante un sistema de tubos vertedores verticales tipo sifón, los cuales desalojan de manera uniforme en la superficie de la celda la corriente espesa rica en sólidos proveniente de la parte inferior del clarificador, los sólidos se vierten en la superficie donde se convierten en suelo apto para la vegetación. La Celda de lodos recibe los sólidos del Clarificador, y opera en secciones, controladas cada una de ellas con una válvula para la recepción de los sólidos, en cada sección se tienen dos líneas con vertedores, por medio de estos vertedores se vierten los lodos sobre la cama de arena de la celda, donde se quedan los sólidos para ser convertidos por el proceso microbial y por los elementos en suelo, el cual a su vez es consumido por las plantas pantanales. El agua sin sólidos percola al fondo de la celda pasando por tres capas de sustrato: arena, grava pequeña y finalmente grava mediana, el agua en el fondo de la celda entra al tubo colector perforado, llevándola al registro de salida de donde se envía a través de un tubo a la Celda Purificadora para continuar con su tratamiento.

Las celdas de Purificación son la base central del proceso de purificación de las aguas residuales, constan de una vegetación pantanal sembrada en lecho de suelo compactado que permanece semi-inundado con agua, que permiten mantener un flujo laminar del agua en su superficie para garantizar el tiempo de retención

hidráulico y logara la eliminación de los contaminantes. Este elemento recibe los líquidos de la celda de lodos en dos secciones de tubos perforados, ubicados en el fondo del canal de entrada. Al final del recorrido el agua llega al canal de salida que tiene en el fondo secciones de tubos perforados para la recolección del flujo, el cual es enviado al registro de salida donde por gravedad se vierte el agua al lago.

Observaciones: El humedal requiere una alta demanda de atención para limpieza de rejillas, desarenado y poda de en función de su ciclo vegetativo (p.e. carrizo cada diez meses) y la limpieza de la superficie del lecho filtrante después del corte. El cárcamo sur presenta problemas de operación en la temporada de lluvias ya que sufre de inundaciones frecuentes y por consiguiente se reportan fallas constantes en los equipos de bombeo. Los barandales y las cribas del clarificador presentan un alto grado de oxidación y daños severos. Faltan canaletas para la recolección de natas del Clarificador. La celda de purificación presenta el 60% de su superficie vegetativa (tular) seca, además de invasión de maleza y extensión de su propia vegetación en los canales de entrada, lagunas intermedias y canales de salida.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales Dr. Miguel Silva.**

El sistema de tratamiento de las aguas residuales de localidad Dr. Miguel Silva, se localiza a 3.5 Km en dirección Este de cabecera municipal de Cuitzeo y a 200 metros aguas debajo de la carretera Cuitzeo- Huandacareo; sus coordenadas geográficas son: Latitud 19° 57'55.16"; longitud 101° 10'22.28"; con una elevación de 1839 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 2.0 lps, trata actualmente un gasto de 0 lps.



Figura 5.- Localización del sistema de tratamiento Dr. Miguel Silva.

El sistema de tratamiento consta de una Fosa Oxidación, la cual puede ser considerada como un digestor convencional a escala reducida.



Figura 6.- PTAR Dr. Miguel Silva

Descripción del proceso: Las aguas residuales generadas en la comunidad vertidas en dos compartimentos rectangulares cerrados, donde se realiza el tratamiento de las aguas residuales, mediante un proceso de fermentación anaerobia, durante un periodo de 12 a 24 horas, produciéndose gas metano ( $\text{NH}_4$ ), bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y lodos.

En el primer compartimiento ocurre la mayor parte de los procesos de sedimentación y digestión., el agua residual que ingresa al primer compartimento presenta una gran cantidad de sólidos los cuales sedimentan formando una capa

de fango en la parte inferior, la materia orgánica retenida en la parte inferior del tanque sufre un proceso de descomposición anaerobia y facultativa, convirtiéndose a compuestos y gases más estables tales como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) metano ( $\text{CH}_4$ ) y sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

En el segundo compartimento o etapa de tratamiento, se lleva a cabo la formación de ácidos orgánicos volátiles como ácido acético, propionico y butírico, los cuales son producidos por las bacterias generadoras de ácidos. La generación de los gases ocurre una vez formado los ácidos, con una nueva categoría de bacterias que utiliza los ácidos para convertirlos finalmente en  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ., durante esta etapa los procesos de descomposición provocan que una parte de la materia sedimentada en el fondo del tanque sea arrastrada y la obliguen a subir, así como las grasas y demás materiales ligeros asciendan a la superficie, dando lugar a una capa de espumas formadas por acumulación de materia flotante, la cual contribuye a aumentar el grosor de la misma, permaneciendo así hasta que escapa el gas y vuelve a sedimentarse.

Observaciones: La fosa de oxidación, presenta un deterioro generalizado en su infraestructura, lo cual está repercutiendo en el tratamiento de las aguas residuales. El sistema además no cuenta con una unidad de pretratamiento previo al ingreso de las aguas residuales a la fosa. Para su limpieza y mantenimiento la fosa no cuenta con tapas removibles, en medio de la fosa se encuentra un árbol, el cual con sus raíces propicio la destrucción de la infraestructura de tratamiento. Se presta una gran cantidad de vegetación emergente a las márgenes de la infraestructura., las aguas residuales al no recibir tratamiento representa un foco de infección para las personas que viven cerca de la fosa debido a la proliferación de vectores.

## Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Cuaracurio.

La planta de tratamiento de aguas residuales, se localiza al sur de la comunidad de Cuaracurio y a 1.8 km en dirección este de la carretera Cuitzeo- Moroleón; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $19^{\circ} 54' 36.55''$ ; longitud  $101^{\circ} 15' 32.63''$  con una elevación de 1839 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 2.0 lps, tratando actualmente un gasto de 0 lps.



Figura 7.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Cuaracurio.

El sistema de tratamiento consta de una Filtros biológicos, integrada por los siguientes elementos: Cárcamo de bombeo, Desarenador, sedimentador y dos filtros biológicos.



Figura 8.- PTAR de Cuaracurio.

Descripción del proceso: En el sistema de tratamiento las aguas residuales son recolectadas en una estructura derivadora localizada a un costado del cárcamo de

bombeo con el objetivo de desviar los excedentes de agua y eliminar parte de la fracción mineral sólida presente en las aguas residuales.

Posteriormente el agua residual pasaría a la unidad de sedimentación construida de ladrillo y embebida en cemento, donde se depositan los materiales orgánicos a través de la acción de las bacterias, logrando transformar la materia orgánica en un lodo inofensivo. En este proceso de sedimentación se reduce de un 20 a un 40% la DBO<sub>5</sub> y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

Acto seguido las aguas residuales pasan a una estación de bombeo, donde se transferirían las aguas residuales hasta la unidad de pretratamiento, la cual cuenta con dos canales desarenadores en paralelo de flujo constante y limpieza manual, los cuales mantendrían una velocidad de paso fija, independiente del caudal que los cruzara, con lo que se lograba que sedimentara la mayor parte de las partículas de origen inorgánico como arena, grava y partículas minerales y la menor parte posible de las de origen orgánico (< 5% de materia orgánica), no putrescibles como; semillas, huesos, cascaras de frutas y huevos, etc.

El efluente proveniente de la unidad de sedimentación, alimentaba a dos 2 filtros anaerobios horizontales de paredes de concreto y relleno de material de piedras y arena alimentadas por el fondo, a través de una cámara difusa mediante una serie de tuberías perforadas que distribuían el agua, de forma homogénea sobre la superficie de los filtros. El agua que entra a través de esta cámara por entre los intersticios dejados por el material agregado, formado una biopelícula activa la cual degrada anaeróticamente una parte importante de la materia orgánica.

Los filtros están constituidos por espacios en los que se disponen una serie de capas filtrantes, cuya composición de arriba hacia abajo es: arena, gravilla y grava. La acción de depuración en los filtros se realizaba principalmente en la primera capa de los filtros, mientras que la función del resto de los estratos empleados se

limita a retener al inmediato superior. Los efluentes, tras su paso por la primera capa, pasan al fondo de los filtros mediante canales o tuberías de drenaje, para desalojar el agua residual tratada. La alternancia en el funcionamiento de los filtros, además de recuperar su capacidad de filtración, permitirá mantener el sustrato filtrante lo más oxigenado posible, favoreciendo la degradación aerobia de los contaminantes.

Observaciones: El sistema se encontró fuera de operación debido a problemas como; la falta del equipo de bombeo y mantenimiento del sistema. La fosa de sedimentación se encuentra azolvada y llena de basura. Los dos filtros biológicos se encuentran saturados, así como las tuberías de distribución. Las compuestas de la unidad de sedimentación se encuentran en mal estado por lo que habrá que sustituirlas y no cuenta con cerco perimetral.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Copandaro.**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la localidad de Copandaro, se localiza en la parte Norte de cabecera Municipal a una distancia aproximada de 650 metros hacia la parte norte de la Calle Galena; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $19^{\circ} 53' 55.97''$ ; longitud  $101^{\circ} 12' 44.96''$  con una elevación de 1838 m.s.n.m. La planta fue diseñada para tratar un caudal medio de 10 lps.



Figura 9.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Copandaro.

El proceso de tratamiento comprende un sistema del tipo Biocontactores.

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra inconclusa de acuerdo a la vista de campo realizada y por datos oficiales, presenta un avance del 50% en la obra civil, falta concluir, el clarificador, el lecho de secado de lodos, el equipamiento y el tanque de contacto de cloro.



PRETRATAMIENTO



TANQUE DE AIREACION



BIOTINAS



CLARIFICADOR



DIGESTOR DE LODOS

Figura 10.- Sistema de tratamiento PTAR de Copandaro.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Santa Rita.**

La planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Santa Rita de Casia, se ubica a 600 mts en dirección noroeste de la localidad y a 4.6 km de la cabecera municipal de Copandaro; sus coordenadas geográficas son; Latitud  $19^{\circ} 54' 36.54''$ ; longitud  $101^{\circ} 15' 32.65''$ , con una elevación de 1843 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 1.9 lps, tratando actualmente un gasto de 4.6 lps.

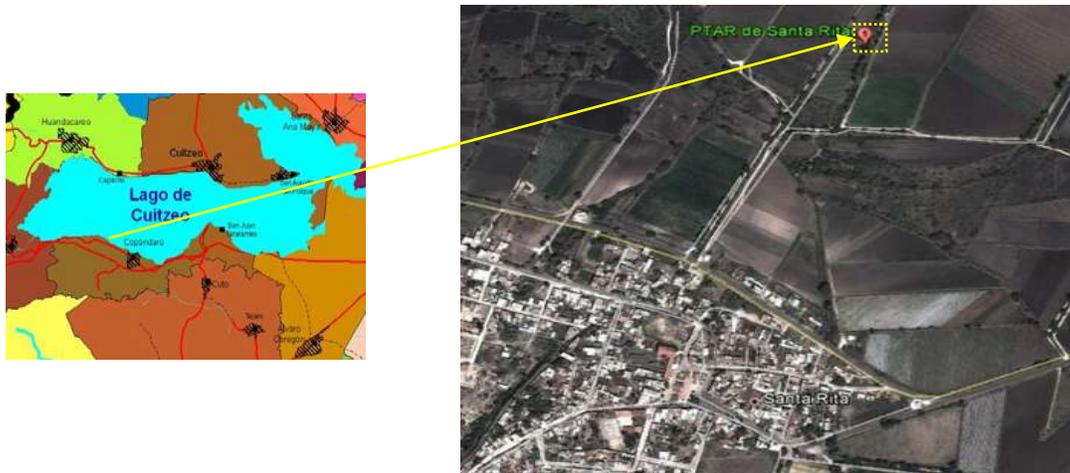


Figura 11.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Santa Rita.

El sistema consta de un proceso Rafa o Wasb, integrado por la siguiente secuencia de tratamiento: Pretratamiento, Reactor Anaerobio, Humedal, Lecho de secado y Tanque de contacto de cloro.



Figura 12.- PTAR de Santa Rita de Casia.

Descripción del proceso: En el sistema de tratamiento el agua residual ingresa a la planta a través de una unidad de pretratamiento, la cual, consta de dos canales

desarenadores paralelos con rejillas saca basura y vertedor proporcional de operación manual y alternada controlados por compuertas para regulación de la velocidad y medición de caudal.

Una vez eliminados los objetos pesados y arenas presentes en el agua residual proveniente de la unidad de pretratamiento, pasa a un Reactor Anaerobio provisto por dos cámaras, una de sedimentación y otra de digestión de lodos, a través de las tuberías situadas en su fondo y así posibilitar en flujo ascendente propiciando una sedimentación de sólidos muy alta. El reactor está provisto de un sistema de lodos en suspensión y flujo ascendente, en donde los lodos pasan de la parte inferior a la parte superior del reactor y cuya velocidad ascensional es tal que no permite la salida de lodos, acumulándolos en la parte intermedia del reactor y permitiendo el incremento de la biomasa, la sedimentación es llevada a cabo en la parte superior del tanque, genera en su parte inferior un manto de lodos con una concentración alta de sólidos. La alimentación del agua residual se realiza por la parte superior del tanque conduciendo el agua hasta el fondo a través de tuberías y el efluente tratado sale por el deflector de sólidos (parte superior) hacia la celda de purificación.

Una vez realizado el trabajo del Rector Anaerobio el flujo de agua semitratada es enviado a la Celda de Purificación que es la última etapa de tratamiento, mediante dos secciones de tubos perforados, ubicados en el fondo del canal de entrada. Esta celda es el elemento base del proceso de purificación de las aguas residuales y tiene un funcionamiento similar al de un pantano natural y en donde las plantas pantanales (tular), sanean el aguas que viaja entre ellas en forma capilar por medio de microorganismos presentes alrededor sus tallos. Al final del recorrido el agua llega a un canal de salida provisto por secciones de tubos perforados para la recolección del flujo, el cual es enviado al registro de salida donde por gravedad viaja al tanque de contacto de cloro.

Antes de terminar el proceso de tratamiento hay una etapa de cloración, donde se realizaba la eliminación de microorganismos patógenos de origen fecal presentes en el agua residual, como bacterias, protozoarios, helmintos y virus, por medio de la dosificación de cloro de manera automática de acuerdo a un tirante de flujo de agua para posteriormente ser descargada en el lago.

Observaciones: La planta se encuentra fuera de operación pero aun así siguen ingresando un gasto de 4.6 lps, que sobrepasa el gasto de diseño (1.9 lps). El sistema es totalmente manual y con alta demanda de atención para limpieza de rejillas y desarenado, no se cuenta con un operador que de atención a la planta, presenta una gran cantidad de proliferación de vegetación emergente dentro de las instalaciones además de vegetación muerta en la celda de purificación, producto de la falta de trabajos de mantenimiento, el tanque de contacto de cloro se encuentra fuera de operación.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Rosa de Castilla.**

Esta planta de tratamiento de aguas residuales, se localiza a 7.7 km al suroeste de la cabecera municipal de Copandaro; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $19^{\circ} 52' 39.14''$ ; longitud  $101^{\circ} 16' 46.34''$ , con una elevación de 2159 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal de 2.0 lps, tratando actualmente un gasto de 0.2 lps.

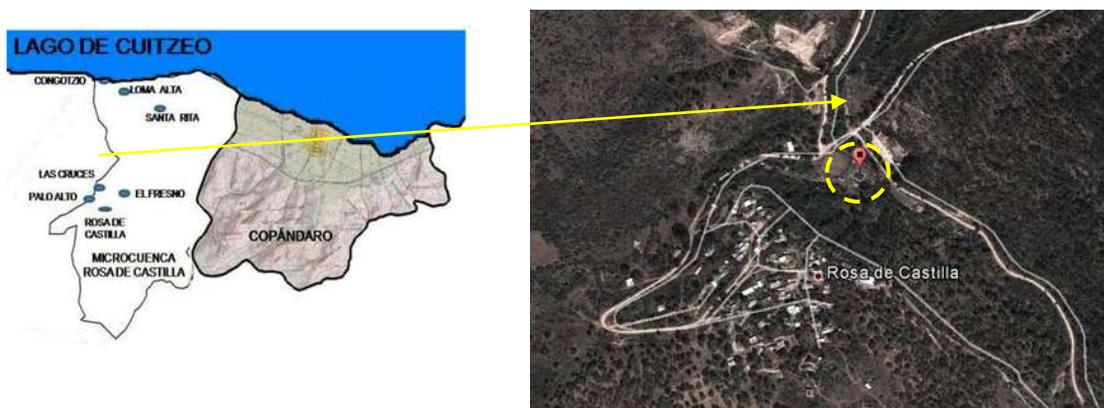


Figura 13.- Mapa de localización del sistema de tratamiento Rosa de Castilla.

El sistema de tratamiento es del tipo Rafa o Wasb, conformado por la siguiente secuencia de tratamiento: pretratamiento, reactor anaerobio, celdas de Purificación y tanque de contacto de cloro.



Figura 14.- PTAR de Rosa de Castilla.

Descripción del proceso: las aguas residuales generadas en la localidad de la Rosa de Castilla, ingresan a la unidad de pretratamiento, conformada por una estructura única que incluye dos canales controlados por compuertas, ambos canales contienen una cámara de rejillas saca basura de operación manual y un área de dos desarenadores paralelos con su vertedor proporcional, donde se separa el material inorgánico por sedimentación a través de una velocidad controlada permitiendo así que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo de donde es retirado de manera alternada.

Una vez que el agua pasó por la unidad de pretratamiento es canalizada a un clarificador, lugar donde se concentra la corriente rica en sólidos que sale por la parte inferior de este dispositivo, así como la corriente clara y baja en sólidos, que sale por la parte superior, en este punto, el agua se divide en dos corrientes de

tratamiento: la corriente inferior, abundante en sólidos que pasa a la celda de lodos y la corriente superior clarificada a las celdas de purificación.

Una vez realizada el trabajo del Reactor, este manda el agua semitratada para su última etapa de tratamiento a una celda purificadora a través de dos secciones de tubos perforados, ubicados en el fondo del canal de entrada, en la celda se tienen sembradas plantas pantanales, las cuales sanean el agua que viaja entre ellas en forma capilar por medio de microorganismos presentes alrededor sus tallos, al final del recorrido el agua llega al canal de salida el cual cuenta con secciones de tubos perforados para la recolección del flujo, de donde es enviado por gravedad a la laguna de maduración que es el proceso final del sistema de depuración, sustituyendo a la cloración, que suele ser el método más común de desinfección, además de su efecto desinfectante, en la laguna de maduración se eliminan las bacterias patógenas y de coliformes fecales en particular, la eliminación de patógenos depende ampliamente de la actividad de algas en sinergia con la foto-oxidación, producto de las condiciones climáticas temperatura, radiación solar factores que afectan directamente a la biología del sistema.

Observaciones: En términos generales la planta se encuentra en buen estado, pero operando muy por debajo de su capacidad de diseño, debido a que las aguas residuales generadas en la comunidad de Rosa de Castilla no son suficientes para que la planta pueda operar a su máxima capacidad.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales del Salitre.**

La planta de tratamiento se localiza a 600 mts en dirección noreste de la carretera Copandaro-Chucandiro; sus coordenadas geográficas son: Latitud 19° 54´ 19.60"; longitud 101° 18´ 19.93", con una elevación de 1843 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 3.0 lps, tratando actualmente un gasto de 2.0 lps.

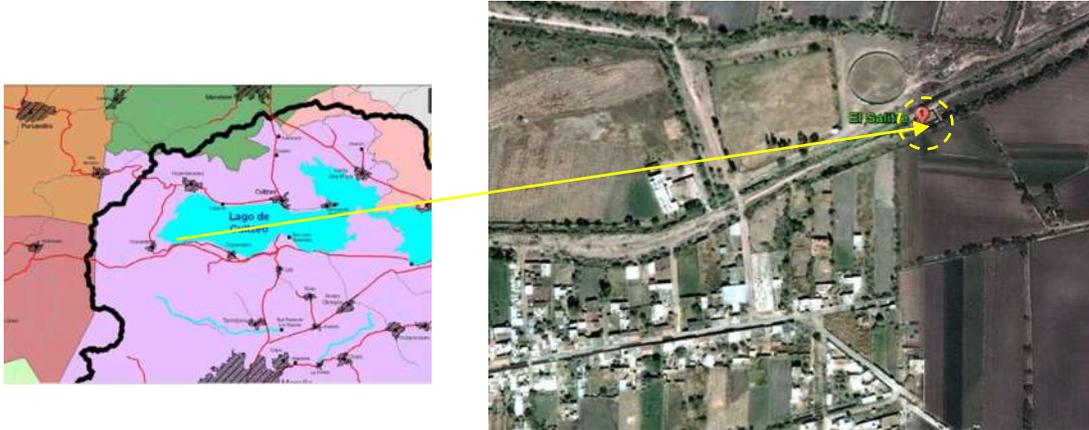


Figura 15.- Mapa de localización del sistema de tratamiento del Salitre.

Este sistema de tratamiento es del tipo Rafa o Wasb, conformada por la siguiente secuencia de tratamiento: pretratamiento, cárcamo de bombeo, Reactor anaerobio, lecho de secado, laguna de maduración y tanque de contacto de cloro.



Figura 16.- PTAR del Salitre.

Las aguas residuales son sometidas a un pretratamiento, conformado por dos canales en paralelo, cada uno con unidades de cribado grueso y fino mediante

rejillas de barras de hierro inclinadas de limpieza manual donde son retenidos los objetos llevados por el afluente (trapos, toallas sanitarias, pañales, envases de plástico, hojas de árbol, etc.), así mismo se cuenta con un sistema de desarenado en canal de flujo horizontal para la reducción de la velocidad del agua y de las turbulencias, permitiendo con ello que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo de los canales, de donde se retiraba de manera periódicamente.

Después de pasar el agua residual por la unidad de pretratamiento, esta es bombeada a través de dos bombas sumergibles a un reactor anaerobio en donde se distribuye el agua en el tanque para posteriormente ser circuladas en flujo ascendente a través de un lecho de lodos en donde los microorganismos se ponen en contacto con los sustratos a degradar de la corriente. El lecho de lodos se compone de microorganismos que naturalmente tienden a formar gránulos o floculos de fácil sedimentación permitiendo un buen contacto entre las partículas de materia orgánica y las bacterias, facilitando su digestión.

Posteriormente el efluente proveniente del reactor anaerobio pasa a una laguna de estabilización, a través de dos tuberías de 2" de materia pvc, distanciadas proporcionalmente. La laguna está conformada por taludes de tierra cubierta con geomembrana, la cual permite que las bacterias y algas absorban los nutrientes solubles y la energía solar para formar la biomasa inicial, además permitir el desarrollo de elementos consumidores primarios (protozoarios y hongos), que ayudan a la descomposición de esta biomasa. Los procesos que se desarrolla en la laguna son; estabilización aerobia de la materia orgánica con consumo de  $\text{CO}_2$ ; fotosíntesis, con formación de algas y producción de  $\text{O}_2$  y consumo de  $\text{CO}_2$ ; y remoción de bacterias y parásitos.

El efluente de la laguna de estabilización es vertido a un tanque de contacto de cloro a través de una tubería de PVC de 2", en esta unidad se realiza la

desinfección del agua tratada mediante la dosificación de hipoclorito de sodio, con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos de origen fecal e impedir la propagación de enfermedades infecciosas.

Observaciones: La planta de tratamiento, se encuentra fuera de operación debido a diversos factores como: falta de interés de las autoridades, fallas en los equipos de bombeo, geomembrana de la laguna de maduración rota en su mayoría, la tubería que descarga del reactor a la laguna de maduración se encuentra fracturada y no se tiene acceso restringido a la planta, lo que permite que las personas ajenas y el ganado puedan transitar por dentro de las instalaciones.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de San Sebastián.**

La planta de tratamiento de la localidad de San Sebastián, se encuentra ubicada en la periferia de la localidad del Salitre, sobre la margen izquierda de entrada a la localidad de San Sebastián; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $19^{\circ} 53' 40.43''$ ; longitud  $101^{\circ} 18' 26.87''$  con una elevación de 1861 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 1.0 lps, tratando actualmente se encuentra cancelada.

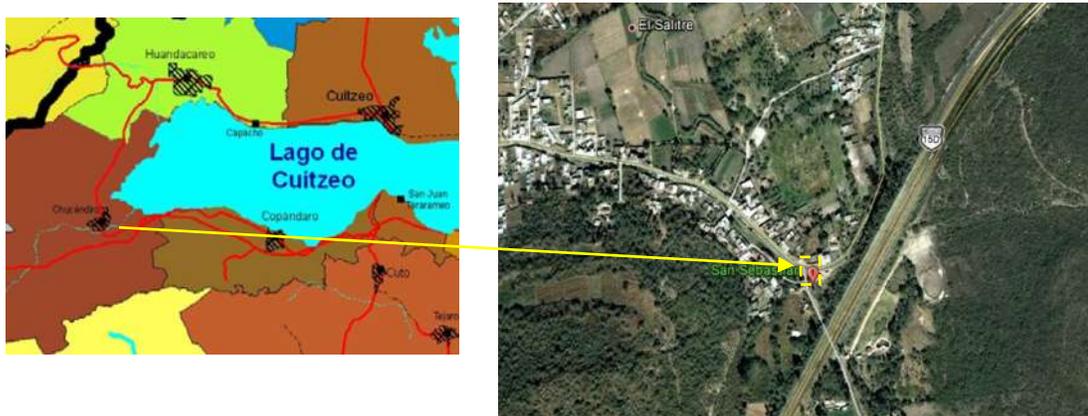


Figura 17.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de San Sebastián.

El sistema de tratamiento consta de un sistema Bioenzimático conformado por: una unidad de recolección, trampa de residuos flotantes (grasas, aceites y algunos sólidos no sedimentables), 5 tanques digestores verticales tipo Rotaplas, provistos de un lecho de inoculación, soporte y crecimiento de microorganismos.



Figura 18.- PTAR San Sebastián.

En este sistema de tratamiento, el agua residual ingresa a la unidad de recolección conformada por un depósito de plástico tipo Rotoplas, en el cual además de recolectar las aguas residuales, se disminuye la velocidad hidráulica permitiendo retener una pequeña fracción de los sólidos más pesados.

Una vez que el agua pasa por la unidad de recolección, esta es transportada a la unidad de trampa de flotantes, diseñada para la decantación y flotación de los sólidos sedimentables y flotantes, para posteriormente entrar por el fondo de 5 tanques plásticos y ascender a través de su medio de soporte hueco y flotante (trozos de manguera) en el que se permite la formación y desarrollo de bacterias encargadas de la descomposición de la materia orgánica contenida en el agua,

para finalizar vertiendo el agua residual tratada a un canal de tierra que desemboca en el lago.

Observaciones: El sistema de tratamiento, presenta un grave problema al situarse cerca de la fuente de abastecimiento de agua potable de la localidad y verter sus aguas a un canal adyacente a la fuente de abastecimiento representando con ello un gran riesgo para la salud de la población, así mismo se encuentran azolvados los Biodigestores, en tres tanques se presenta desbordamiento de agua residual por las tapas, aunado a que no cuenta con una unidad de pretratamiento como sistema de retención de sólidos gruesos (rejas de gruesos y finos), indispensables en el tratamiento de aguas residuales, por esta razón todos los sólidos de la corriente de agua propiciaron la saturación de los digestores por la gran cantidad de arenas y sólidos presentes en el agua residual, por lo que deberá incluirse la instalación de un sistema de separación de sólidos gruesos y un desarenador con el fin de concentrarlos así como las arenas decantadas en una zona específica donde se puedan extraer de una forma eficaz. Los lodos digeridos no son extraídos por lo que las válvulas de los tubos de extracción de lodos por desconocimiento de funcionamiento y mantenimiento del sistema, por último el tubo de descarga se encuentra ahogado en el canal de tierra y presenta acumulación de sedimentos.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Huandacareo.**

La planta de tratamiento de la localidad de Huandacareo, está localizada a 1.6 km aproximadamente de la cabecera municipal y al final de la calle 8 de enero situada a un costado de la carretera Cuitzeo- Huandacareo; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $19^{\circ} 58' 34.90''$ ; longitud  $101^{\circ} 16' 11.22''$ , con una elevación de 1839 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 15 lps, tratando actualmente un gasto de 0 lps.

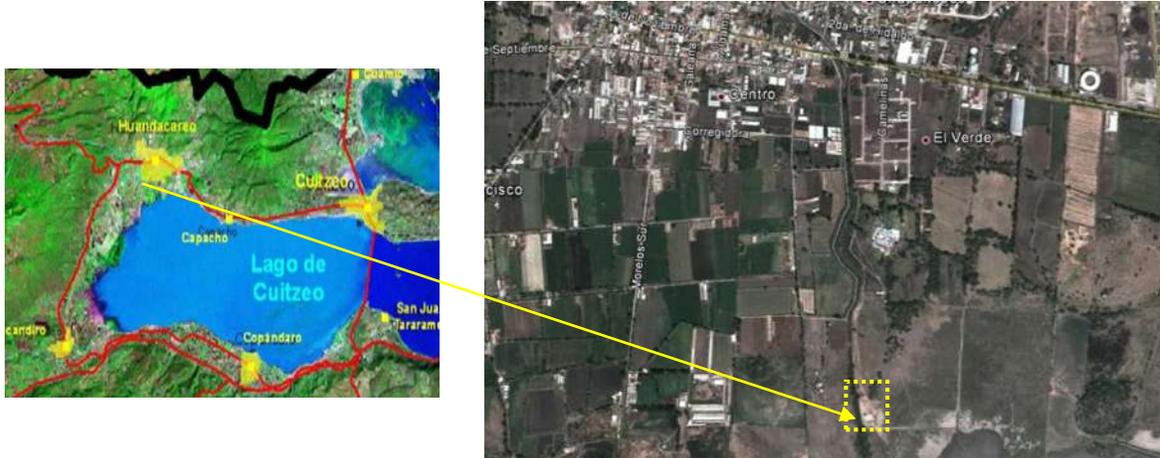


Figura 19.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Huandacareo.

La planta de tratamiento consta de un sistema Bioenzimático; integrado por cuatro fases de tratamiento: pretratamiento, 72 tanques Bioenzimáticos, tanque de filtración y tanque de contacto de cloro.



Figura 20.- PTAR de Huandacareo.

Descripción del proceso: El agua residual generada en la cabecera municipal, ingresaría inicialmente a la planta a través de una unidad de pretratamiento;

conformada por dos canales en paralelo, cada uno con cribado grueso y fino con rejillas de luz de paso de barras inclinadas de acero inoxidable.

Posterior al pretratamiento el agua residual ingresa a un sistema de desarenado en canal doble de flujo horizontal, y a un medidor de flujo conocido como canal Parshall el cual consta de cuatro partes principales; transición de entrada, sección convergente o Garganta y sección divergente.

Acto seguido el agua residual pasaría a un proceso anaerobio conformado por 72 biodigestores tipo Rotaplas, donde se realizaría la sedimentación y digestión anaerobia. En esta etapa las bacterias iniciarían el proceso de descomposición de la materia orgánica, luego una parte sube y pasa por el filtro en donde existen otras bacterias que terminan de descomponer la materia orgánica. Una parte se convierte en lodo y la otra parte es agua ya tratada que sale por la tubería de descarga hacia un campo de infiltración, donde finalmente se completa el proceso de descomposición.

Como etapa final de tratamiento se tiene considerado el empleo de una unidad de infiltración con carbón activado, el cual se emplearía para prevenir la contaminación del cuerpo receptor de agua o bien para obtener la calidad adecuada para el reusó.

Observaciones: La planta no está terminada debido a que el proyecto original para la construcción de la planta fue modificado y se ubicó en un predio diferente al contemplado en el proyecto, además se sustituyeron los reactores bioenzimáticos por depósitos marca rotoplas. Igualmente se requiere concluir la obra de demasías y un tramo del emisor, así como la caseta de cloración y la rehabilitación de los 72 biodigestores debido a que se encuentran azolvados. El tanque de filtración no cuenta con material filtrante, se propuso utilizar carbón activado pero se recomienda utilizar zeolitas para bajar los costos de operación de la planta.

## Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Tupatarillo.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tupatarillo, está localizada en la periferia de la localidad a 2.6 km al Noreste de la cabecera Municipal de Huandacareo; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $20^{\circ} 00' 09.64''$ ; longitud  $101^{\circ} 15' 06.92''$ , con una elevación de 1951 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 1.0 lps, tratando actualmente un gasto de 0.5 lps.

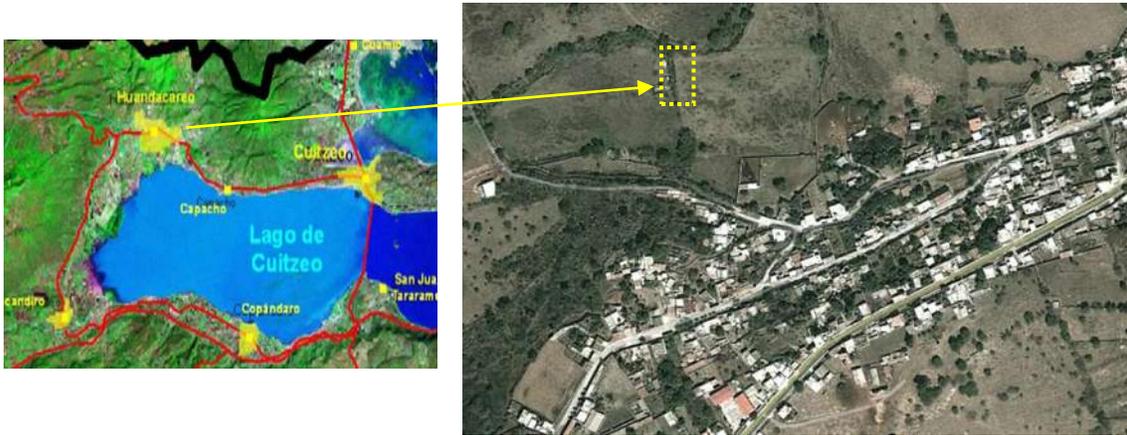


Figura 21.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Tupatarillo.

El sistema de tratamiento consta de un sistema de fosas sépticas en serie, conformado por las siguientes unidades: pretratamiento, cámara de digestión anaerobia y serpentín de cloración.



Figura 22.- PTAR de Tupatarillo.

Descripción del proceso: las aguas residuales generadas en la localidad de Tupatarillo, son sometidas a una serie de operaciones físicas las cuales se realizan en una unidad de pretratamiento; la cual que consta de dos canales desarenadores en paralelo con vertedor y controlados por compuertas, ambos canales se encuentran cerrados y cuentan además con rejillas saca basura de operación manual colocadas en la parte superior de los canales, en esta unidad son eliminadas todas aquellas partículas presentes en el agua residual como otros elementos de origen orgánico no putrescibles como semillas, huesos, cascaras de fruta y evitar que se produzcan sedimentos en los canales y líneas de conducción, así como evitar sobrecargas en las siguientes fases de tratamiento.

Posteriormente el agua entra a una cámara de decantación cubierta con tapas de concreto, en esta cámara se reduce la velocidad del agua residual proveniente de la unidad de pretratamiento provocando que los sólidos más densos decanten y se acumulen en el fondo y los sólidos de menor densidad (grasas y aceites) floten. De este modo, la cámara almacena los residuos sólidos, dando paso al efluente clarificado que paso a la cámara de digestión anaerobia, donde en ausencia de oxígeno, se produce un proceso biológico de degradación de la materia orgánica acumulada en lodos y espumas, disminuyendo la cantidad de sólidos y descomponiendo aproximadamente la mitad de los lodos convirtiéndolos en gas metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Observaciones: La planta de tratamiento, presenta problemas de mantenimiento ya que en el pretratamiento el material inorgánico y los sólidos grandes no son retirados con frecuencia acumulándose en las rejillas, lo que ha dificultado la llegada del agua residual al resto de la planta y la acumulación de malos olores producto de la anaerobiosis, igualmente el material orgánico recolectado no se deposita en la pila de secado si no es tirado a un costado de la planta. Además las atarjeas del último tramo del colector a la planta presentan taponamientos y desbordamiento por los registros.

## Planta de tratamiento de Aguas Residuales La Ladera.

La planta de tratamiento está localizada a 5.1km al sur de la cabecera municipal de Santa Ana Maya y a la margen izquierda de la carretera Huacao-La Ladera; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $20^{\circ} 03' 02.17''$ ; longitud  $101^{\circ} 00' 46.12''$  con una elevación de 1885 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 1.0 lps, tratando actualmente un gasto de 0.4 lps.

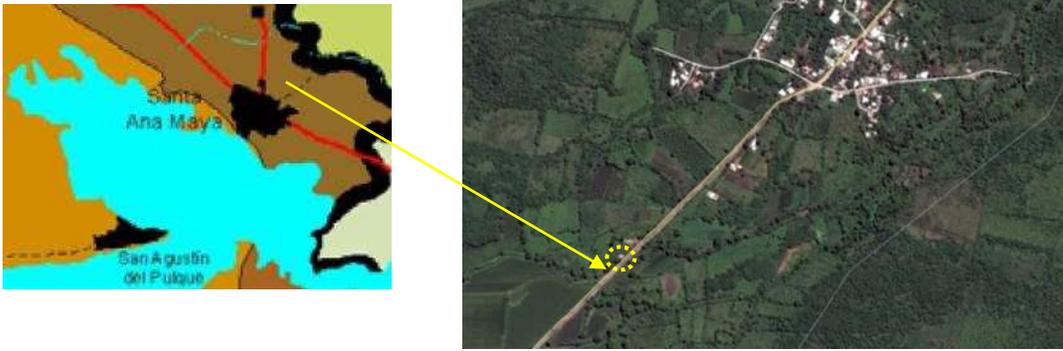


Figura 23.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de la Ladera.

El sistema de tratamiento de aguas residuales está conformado por un Tanque séptico.



Figura 24.-PTAR de la Ladera.

Descripción del proceso: El tanque séptico empleado para el tratamiento de las aguas residuales, es un dispositivo enterrado en donde decanta la materia

sedimentable presente en las aguas residuales. El sistema consta de una unidad de concreto con dos compartimentos en serie en donde se retienen las aguas residuales por un período mínimo de 24 horas. Al llegar el agua al primer compartimento, la mayor parte de los sólidos en suspensión, sedimentan sufriendo un proceso de digestión anaerobia en el fondo del tanque formando el lodo, mientras que los sólidos ligeros, como las grasas, permanecen en el tanque, formando una costra en la superficie del agua, mientras el efluente se lleva al filtro, donde ocurre su remoción, en condiciones anaerobias. El agua clarificada pasa al segundo compartimento a través de un orificio en la pared de separación. En este segundo compartimento tiene lugar también una sedimentación de sólidos y formación de costra, como consecuencia de los materiales que escapan de la etapa anterior, pero en menor importancia. Los lodos retenidos en los fondos de los compartimentos experimentan reacciones de degradación anaerobias, reduciendo su volumen, lo que permite que el tanque séptico funcione durante largos periodos de tiempo sin necesidad de purgar los lodos.

Observaciones: En la fosa de oxidación se presenta una gran cantidad de natas o costras en la superficie del agua residual proveniente del primer compartimento. La tapa de fierro del registro presenta un alto grado de corrosión y los lodos del tanque actualmente no se han extraído debido a la gran cantidad de sólidos que se pudo apreciar en la muestra de agua, lo cual a largo plazo puede reducir la capacidad volumétrica efectiva provocada por la acumulación de los lodos.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales Colonia Buena Vista.**

El sistema de tratamiento de aguas residuales, se localiza a 11.4 km al noroeste de la cabecera municipal de Santa Ana Maya, en las inmediaciones de un predio rustico de la localidad Col. Buena Vista; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $20^{\circ} 03' 48.01''$ ; longitud  $101^{\circ} 06' 33.84''$ , con una elevación de 1839 m.s.n.m. La laguna se diseñó para tratar un caudal medio de 1.0 lps, tratando actualmente un gasto de 0 lps.

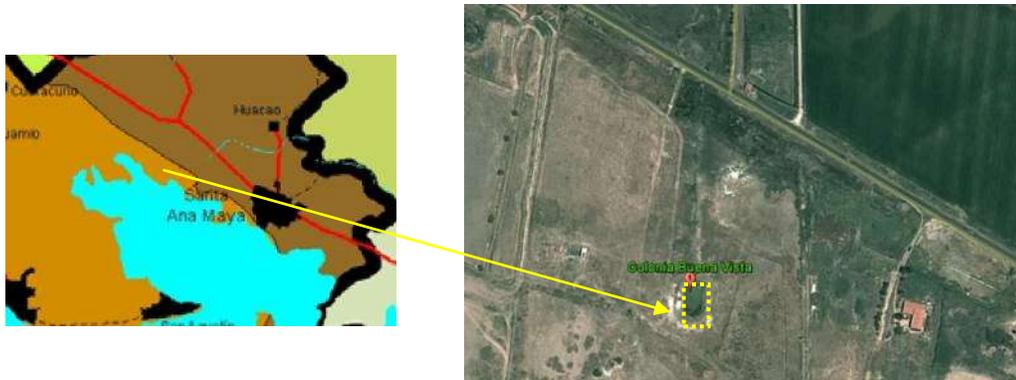


Figura 25.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de la Col. Buena Vista.

El sistema de tratamiento consiste en una laguna de oxidación.

Descripción del proceso: La laguna de oxidación consta de una excavación de poca profundidad circundada de taludes de tierra de forma rectangular y en la cual se realiza el tratamiento de las aguas residuales, a través del desarrollo de poblaciones microbianas compuestas por bacterias, algas y protozoos, que eliminan en forma natural, patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades gastrointestinales.

En este sistema se lleva a cabo la oxidación de la materia orgánica mediante una combinación de sedimentación, digestión y conversión de desechos orgánicos por bacterias y algas que actúan en forma simbiótica, con el objetivo de degradar la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos, en este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, que son utilizados por las algas en su crecimiento. La finalidad de las lagunas de estabilización es obtener un efluente de características definidas ( $DBO_5$ , DQO, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, algas y nutrientes) óptimo para el reusó agrícola o para simplemente ser descargado a cuerpo de agua del lago.

Observaciones: En el sistema de tratamiento, se pudo apreciar la proliferación de maleza acuática en los taludes así como una gran cantidad de algas macrófitas en la superficie lagunar las cuales son producto del exceso de nutrientes (N y P) cuyo crecimiento excesivo en la superficie restringe el intercambio de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) e impide el paso de la radiación solar necesaria para la fotosíntesis., presenta la ausencia de desarenadores que propiciaron la sobrecarga de la laguna, el equipo de bombeo que se utilizaba para descargar la laguna fue robado por lo actualmente no son extraídas las aguas residuales ni los lodos, vertiéndose las aguas residuales en un terreno a cielo abierto.



Figura 26.-Laguna de oxidación.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales San Rafael.**

El sistema de tratamiento, está localizado a 184 mts al norte de la comunidad de la localidad de San Rafael y sobre la margen derecha de la vía carretera que conduce a Santa Ana Maya; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $20^{\circ} 03' 02.17''$ ; longitud  $101^{\circ} 00' 46.12''$ , con una elevación de 1885 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 3.0 lps, tratando actualmente un gasto de 2.5 lps.

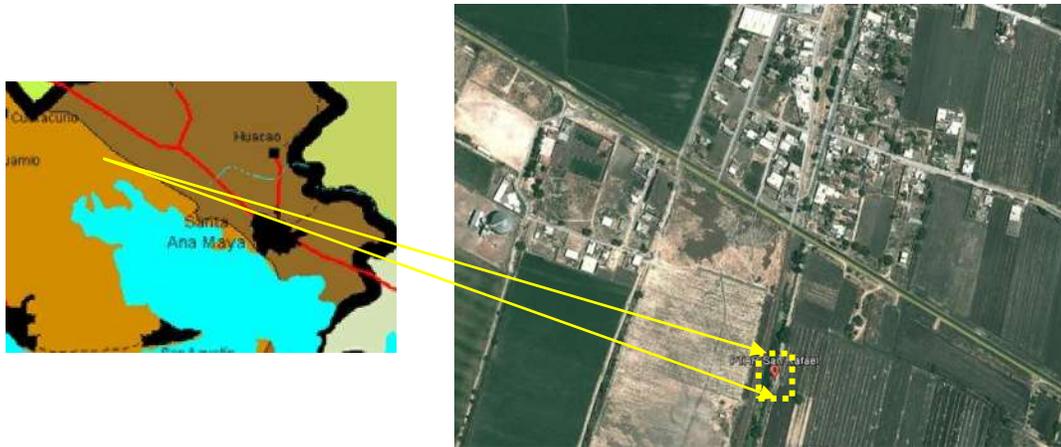


Figura 27.- Mapa de localización del sistema de tratamiento San Rafael.

El sistema de tratamiento está conformado por una fosa Séptica.

Descripción del proceso: La unidad de tratamiento está conformada por dos compartimentos de concreto, en el primer compartimento se produce la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos en suspensión del agua residual por gravedad de las partículas pesadas, el siguiente compartimento se lleva a cabo la oxidación y estabilización de la materia orgánica por acción de las bacterias anaerobias convirtiéndola en lodo inerte. El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto sobre todo de fibras provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual hace parte de la composición del papel higiénico, aunque estos materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que éstas últimas se acumulan, el sistema cuenta además con un bombeo que canaliza las aguas residuales tratadas a parcelas agrícolas.

Observaciones: En la fosa de oxidación se pudo apreciar la acumulación de natas y materia flotante en la parte superior el agua residual (grasas y aceites), producto de la falta de mantenimiento. Los lodos residuales generados en la fosa, no han sido extraídos para su deshidratación, tampoco desactivados con cal ni dispuestos en un sitio de confinamiento. Como el efluente es anaerobio y contiene un elevado

número de agentes patógenos que son una fuente potencial de infección, se recomienda no usar el agua para regar cultivos.



Figura 28.-PTAR San Rafael.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Santa Ana Maya.**

La planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Santa Ana Maya, está localizado a 1.2 kilómetros en dirección noroeste de la cabecera municipal y al final de la calle Arriaga; sus coordenadas geográficas son: Latitud  $19^{\circ} 53' 49.33''$ ; longitud  $101^{\circ} 01' 36.42''$ , con una elevación de 1838 m.s.n.m. La planta está diseñada para tratar un caudal medio de 15 lps a través de un sistema Bioenzimático, tratando actualmente un gasto de 0 lps.



Figura 29.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Santa Ana Maya.

La planta de tratamiento se encuentra inconclusa, no opera y las metas constructivas no fueron alcanzadas, situación que ha generado un grave foco de contaminación al medio ambiente aunado a que la infraestructura de tratamiento fue convertida en una laguna de descargas de aguas residuales a cielo abierto, propiciando malos olores, proliferación de mosquitos, así como representar un riesgo mayor a la ecología y la salud de los habitantes de la zona principalmente, niños, mujeres y personas de la tercera.



**Pretratamiento**



**Ingreso de agua residual a la obra inconclusa**



**Reactores bioenzimáticos**



**Estructura para filtro de material graduado**



**Restos de organismos en la obra Abandonada**



**Acceso sin restricción**

Figura 30.- PTAR de Santa Ana Maya.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Chehuayo.**

La planta de tratamiento de aguas residuales se ubica a 8.2 km en dirección NE de la cabecera municipal de Álvaro Obregón; sus coordenadas geográficas son: Latitud 19° 53' 53.81"; longitud 101° 03' 54.40"; con una elevación de 1842 m.s.n.m. La planta se diseñó para tratar un caudal medio de 1.0 lps, tratando actualmente un gasto de 0.8 lps.

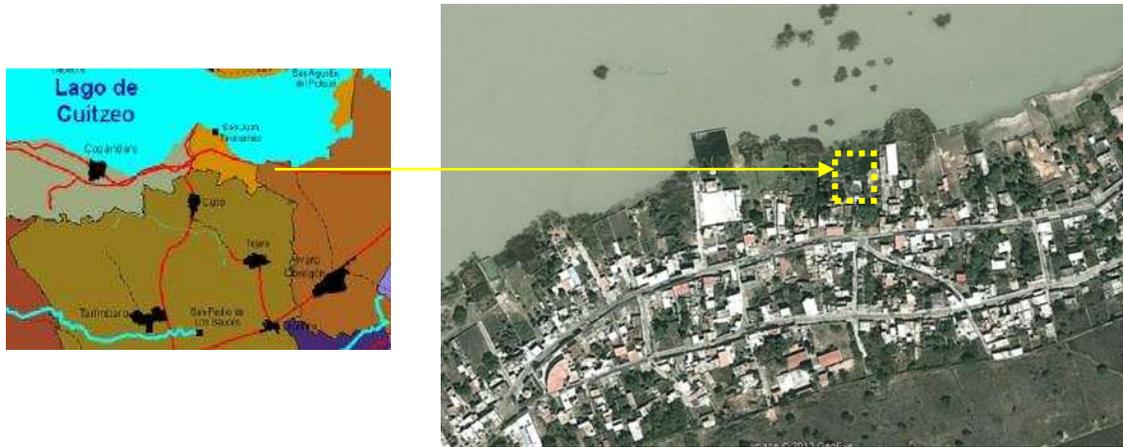


Figura 31.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Chehuayo Grande.

El sistema de tratamiento de agua residual, está basado en el tratamiento biológico que aprovecha la fuerza de gravedad y los procesos biológicos de distintas bacterias anaerobias para reducir la contaminación existente en las aguas residuales. Consta de las siguientes etapas de tratamiento: Pretratamiento, 6 biodigestores y 2 módulos de oxigenación (lirio acuático y tular).



Figura 32.- PTAR Chehuayo.

Descripción del sistema: El agua residual que proviene de los sistemas de alcantarillado de la comunidad, es colectada en un cárcamo de bombeo y en la unidad de pretratamiento la cual permite el ingreso del agua residual a las etapas posteriores de tratamiento. La unidad de pretratamiento está compuesta por dos estructuras de regulación en paralelo conocidas como desarenadores los cuales operan a la vez; estos canales no cuentan con rejillas de fierro ni compuertas de seccionamiento.

El agua proveniente del pretratamiento entra a la unidad de sedimentación que consta de 6 biodigestores anaeróbicos, en donde se cultivan microorganismos que en ausencia de aire descomponen los materiales que contienen las aguas residuales.

Después del tratamiento anaerobio el efluente pasa a dos módulos de filtración, en el primer módulo el agua pasa a través de la vegetación de alrededor (lirio acuático), que actúa como filtros extrayendo los elementos contaminantes, luego se pasa al segundo módulo que actúa como filtro biofísico, compuesto por material pétreo, donde se inoculan los microorganismos aerobios, que en simbiosis con las plantas (tular), acaban de eliminar los contaminantes.

Observaciones: La planta se encuentra operando adecuadamente, se requiere la implementación de acciones inmediatas, como la rehabilitación de cárcamo y del equipo de bombeo, mantenimiento general del sistema y la colocación de un sistema de rejillas en el colector poniente que vierte directo al desarenador.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Zinapécuaro.**

La planta de tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Zinapécuaro, Mich; está ubicada a 3.1 km en dirección suroeste de la cabecera; sus coordenadas geográficas son: Latitud 19° 50'37.30"; longitud 100° 50'54.52"; con una

elevación de 1851 m.s.n.m. La planta está diseñada para tratar un caudal de 35 lps.

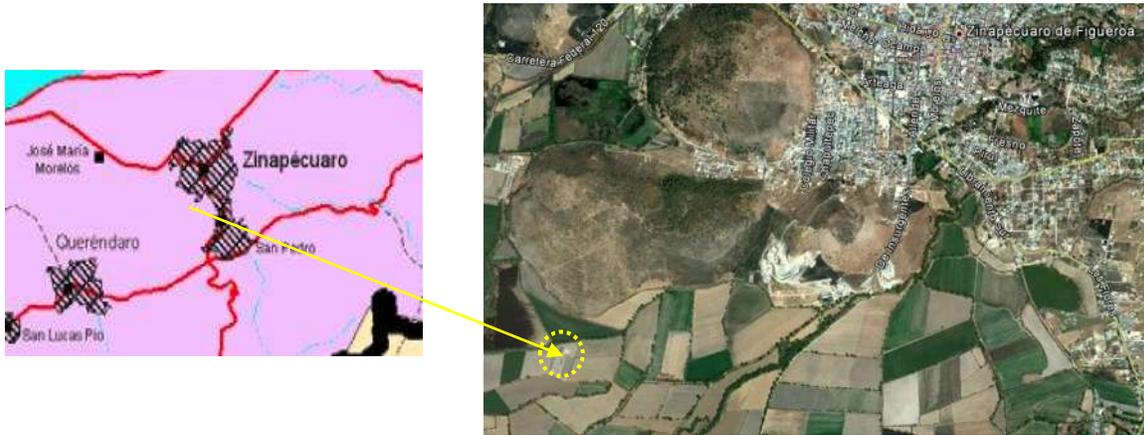


Figura 33.- Mapa de localización del sistema de tratamiento de Zinapécuaro.

La planta de tratamiento consta de proceso de tratamiento del tipo Filtros Rociadores; conformado por la siguiente secuencia de tratamiento: pretratamiento, cárcamo de bombeo, microtamiz, sedimentador primario, tanque de filtro rociador, tanque de transición y recirculación, sedimentador secundario, filtros a gravedad, tanque de cloración, digestor de lodos y lechos de secado de lodos

Descripción del sistema: el proceso de tratamiento en la planta iniciaría cuando las residuales sean recibidas en la unidad de pretratamiento, conformada por dos canales desarenadores en paralelo con un vertedor Parshall, ambos canales cuentan con una sistemas de rejillas saca basura de operación manual, donde se separa el material inorgánico por sedimentación a través de una velocidad controlada permitiendo así que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo de donde es retirado de manera alternada.

Una vez que el agua pasó por la unidad de pretratamiento es enviada a un filtro percolador de forma circular a través de una bomba sumergible. Esta es la etapa del proceso más importante donde se remueve la mayor parte de los contaminantes presentes en el agua residual. En el filtro el agua residual se

distribuye y se hace pasar a través de un lecho formado por un medio permeable y poroso al que se adhieren los organismos y a través del cual el agua fluye hacia abajo a través de la superficie del medio, una vez filtrada el agua sale por debajo del tanque para ser canalizada a un tanque de dosificación de cloro que es la última etapa del proceso de tratamiento

El drenado de los lodos es descargado a un lecho de secado en el cual serán deshidratados por medio de la evaporación y el drenaje inferior a su vez será recirculado a la entrada de la planta.

Observaciones: En el sistema se pudo apreciar un avanzado grado de anaerobiosis en el sedimentador primario, pobre flora bacteriana en el filtro percolador, alta formación de espumas (por presencia de detergentes) en las etapas de microfiltración, salida del filtro percolador, sedimentador secundario y en el canal de salida del agua tratada.



Figura 34.- PTAR de Zinapécuaro.

## VI.2. Análisis de los resultados de la medición de los parámetros de campo.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados de la lectura de los parámetros pH, temperatura y conductividad eléctrica.

PTAR	pH	Temperatura (°C)	Conductividad Eléctrica (µhom)
<b>Cuitzeo</b>	7.7	16.7	1360
<b>Cuarcurio</b>	7.9	27.2	155
<b>Dr. Miguel Silva</b>	7.5	26.5	1184
<b>Tupatarillo</b>	7.3	19.6	2230
<b>San Sebastián</b>	7.3	23.3	1163
<b>Santa Rita</b>	7.2	29.6	820
<b>Col. Buena Vista</b>	8.5	20.8	1115
<b>San Rafael</b>	7.3	23.0	1126
<b>La Ladera</b>	6.9	23.6	680

Tabla 5.- Resultados de las determinaciones realizadas en campo.

Potencial de Hidrogeno (pH).

Los valores de pH, obtenidos en las muestras de agua (tabla 5), oscilaron entre un valor máximo de 8.5 U (PTAR Col. Buena Vista) y un mínimo de 7.2 U (PTAR Santa Rita), concluyendo de manera general que el agua residual presenta características neutras. El pH es un factor muy importante en los procesos de transformación química y biológica, por lo tanto, es muy importante su seguimiento.

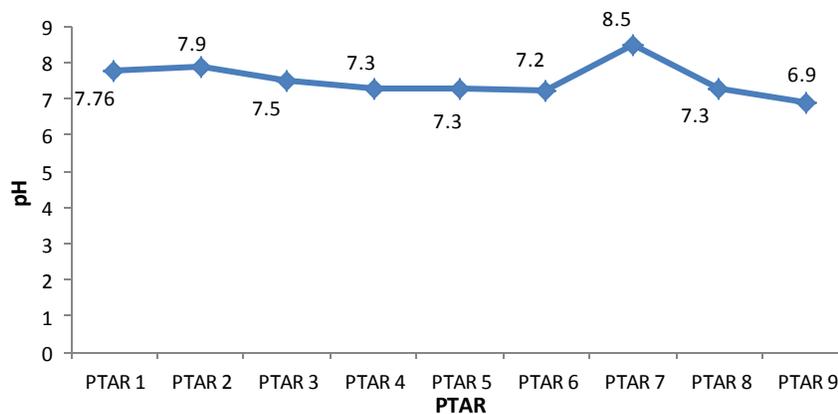


Figura 35.- Comportamiento del pH.

### Temperatura.

Los resultados obtenidos mostraron que las PTAR, evaluadas no mostraron ningún cambios significativo para este parámetro en los sistemas de tratamiento, encontrándose la temperatura más elevada en la PTAR de Santa Rita (29.6 °C) y las temperatura más baja en el Humedal de Cuitzeo (16.7 °C), situando los valores dentro de los Límites máximos permisibles por la NOM- 001-SEMARNAT-1996.

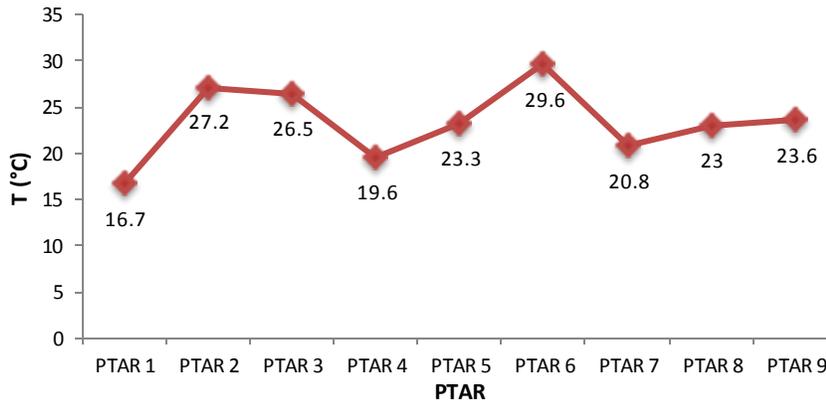


Figura 36.- Comportamiento de la Temperatura.

### Conductividad Eléctrica.

Las concentraciones de conductividad eléctrica en los efluentes de los sistemas de tratamiento oscilaron en un rango de 155  $\mu\text{homs/cm}$  obtenido en la PTAR de Cuaracurio y 2230  $\mu\text{homs/cm}$  presentado en la PTAR de Tupatarillo., la concentración de este parámetro está relacionada con la acumulación de sales que durante la operación de los sistemas se van obteniendo, restringiendo en algunos casos el uso del agua para fines agrícolas debido a la alta salinidad registrada  $>1200 \mu\text{homs/cm}$ .

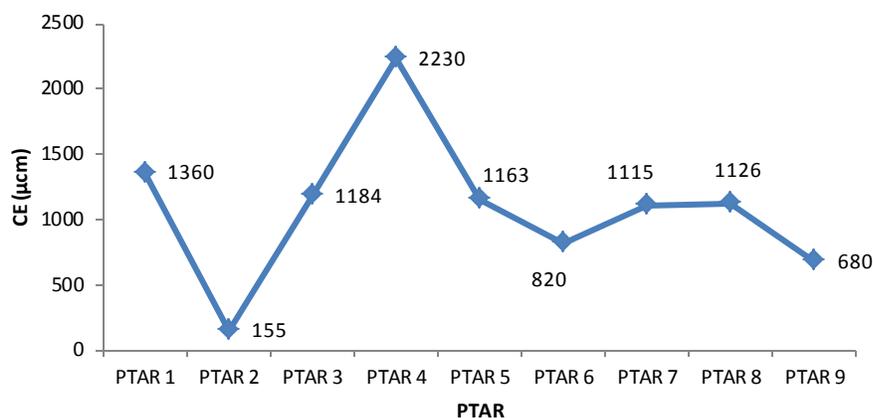


Figura 37.- Comportamiento de la conductividad eléctrica.

En las siguientes tablas se presentan los resultados de los parámetros evaluados en laboratorio y las eficiencias de remoción obtenidas en los sistemas de tratamiento:

PARÁMETROS	UNIDADES	Entrada PTAR Dr. Miguel Silva	Entrada PTAR Cuaracurio	Entrada PTAR Cuitzeo	Salida PTAR Cuitzeo	Límites Máximos Permisibles
pH	u	7.0	7.0	7.0	7.5	5-10
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	1980	1648	1368	1260	-
DQO	mg/l	200	200	150	133.3	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	140	130	95	<b>85</b>	60
C. FECALES	UFC/100ml	3.00E+07	2.00E+07	2.00E+07	8.50E+06	2.00E+03
S. SED	ml/l	12.0	0.2	0.1	1.5	2.0
ST	mg/l	1657	1303	1063	977	-
SST	mg/l	172	67	37	39	60
SDT	mg/l	1485	1236	1026	938	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	35.392	27.664	11.816	11.538	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.66	0.97	0.43	0.33	-

Tabla 6.- Resultados de los análisis fisicoquímico y bacteriológico (PTAR, Dr., Miguel Silva, Cuaracurio y Cuitzeo).

PARÁMETROS	UNIDADES	Entrada PTAR Tupatarillo	Salida PTAR Tupatarillo	Entrada PTAR San Sebastián	Entrada PTAR Santa Rita	Entrada PTAR Santa Rita	Límites Máximos Permisibles
pH	u	7.5	7.0	7.0	7.5	7.0	5-10
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	2300	2260	1663	850	796	-
DQO	mg/l	233.3	200	250	106.7	100	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	150	<b>120</b>	166.7	69	65	60
C. FECALES	UFC/100ml	3.00E+07	2.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	2.00E+07	2.00E+03
S. SED	ml/l	0.4	1.1	1.3	0.4	0.1	2.0
ST	mg/l	1850	1682	1337	642	661	-
SST	mg/l	18	57	87	24	46	60
SDT	mg/l	1832	1625	1250	618	615	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	11.592	10.976	6.606	10.416	9.872	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.85	0.57	0.63	0.55	0.55	-

Tabla 7.- Resultados de los análisis fisicoquímico y bacteriológico (PTAR, Tupatarillo, San Sebastián y Santa Rita).

PARÁMETROS	UNIDADES	Entrada PTAR Buena Vista	Entrada PTAR San Rafael	Salida PTAR San Rafael	Entrada PTAR La Ladera	Salida PTAR La Ladera	Límites Máximos Permisibles
pH	u	8.0	7.0	7.0	7.0	7.0	5-10
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	1129	1318	1311	761	728	-
DQO	mg/l	100	200	133.3	100	80	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	60	130	<b>86</b>	60	50	60
C. FECALES	UFC/100ml	1.00E+04	6.20E+07	1.50E+07	3.00E+04	2.00E+06	2.00E+03
S. SED	ml/l	0.2	0.2	0.8	1.4	0.7	2.0
ST	mg/l	872	1026	1025	658	603	-
SST	mg/l	42	34	42	88	57	60
SDT	mg/l	830	992	983	570	546	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	24.192	22.512	22.176	18.592	17.696	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.48	0.39	0.39	0.44	0.43	-

Tabla 8.- Resultados de los análisis fisicoquímico y bacteriológico (PTAR, Buena Vista, San Rafael y La Ladera).

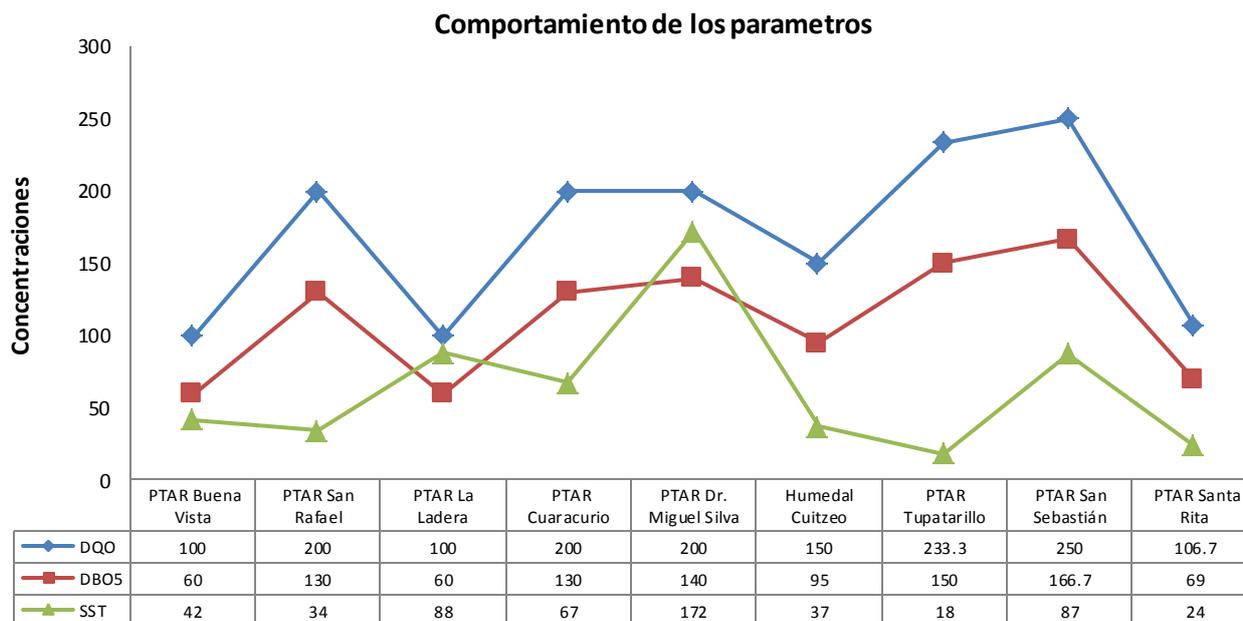


Figura 38.- Comportamiento de los parámetros DQO, DBO y SST.

### Planta de Tratamiento de la localidad Dr. Miguel Silva.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de los diferentes parámetros analizados en el sistema de tratamiento:

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Dr. Miguel Silva	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.0	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	1980	-	-
DQO	mg/l	200	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	140	60	No Cumple
C. FECALES	UFC/100ml	3.00E+07	2.00E+03	No Cumple
S. SED	ml/l	12.0	2.0	No Cumple
ST	mg/l	1657	-	-
SST	mg/l	172	60	No Cumple
SDT	mg/l	1485	-	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	35.4	-	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.66	-	-

Tabla 9.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Dr. Miguel Silva.

El análisis de la muestra de agua residual cruda mostro que el valor de pH obtenido en el influente fue de 7 u, lo que indica que el agua presenta condiciones apropiadas para que la actividad biológica acuática no se vea afectada y se sitúa dentro de los límites máximos permisible de la normativa. La

conductividad eléctrica presento una concentración elevada de 1980  $\mu\text{mhos/cm}$ , lo que nos indica una gran cantidad de iones libres que se encuentran en estas aguas. El contenido de materia orgánica medida como  $\text{DBO}_5$  presenta una concentración de 140 mg/l, típica de un agua residual de composición baja, situando este parámetro fuera de los límites máximos permisibles. Desde el punto bacteriológico se puede observar que el efluente se presenta una gran cantidad de coliformes fecales  $3.00\text{E}+07$  UFC/100 ml, valor que superan los  $2.00\text{E}+03$  UFC/ml establecidos por la norma NOM-001-ECOL-1996, vertiendo el influente una gran cantidad de contaminación de tipo bacteriológico al lago. En cuanto a los resultados del análisis de sólidos suspendidos totales se obtuvo una concentración de 172 mg/l, observándose que la muestra de agua analizada se encuentra por arriba de los límites máximos permisibles de la normativa. Para el caso del nitrógeno amoniacal, se presentó una cantidad elevada de nitrógeno amoniacal de 35.4 mg/l, en comparación con las aguas residuales típicas de origen doméstico. La concentración de los nitritos  $\text{N-NO}_3^-$  fue de 0.66 mg/l, este resultado es indicativo de contaminación de carácter fecal.

### Planta de Tratamiento de la localidad de Cuaracurio.

Los resultados del análisis de los parámetros evaluados en laboratorio se presentan en la siguiente tabla:

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Cuaracurio	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.0	5-10	Cumple
<b>C. ELÉCTRICA</b>	$\mu\text{mhos/cm}$	1648	-	-
DQO	mg/l	200	-	-
$\text{DBO}_5$	mg/l	130	60	No Cumple
<b>C. FECALES</b>	UFC/100ml	$2.00\text{E}+07$	$2.00\text{E}+03$	No Cumple
S. SED	ml/l	0.2	2.0	Cumple
ST	mg/l	1303	-	-
SST	mg/l	67	60	No Cumple
SDT	mg/l	1236	-	-
$\text{N-NH}_3$	mg/l	27.7	-	-
$\text{N-NO}_3$	mg/l	0.97	-	-

Tabla 10.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Cuaracurio.

De manera general los resultados obtenidos en el agua residual cruda mostraron que el pH obtenido en la muestra de agua residual fue de 7 u, situando a este parámetro dentro del rango de neutralidad y dentro de los límites máximos permisibles. La conductividad eléctrica registrada fue de 1648  $\mu\text{mhos/cm}$ , este valor muestra un alto contenido de sales disueltas en el agua residual. La concentración de la DQO presento una concentración de 200 mg/l, lo cual indica que no se tienen otros componentes provenientes de otras fuentes. En cuanto a la  $\text{DBO}_5$ , se observó que la muestra de agua cruda reporto una concentración de 130 mg/l, clasificándola como de calidad deficiente desde el punto de vista fisicoquímico, marcada por una alta contaminación por materia orgánica. En lo referente a los contaminantes patógenos, la concentración obtenida fue de  $2.00\text{E}+07$  UFC/100ml, es decir la calidad del agua es deficiente desde el punto de vista bacteriológico, situando a este parámetro fuera de los límites máximos permisibles de la norma NOM-001-ECOL-1996. Para el parámetro de sólidos suspendidos totales la concentración obtenida en el influente fue de 67 mg/l, que posiblemente se deba a las condiciones de aquietamiento de la corriente cerca al punto de muestreo. La concentración de nitrógeno amoniacal en el agua residual fue de 27.7 mg/l es relativamente alta para aguas residuales de origen doméstico, lo que indica una fuerte actividad agrícola, que influye en el contenido de nitrógeno amoniacal en la composición del agua residual. La concentración nitritos obtenida fue de 0.97 mg/l, este valor indica que el influente presenta contaminación alta por nitritos, es decir que existe influencia de las excretas de las viviendas de la localidad y de fertilizantes agrícolas.

### **Planta de Tratamiento de Cuitzeo.**

En las siguientes tablas se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en laboratorio y el porcentaje de remoción del sistema.

Parámetros	Unidades	Entrada Humedal Cuitzeo	Salida Humedal Cuitzeo	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.0	7.5	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	1368	1260	-	-
DQO	mg/l	150	133.3	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	95	85	60	No Cumple
C. FECALES	UFC/100ml	2.00E+07	8.50E+06	2.00E+03	No Cumple
S. SED	ml/l	0.1	1.5	2.0	Cumple
ST	mg/l	1063	977	-	-
SST	mg/l	37	39	60	Cumple
SDT	mg/l	1026	938	-	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	11.8	11.5	-	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.43	0.33	-	-

Tabla 11.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Cuitzeo.

PARÁMETROS	Concentración inicial	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
DQO	150	133.3	11.13
DBO <sub>5</sub>	95	85	10.52
C. FECALES	2.00E+07	8.50E+06	57.5
SST	37	39	-5.4

Tabla 12.- Eficiencias de Remoción PTAR Cuitzeo.

Los valores de pH obtenidos a la entrada y salida del sistema de tratamiento fueron de 7,0 y 7.5 u, estos resultados indican que a lo largo de recorrido del humedal se presentaron variaciones de pH debido a procesos biogeoquímicos que lo llevaron a valores en el efluente cercanos a la neutralidad, igualmente el pH se encuentra dentro del rango de neutralidad y del máximo permisible establecido por la normativa para vertido a cuerpo de agua.

La conductividad eléctrica en el sistema de tratamiento disminuyo un poco su concentración al pasar de 1368 a 1260 µmhos/cm en su paso por las etapas de tratamiento, evidenciando el sistema poca eficiencia del proceso en la remoción de sales solubles.

La concentración de DQO obtenida a la entrada del sistema de tratamiento fue de 150 mg/l y a la salida de 133 mg/l., con estos resultados se evidencia que a lo largo del sistema se presenta una disminución en la concentración de DQO, debido al metabolismo de los microorganismos y a las reacciones químicas; al

evaluar la eficiencia de remoción el humedal reporto un porcentaje del 11.1 %, eficiencia obtenida posiblemente por el bajo aporte de oxígeno de las raíces de las plantas a las biosferas.

Los resultados de la  $DBO_5$  obtenida en el humedal presentaron poca variación al registrar una concentración de 95 mg/l a la entrada y una concentración de salida de 85 mg/l, estos valores se deben a la poca absorción de materia orgánica de los microorganismos situados en las raíces de las plantas del humedal. Al analizar la remoción de  $DBO_5$  en el sistema se observó que además de no cumplir con la normativa, se registraron eficiencias de remoción del 10.5%, la cual es baja en comparación de la esperada que varía entre 80 y 90%, estos porcentajes indican probablemente que las remociones de materia orgánica se realizaron exclusivamente por los microorganismos situados en las raíces de las plantas del humedal y no por los procesos de sedimentación y ni a través de reacciones anaeróbicas.

Los resultados de la cuenta de microorganismos patógenos muestran que las concentraciones registradas fueron de  $2.00E+07$  UFC/100ml a la entrada y de  $8.50E+06$  UFC/100ml a la salida de los sistemas de tratamiento, registrando una eficiencia en la remoción de 57.5% para todo el sistema de tratamiento, esta eficiencia es causada probablemente por el poco desarrollo de las raíces o sobresaturación de las plantas del humedal donde se desarrollan los microorganismos que se alimentan de patógenos. Las concentraciones obtenidas indican que no se está cumpliendo con la normativa y ponen de manifiesto la presencia de un alto contenido de microorganismos en el efluente del sistema.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales fueron de 37 mg/l a la entrada y de 39 mg/l a la salida de sistema de tratamiento; de acuerdo a estos resultados el humedal posee una mala capacidad de eliminación de SST al registrar una remoción de -5.4%, condición atribuida a la bajos procesos de

sedimentación y filtración del sistema razón por la cual probablemente los sólidos acumulados en el lecho hayan sido arrastrados en la corriente.

La concentración de nitrógeno amoniacal a la entrada del sistema de tratamiento fue de 11.8 mg/l y a la salida se presentó una concentración de 11.5 mg/l. Estos valores demuestran que en el sistema se obtiene una remoción muy poco significativa en la concentración de  $N-NH_3^+$ .

Para el caso de los nitratos, se encontró una concentración de 0.43 mg/l de  $N-NO_3^-$  en el agua residual que ingresa al sistema y 0.33 mg/l a la salida del sistema de tratamiento, esta valores probablemente se deban a que en algunas zonas del sistema predominan las condiciones anaerobias.

### Planta de Tratamiento de Tupatarillo.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados en laboratorio así como los porcentajes de remoción son presentados en las siguientes tablas:

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Tupatarillo	Salida PTAR Tupatarillo	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.5	7.0	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	2300	2260	-	-
DQO	mg/l	233.3	200	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	150	120	60	No Cumple
C. FECALES	UFC/100ml	3.00E+07	2.00E+07	2.00E+03	No cumple
S. SED	ml/l	0.4	1.1	2.0	Cumple
ST	mg/l	1850	1682	-	-
SST	mg/l	18	57	60	Cumple
SDT	mg/l	1832	1625	-	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	11.6	10.9	-	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.85	0.57	-	-

Tabla 13.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Tupatarillo.

Parámetros	Concentración inicial	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
DQO	233.3	200	14.2
DBO <sub>5</sub>	150	120	20
C. FECALES	3.00E+07	2.00E+07	33.3
SST	18	57	-216

Tabla 14.- Eficiencias de Remoción PTAR Tupatarillo.

Para el caso del pH se presentó muy poca variación en sus concentraciones de entrada y salida al registrar valores de neutralidad de 7.5 a 7.0 u respectivamente, situando a este parámetro dentro de los límites máximos permisibles de la normativa así como presentando condiciones óptimas que ayuden al proceso de depuración por el sistema, así como su reutilización o ser depositarla en el lago.

La conductividad eléctrica obtenida en el influente fue de 2300  $\mu\text{mhos/cm}$  y en efluente fue de 2260  $\mu\text{mhos/cm}$ , estos valores tiene una correspondencia con la concentración de los sólidos disueltos en el sistema, indicando que las aguas residuales presentan una gran cantidad de sales.

Los resultados de DQO obtenida a la entrada del sistema de tratamiento fue de 233.3 mg/l y 200 mg/l a la salida, representado el efluente una concentración media de DQO según la composición típica de las aguas residuales municipales (220 mg/l), alcanzando con este valor una eficiencia de remoción de la carga orgánica del 14.2 %.

La concentración de la  $\text{DBO}_5$  obtenida en el influente fue de 150 mg/l y la concentración del efluente fue de 120 mg/l, situando este valor por arriba del valor establecido por la norma NOM-001-ECOL-1996. El porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$  fue del 20 %, la cual es baja en comparación de la esperada que varía entre 40 y 60%, lo cual es indicativo que en el proceso llevado a cabo no hubo una eliminación efectiva de la materia orgánica propiciada probablemente por problemas de mantenimiento causados por la acumulación de lodos viejos.

La concentración de coliformes fecales obtenida en el influente fue de  $3.00\text{E}+07$  UFC/100 ml y en efluente de  $2.00\text{E}+07$  UFC/100 ml, lo que indica que la eliminación de microorganismo patógenos fue mala la presentar una remoción de 33%. Estos resultados muestran que los valores se encuentran por arriba del máximo permitido ( $2.00\text{E}+03$  UFC/100ml) e indican que el sistema

presenta problemas operacionales a consecuencia de la falta de mantenimiento restringiendo el uso del agua residual en actividades agrícolas.

Los sólidos suspendidos presentaron una concentración de entrada de 18 mg/l y una concentración de salida de 57 mg/l, estos resultados muestran que este parámetro no está cumpliendo con los límites máximos permisibles. En el caso particular de la eficiencia de remoción negativa obtenida por el sistema de tratamiento, nos indica que está saliendo mayor cantidad de materia que la que entra al sistema, el exceso de material es el que no ha sido removido de las unidades debido a la falta de mantenimiento.

La concentración de  $N-NH_3^+$  obtenida a la entrada fue de 11.6 mg/l y a la salida se presentó una concentración de 10.9 mg/l. Estos valores indican que es probable que se tenga un déficit de tiempo de retención y de oxigenación para realizar la nitrificación.

Por su parte, la concentración inicial de  $N-NO_3^-$  durante el muestreo realizado fue de 0.85 mg/l y la final del sistema de 0.57 mg/l. este resultado indican contaminación de carácter fecal.

### Resultados Planta de Tratamiento de San Sebastián.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el influente del sistema de tratamiento.

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR San Sebastián	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.0	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	1663	-	-
DQO	mg/L	250	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	166.7	60	No Cumple
C. FECALES	UFC/100ml	3.00E+07	2.00E+03	No Cumple
S. SED	ml/L	1.3	2.0	Cumple
ST	mg/L	1337	-	-
SST	mg/L	87	60	No Cumple
SDT	mg/L	1250	-	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	6.6	-	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/L	0.63	-	-

Tabla 15.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR San Sebastián.

La concentración del pH obtenida en el influente del sistema de tratamiento presento una concentración de 7 u, encontrándose dentro del rango óptimo de 5 a 10 u y cumpliendo con los límites máximos permisibles que rige la norma NOM-001-ECOL-1996. La conductividad eléctrica registrada fue de 1663  $\mu\text{mhos/cm}$ ; El valor tan alto de este parámetro está relacionado con la acumulación de sales que durante la escorrentía se va obteniendo, desde el punto de vista de su reuso el agua no puede aprovecharse en riego agrícola por presentar una concentración superior a los 1200  $\mu\text{mhos/cm}$ ., es decir, se restringe su uso por salinidad. La concentración de la DQO registró un valor de 250 mg/l, lo que indica que se tiene un componente bajo de compuestos no orgánicos que no incluyen componentes provenientes de otras fuentes como industrias. En el caso de la DBO<sub>5</sub>, la concentración obtenida fue de 166.7 mg/l, lo cual indica una calidad de agua deficiente desde el punto de vista fisicoquímico, marcada por una alta contaminación por materia orgánica, con presencia de material fecal en el agua, superando los límites máximos permisibles de contaminantes que rige la normativa. La concentración de coliformes fecales obtenida en el influente fue de 3.00E+07 UFC/100ml, estos resultados indican que durante el muestreo la calidad bacteriológica del influente no cumple con la norma que establece 2.00E+03 UFC/100ml como máximo, por lo cual se restringe su uso para actividades agrícolas. Para el parámetro de sólidos suspendidos se registró un valor de 87 mg/l, el cual es bajo en comparación con las aguas residuales domésticas crudas (220 mg/l), este valor posiblemente se deba a las condiciones de aquietamiento de la corriente cerca al punto de muestreo. Los niveles de nitrógeno amoniacal encontrados en el agua residual cruda presentaron una contaminación baja de 6.6 mg/l, a la entrada del sistema de tratamiento. La concentración de nitritos encontrada en el agua residual presento una contaminación baja por nitritos al presentar un valor de 0.63 mg/l, indicando contaminación de origen fecal.

## Planta de Tratamiento de Santa Rita.

En las tablas se presentan los resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico practicado en laboratorio así como las eficiencias remoción de la PTAR.

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Santa Rita	Salida PTAR Santa Rita	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.5	7.0	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	850	796	-	-
DQO	mg/l	106.7	100	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	69	65	60	No Cumple
C. FECALES	UFC/100ml	3.00E+07	2.00E+07	2.00E+03	No cumple
S. SED	ml/l	0.4	0.1	2.0	Cumple
ST	mg/l	642	661	-	-
SST	mg/l	24	46	60	Cumple
SDT	mg/l	618	615	-	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	10.4	9.8	-	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.55	0.55	-	-

Tabla 16.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Santa Rita.

Parámetros	Concentración inicial	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
DQO	106.7	100	5.66
DBO <sub>5</sub>	69	65	5.79
C. FECALES	3.00E+07	2.00E+07	33
SST	24	46	-91.6

Tabla 17.- Eficiencias de Remoción.

El comportamiento del pH se mantuvo estable en el influente y efluente de tratamiento cuyos valores oscilaron entre 7.5 y 7 u, obteniendo un pH neutro que cumple con los límites máximos permisibles establecido por la norma NOM-001-ECOL-1996. Estos valores indica que el efluente presenta condiciones para que la actividad biológica acuática no se vea afectada, ya que el rango de pH favorable para la existencia de la vida biológica acuática oscila entre 6 y 9 u.

La conductividad eléctrica obtenida fue de 850 µmhos/cm a la entrada y de 796 µmhos/cm a la salida, estos valores caracterizan a un agua débilmente mineralizada, con pocas sales disueltas.

La DQO obtenida a la entrada del sistema fue 106.7 mg/l y a la salida de 100 mg/l, con una eficiencia de remoción de carga orgánica del 5.66 %, con respecto a la concentración inicial, lo que indica que en cada una de las etapas, anóxica (ausencia de oxígeno) y aerobia, la concentración fue disminuyendo hasta llegar a la sedimentación de lodo.

La DBO<sub>5</sub> presento una concentración de entrada de 69 mg/l y una concentración de salida de 65 mg/l. Estos resultados muestran que no se está cumpliendo con la norma que establece que para un embalse natural el promedio mensual y diario de descarga son de 30 y 60 mg/l de DBO<sub>5</sub>. El porcentaje de remoción alcanzado por el sistema fue del 5.79 %, el cual es muy bajo en comparación de la esperada que varía entre 85 y 95%, indicando problemas operaciones propiciados por la falta de mantenimiento que repercuten en la baja eficiencia para la eliminación de materia orgánica.

La concentración de coliformes fecales obtenida a la entrada fue de 3.00E+07 UFC/100ml y a la salida del sistema de tratamiento fue de 2.00E+07 UFC/100ml, situando estos valores por arriba de los límites máximos permisibles de la norma, que establece que el número de coliformes totales no debe ser mayor de 2.00E+03 UFC/100ml. De acuerdo a los resultados obtenidos, la capacidad de remoción de coliformes fecales en la PTAR fue mala para la eliminación de agentes patógenos, lo cual puede deberse a los problemas de mantenimiento que se presentan en el humedal ya que más del 50% de las plantas acuáticas (Tular), se encuentran secas disminuyendo los efectos físico como la filtración y la introducción de oxígeno en el lecho filtrante así como el desarrollo de los microorganismos aerobios en zonas cercanas a las raíces de las plantas.

La concentración de sólidos totales en el afluente fue 24 mg/l y en el efluente fue de 46 mg/l, estos resultados obtenidos permitieron apreciar que se obtuvo una eficiencia negativa del -91%. De acuerdo los estos resultados obtenidos el

sistema posee una mala capacidad de eliminación de SST, que se puede atribuir a la falta de mantenimientos mayores en el humedal.

Los resultados obtenidos respecto a la concentración de nitrógeno amoniacal en el afluente fue de 10.4 mg/l, mientras que a la salida fue de 9.8 mg/l, estos valores indican que el nitrógeno amoniacal se ha estado acumulando en el sistema durante el periodo de muestreo.

Los valores de nitratos registrados a la entrada y salida del sistema fueron de 0.55 mg/l correspondientes nula eliminación e indicando contaminación de carácter fecal.

### **Planta de Tratamiento de la Colonia Buena Vista.**

En la siguiente tabla se presentan los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico practicado al influente del sistema de tratamiento:

Parámetros	Unidades	PTAR Col. Buena Vista	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	8.0	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	1129	-	-
DQO	mg/l	100	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	60	60	Cumple
C. FECALES	UFC/100ml	1.00E+04	2.00E+03	No cumple
S. SED	ml/l	0.2	2.0	-
ST	mg/l	872	-	-
SST	mg/l	42	60	Cumple
SDT	mg/l	830	-	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	24.2	-	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.48	-	-

Tabla 18.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR Col. Buena Vista.

Los resultados del análisis practicado al agua residual cruda, mostraron que el pH obtenido presento un valor alcalino de 8.0 unidades, situando a este valor dentro de los límites máximos permisibles que marca la norma NOM-001-ECOL-1996. La conductividad eléctrica registró una concentración de 1129 µmhos/cm,

lo cual indica que las aguas residuales crudas contienen un bajo contenido de sólidos suspendidos o sales disueltas, por lo que no se restringe su reusó por salinidad. El análisis de la Demanda Química de Oxígeno ( $DBO_5$ ), registro una concentración de 60 mg/l, la cual en comparación con el agua residual típica (250 mg/l), presenta un agua de composición baja y bastante diluida que cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa, que establece que para un embalse natural el promedio mensual y diario de descarga son de 30 y 60 mg/l de  $DBO_5$ . Desde el punto bacteriológico el agua residual presenta una alta concentración de Coliformes Fecales ( $1.00E+04$  UFC/100ml), la cual supera los límites máximos permisibles, por lo que se considera la zona de descarga con contaminación de tipo fecal. La concentración de sólidos suspendidos totales (SST), fue de 42 mg/l, el cual es bajo en comparación con la concentración típica del agua residual (100 mg/l), situando este valor dentro de los límites máximos permisibles ya que para un embalse natural el promedio mensual y diario de descarga de 40 y 60 mg/L de SST; los resultados obtenidos indican buenas condiciones físico-químicas del agua. La concentración de nitrógeno amoniacal  $N-NH_3^+$  obtenida en el agua residual fue de 24.2 mg/l, esta concentración está asociada a las descargas domiciliarias de aguas residuales domésticas. La concentración de los nitritos  $N-NO_3^-$  se reporta de 0.48 mg/l, este valor se puede atribuir a la influencia de excretas de las descargas domiciliarias.

### **Planta de Tratamiento de la localidad de San Rafael.**

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos en el análisis del agua residual practicados a la entrada y salida del sistema de tratamiento, así como las eficiencias de remoción del sistema.

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR San Rafael	Salida PTAR San Rafael	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.0	7.0	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	1318	1311	-	
DQO	mg/l	200	133.3	-	
DBO <sub>5</sub>	mg/l	130	86	60	No cumple
C. FECALES	UFC/100ml	6.20E+07	1.50E+07	2.00E+03	No cumple
S. SED	ml/l	0.2	0.8	2.0	
ST	mg/l	1026	1025	-	
SST	mg/l	34	42	60	Cumple
SDT	mg/l	992	983	-	
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	22.5	22.2	-	
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.39	0.39	-	

Tabla 19.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR San Rafael.

Parámetros	Concentración inicial	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
DQO	200	133.3	33.5
DBO <sub>5</sub>	130	86	33.8
C. FECALES	6.20E+07	1.50E+07	75
SST	34	42	-23

Tabla 20.- Eficiencias de Remoción PTAR San Rafael.

Los valores de pH obtenidos en las muestras de agua presentaron un comportamiento similar en su concentración a la entrada y a la salida del sistema de tratamiento al presentar un valor de 7.0 u. Estos resultados indican concentraciones de neutralidad, siendo adecuadas para el crecimiento de microorganismo aerobios e igualmente cumplen con los límites máximos permisibles contemplados por la NOM-001-ECOL-1996 y que pueden ser descargadas sin causar impactos ambientales asociados a valores de pH.

Los resultados obtenidos de conductividad eléctrica fueron de 1318µmhos/cm, registrados a la entrada mientras que a la salida fue de 1311 µmhos/cm, estos valores a ser mayores a 1200 µmhos/cm, el uso del agua tratada se restringe su reusó agrícola por su gran contenido de sales.

En la DQO, se puede observar una ligera disminución en la concentración al pasar inicialmente de 200 mg/l, a 133.3 mg/l; a medida que las aguas residuales avanzaron por el sistema de tratamiento se logró remover un 33.5% la DQO.

La concentración de la  $DBO_5$  presentó una tendencia muy similar al comportamiento de la DQO, al obtener en el influente una concentración de 130 mg/l y en el efluente de 86 mg/l, logrando obtener una eficiencia de remoción del 33.8%, este porcentaje representa una remoción de materia orgánica de calidad no aceptable, puesto que se esperaría que en el sistema se eliminara entre 40% y 60% de la  $DBO_5$ , lo cual indica un vertido de agua residual con alto contenido de materia orgánica por arriba de límite máximo permisible, causado por los problemas de mantenimiento del sistema.

En lo concerniente a la remoción de coliformes fecales se obtuvo una concentración a la entrada de  $6.20E+07$  UFC /100 ml y una concentración de salida de  $1.50E+07$  UFC /100 ml, registrando un porcentaje de remoción del 75 %, lo cual indica que la eliminación de patógenos fue mala, causada probablemente por la acumulación de lodos viejos y a la baja actividad microbiana dentro del sistema. De acuerdo con las normas actualmente vigentes el agua tratada no es apta para reúso agrícola, acuícola o para ser descargada en aguas y bienes nacionales, por tener una cantidad mayor de  $2.00E+03$  UFC /100 ml.

En el comportamiento de la concentración de SST, se observó una acumulación de sólidos orgánicos, la presentar una concentración a la entrada de 34 mg/l y una concentración de 42 mg/l a la salida, sitiendo este valor dentro de los límites máximos permisibles. De acuerdo a estos resultados obtenidos el sistema posee una baja capacidad de eliminación de SST (-23%), lo que refleja la acumulación de los lodos en el sistema.

El nitrógeno amoniacal  $N-NH_3^+$  registro una disminución poco significativa a la salida del sistema al presentar una concentración de entrada de 22.5 mg/l y 22.2 mg/l a la salida del sistema, producto de la acumulación de lodos en el sistema.

En lo que respecta a la concentración de los nitritos  $N-NO_3^-$  no se evidenció transformación alguna al presentar las mismas concentraciones de 0.30 mg/l a la entrada como a la salida, esta nula variación refleja el mal funcionamiento del sistema para la eliminación de los nitritos, probablemente debido a una menor oxigenación o por el decrecimiento de esta especie nitrogenada.

### Planta de Tratamiento de la localidad la Ladera.

A continuación se presentan los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico así como las eficiencias de remoción obtenidas en el sistema de tratamiento.

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR La Ladera	Salida PTAR La Ladera	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento
pH	u	7.0	7.0	5-10	Cumple
C. ELÉCTRICA	µmhos/cm	761	728	-	-
DQO	mg/l	100	80	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	60	50	60	Cumple
C. FECALES	UFC/100ml	3.00E+06	2.00E+06	2.00E+03	No Cumple
S. SED	ml/l	1.4	0.7	2.0	Cumple
ST	mg/l	658	603	-	-
SST	mg/l	88	57	60	Cumple
SDT	mg/l	570	546	-	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	18.6	17.7	-	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	0.44	0.43	-	-

Tabla 21.- Resultados del análisis de laboratorio y cumplimiento a la norma PTAR La Ladera.

Parámetros	Concentración inicial	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
DQO	100	80	20
DBO <sub>5</sub>	60	50	16.7
C. FECALES	3.00E+06	2.00E+06	33
SST	88	57	35.2

Tabla 22.- Eficiencias de Remoción PTAR La Ladera.

Los valores de pH obtenidos en el agua residual, permiten apreciar que estos se mantuvieron en el rango de neutralidad (7 u) y dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa para descarga de efluentes.

Los resultados de la conductividad eléctrica en el efluente fueron de 728 µmhos/cm y por ser menor que 1200 µmhos/cm el agua tratada no restringe su

reúso por salinidad, lo que significa que en el sistema no se presenta acumulación de sales.

Por otro lado los resultados de la DQO, permiten apreciar una baja diferencia entre la concentración de entrada (100 mg/l) y la de salida (80 mg/l), lo cual indica una baja eficiencia de remoción del 20% en comparación a la esperada del 30 a 60 %, por lo tanto el sistema presenta malos rendimientos.

Los resultados para la DBO<sub>5</sub> obtenidos, fueron de 60 mg/l a la entrada y 50 mg/l a la salida del sistemas de tratamiento, estos valores reflejan una baja eficiencia de remoción del sistema del 16.7 %, ya que en este sistema se esperaría remover entre el 30 al 60% de materia orgánica, la concentración registrada en el efluente cumple con los límites máximos establecidos por la Norma NOM-001-ECOL-1996.

Los resultados de la cuenta de bacterias coliformes fecales, registraron concentraciones de 3.00E+06 UFC/100 ml a la entrada y de 2.00E+06 UFC/100 ml a la salida del sistema de tratamiento; la remoción obtenida en el sistema fue de 33%, lo que indica que la eliminación de patógenos fue bastante mala. De acuerdo con las normas actualmente vigentes el agua tratada del sistema, por tener una cantidad mayor a 2.00E+03 UFC/ml, no es apta para reúso agrícola, o ser descargadas en aguas y bienes nacionales.

Por su parte, la concentración de SST obtenida a la entrada del sistema de tratamiento fue de 88 mg/l y la concentración a la salida fue de 57 mg/l, con estos valores el sistema alcanzo una eficiencia de remoción del 35%, la cual es baja en comparación de la esperada que varía entre 70 y 80%, para este parámetro. La razón probamente de esta baja eficiencia se deba a problemas hidráulicos en el sistema, provocado por la acumulación de sólidos, que están siendo descargados en el efluente final incrementando el valor esperado de SST.

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal obtenido fue de 18.6 mg/ml a la entrada y 17.7 mg/l a la salida del sistema de tratamiento, estos valores

pueden ser propiciados por problemas en los tiempos de retención hidráulicos y por la baja oxigenación en el sistema para realizar el proceso de nitrificación.

Las concentraciones de nitritos, presentaron variaciones poco significativas en su paso por el sistema al registrar valores de 0.44 mg/l a la entrada y 0.43 mg/l a la salida del proceso de tratamiento; esta baja variación puede ser producto de un decremento en el proceso de nitrificación, probablemente debido a una menor oxigenación o por el decremento de esta especie nitrogenada.

### **VI.3. Implementación de acciones específicas.**

En base a la experiencia y conocimientos adquiridos que coadyuvaran a mejorar la infraestructura de saneamiento, revertir y mitigar la contaminación en el lago. Se logró realizar mejoras en la infraestructura en cinco plantas de tratamiento las cuales se describen a continuación:

#### **Planta de tratamiento de Dr. Miguel Silva.**

En virtud de la falta de infraestructura adecuada para tratar las aguas residuales vertidas por la localidad al lago, se planteó la necesidad de consensuar con la autoridad municipal las adecuaciones de la infraestructura existente, esto debido a que la fosa de oxidación que se encontraba en el sitio de la descarga de las aguas residuales presentaba un deterioro generalizado en su infraestructura, no se contaba con una unidad de pretratamiento, el colector se encontraba fracturado y presentaba azolvamiento y no se contaba con protección perimetral.



Figura 39.- Sistema antes de las modificaciones PTAR Dr. Miguel Silva.

Las acciones realizadas en el sistema consistieron en la instalación de una unidad de pretratamiento (colocación de rejillas de limpieza manual y una compuerta reguladora de flujo), construcción de una caseta de vigilancia y de un sedimentador de lodos, la instalación de dos filtros biológicos, la instalación de dos humedales artificiales y la instalación de cerco perimetral.

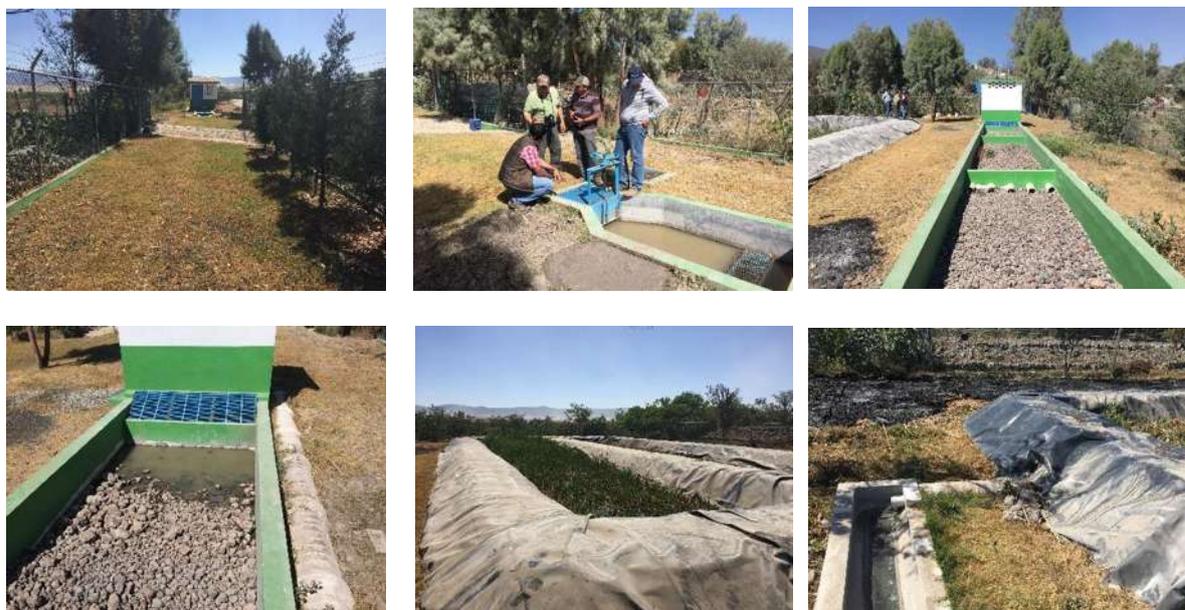


Figura 40.- Sistema después de las modificaciones PTAR Dr. Miguel Silva.

Como resulta de las acciones implementadas se realizó el análisis de la calidad del agua, con el objetivo de evaluar el funcionamiento del sistema, obteniendo los siguientes resultados: (Gasto de 1.0 Ips)

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Dr. Miguel Silva	Salida PTAR Dr. Miguel Silva	Límites Máximos Permisibles		Cumplimiento
				PM	PD	
<b>T. Agua</b>	°C	20.1	19.3	40	40	Cumple
<b>pH</b>	u	6.78	7.41	5-10	5-10	Cumple
<b>C. ELÉCTRICA</b>	µmhos/cm	1627	1624	-	-	-
<b>DQO</b>	mg/L	217.7	99.3	-	-	-
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	142	64.6	30	60	No cumple
<b>C. FECALES</b>	UFC/100ml	4.00E+05	1.80E+05	-	-	-
<b>S. SED</b>	ml/L	1.7	0.0	1	2	Cumple
<b>ST</b>	mg/L	1279	1254	-	-	-
<b>SST</b>	mg/L	58	36	40	60	Cumple
<b>SDT</b>	mg/L	1221	1218	-	-	-
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	mg/L	46.4	34.8	-	-	-
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	mg/L	0.5	0.85	-	-	-

Tabla 23.- Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Dr. Miguel Silva.

Parámetros	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
DBO <sub>5</sub>	142	64.6	54.5
SST	58	36	37.9
Ssed	1.7	0.0	100
CF	4.00E+05	1.80E+05	55.0

Tabla 24.- Eficiencias de Remoción PTAR Dr. Miguel Silva.

La temperatura del agua a la entrada de la planta fue de 20.1°C y a la salida 19.3°C manteniendo la temperatura con valores por la mitad del rango permisible para dicho parámetro, cumpliendo con la norma. Los resultados obtenidos en el análisis del pH muestran que en el influente y efluente se obtuvieron valores que oscilaron entre 6.78 y 7.41 u respectivamente, obteniendo un pH neutro que cumple con los límites máximos permisibles establecido por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996. Estos valores favorecen la actividad biológica acuática. La concentración de la demanda bioquímica de oxígeno presento una concentración a la entrada de 142 mg/L y una concentración a la salida de 64.6 mg/L. Estos resultados muestran que este parámetro no cumple con la norma que establece que para un embalse natural el promedio mensual y diario de descarga son de 30 y 60 mg/L de DBO<sub>5</sub>. El porcentaje de remoción alcanzado por el sistema fue del 54.5 %, indicando bajas eficiencias para eliminar materia orgánica debido a que el humedal aun no alcanzaba un desarrollo vegetativo óptimo para remover la materia orgánica. Las concentraciones de coliformes fecales registradas a la entrada y salida fueron de 4.00E+05 y 1.80E+05 UCF/100 ml registrada a la entrada y salida respectivamente alcanzando un 55% de remoción de contaminantes a la salida del sistema. La concentración de sólidos suspendidos totales en el afluente fue 58 mg/L y en el efluente de 36 mg/L, estos resultados permitieron apreciar que se obtuvo una eficiencia del 37.9%. De acuerdo los estos resultados obtenidos el sistema posee una buena capacidad de eliminación de SST, que se puede atribuir a la buen desempeño del filtro biológico. En lo que respecta a la concentración de sólidos sedimentables se obtuvo una concentración de 1.7 mg/L a la entrada y 0.0 mg/L a la salida, logrando eliminar el sistema el 100% de los sólidos presentes en el efluente.

## Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Cuaracurio.

En esta planta se presentó una serie de problemas como fue la falta del equipo de bombeo y desazolve del sedimentador de lodos, el sistema de pretratamiento se encontraba deteriorado en su totalidad (rejillas y compuertas de regulación de flujo) y los dos filtros biológicos se encuentran saturados, así como las tuberías de distribución y no contaba con cerco perimetral.



Figura 41.- Sistema antes de las modificaciones PTAR Cuaracurio.

Las modificaciones de la infraestructura consistieron, en la rehabilitación de una unidad de pretratamiento (colocación de rejillas de limpieza manual y compuertas reguladoras de flujo), la rehabilitación de la caseta de bombeo así como la instalación de una bomba de 0.5 HP de funcionamiento automatizado, el desazolve y rehabilitación de sedimentador de lodos, desazolve y cambio de materia filtrante de los dos filtros biológicos, instalación de cerco perimetral y la limpieza del humedal natural.



Figura 42.- Sistema después de las modificaciones PTAR Cuaracurio.

Una vez concluidos los trabajos realizados en el sistema se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua, obteniendo los siguientes resultados: (Gasto de 1.0 lps)

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Cuaracurio	Salida PTAR Cuaracurio	Límites Máximos Permisibles		Cumplimiento
				PM	PD	
<b>T. Agua</b>	°C	20.9	23.3	40	40	Cumple
<b>pH</b>	u	6.9	7.5	5-10	5-10	
<b>C. ELÉCTRICA</b>	µmhos/cm	532	705	-	-	-
<b>DQO</b>	mg/L	80.8	31.0	-	-	-
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	54.0	20.2	30	60	Cumple
<b>C. FECALES</b>	UFC/100ml	8.00E+05	1.00E+05	-	-	-
<b>S. SED</b>	ml/L	0.8	0.1	1	2	Cumple
<b>ST</b>	mg/L	448	538	-	-	-
<b>SST</b>	mg/L	48	10	40	60	Cumple
<b>SDT</b>	mg/L	400	528	-	-	-
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	mg/L	7.61	3.58	-	-	-
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	mg/L	1.11	2.07	-	-	-

Tabla 25.- Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Cuaracurio.

Parámetros	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
<b>DBO<sub>5</sub></b>	54.0	20.2	62.5
<b>SST</b>	48	10	79.1
<b>Ssed</b>	0.8	0.1	87.5
<b>CF</b>	8.00E+05	1.00E+05	87.5

Tabla 26.- Eficiencias de Remoción PTAR Cuaracurio.

La temperatura que registrado a la entrada del sistema fue de 20.9°C y de 23.3°C a la salida de los procesos de tratamiento, encontrándose este parámetro dentro de la norma y de los valores recomendados para el desarrollo de la actividad biológica del proceso de tratamiento. Las concentraciones de pH encontradas en las muestras evaluadas en el influente y efluente fueron de 6.9 y 7.5 u respectivamente, encontrándose estos con valores en el rango de neutralidad y dentro del límite máximo permisible requerido por la NOM-001-SEMARNAT-1996. En lo que respecta a la DBO<sub>5</sub> los vabres fueron de 54 mg/l a la entrada y 20.2 mg/l a la salida, estos resultados cumplen con la norma, alcanzando el 62.5% de remoción de materia orgánica. Cabe recalcar que las muestras evaluadas fueron puntuales por lo que el valor con respecto a la norma, no es definitivo. En referencia a los coliformes fecales se pudo observar que el sistema presento en el influente una concentración de 8.00E+05 UFC/100 ml y 1.00E+05 UFC/100 ml a la salida del sistema obtenido con estos vabres una remoción de agentes patógenos

del 86%. La concentración de los SST obtenida a la entrada del sistema fue de 48 mg/l y 10 mg/l a la salida, situando el efluente con valores por debajo de límite máximo permitido, con una eficiencia de remoción del 79.1%. En la evaluación de los sólidos sedimentables se pudo observar que el sistema registró a la entrada una concentración de 0.8 mg/l mientras que a la salida se obtuvo una concentración de 0.1 mg/l, logrando con estos valores alcanzar una remoción del 88%, situándolo este parámetro por debajo de los límites máximos permisibles regidos por la normativa.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Santa Rita.**

En esta planta se encontraba abandonada y el agua que ingresaba sobrepasaba la capacidad de diseño (gasto de entrada 4.6 lps, gasto de diseño 1.9 lps), la unidad de pretratamiento se encontró inundada y sin un control de flujo, las rejillas y compuertas se centraron completamente deterioradas, el rector presentaba acumulación de lodos, el humedal presentaba azolvamiento en la tubería de distribución, proliferación de vegetación emergente, la unidad de cloración presentaba igual un gran deterioro y alto grado de oxidación en los barandales de protección.



Figura 43.- Sistema antes de las modificaciones PTAR Santa Rita.

Los trabajos realizados en esta planta de tratamiento consistieron, en la rehabilitación de la unidad de pretratamiento (rejillas y desarenadores), extracción de lodos acumulados en el RAFA, sustitución de tapas y canaletas de recolección del reactor, sustitución de la geomebrana, cambio del filtro, sustitución de la tubería de distribución y plantación de tular en el humedal, rehabilitación de lecho de secado y de la unidad de cloración.



Figura 44.- Sistema después de las modificaciones PTAR Santa Rita.

Posterior a la rehabilitación y con el objetivo de llevar un control de la operación y eficiencias de remoción del sistema, se llevó a cabo el análisis de la calidad del agua, obteniendo los siguientes resultados: (Gasto de 1.9 lps)

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Santa Rita	Salida PTAR Santa Rita	Límites Máximos Permisibles		Cumplimiento
				PM	PD	
<b>T. Agua</b>	°C	18.3	24.8	40	40	Cumple
<b>pH</b>	u	7.02	7.0	5-10	5-10	Cumple
<b>C. ELÉCTRICA</b>	µmhos/cm	1114	1001	-	-	-
<b>DQO</b>	mg/L	183.8	73.0	-	-	-
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	120.0	47.3	30	60	Cumple
<b>C. FECALES</b>	UFC/100ml	3.00E+06	1.50E+05	-	-	-
<b>S. SED</b>	ml/L	0.1	0.0	1	2	Cumple
<b>ST</b>	mg/L	840	775	-	-	-
<b>SST</b>	mg/L	52	20	40	60	Cumple
<b>SDT</b>	mg/L	788	755	-	-	-
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	mg/L	20.16	10.64	-	-	-
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	mg/L	0.62	1.19	-	-	-

Tabla 27.- Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Santa Rita.

Parámetros	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
DBO <sub>5</sub>	120	47.3	60.5
SST	52	20	61.5
Ssed	0.1	0.0	100
CF	3.00E+06	1.50E+05	95

Tabla 28.- Eficiencias de Remoción PTAR Santa Rita.

La temperatura registrada en el influente fue de 18.3°C y 24.8°C en el efluente, cumpliendo con la norma. Para el caso del pH se presentó muy poca variación en sus concentraciones de entrada y salida al registrar valores de neutralidad de 7.2 a 7.0 u respectivamente, situando a este parámetro dentro de los límites máximos permisibles, presentando condiciones óptimas para su reutilización o ser depositarla en el lago. La concentración de la DBO<sub>5</sub> obtenida en el influente fue de 120 mg/l y la concentración del efluente fue de 47.3 mg/l, situando este valor por debajo del valor establecido por la norma. El porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> fue muy bueno 60.5 %, indicando que el proceso llevado a cabo es muy efectivo para la remoción de la materia orgánica. Para el caso de los coliformes fecales los resultados muestran una buena eliminación de agentes patógenos al registrar a la entrada una concentración de 3.00E+06 UFC/100 ml a la entrada y de 1.50E+05 UFC/100 ml a la salida con una eficiencia de remoción del 95%. Los sólidos suspendidos totales presentaron una concentración de entrada de 52 mg/l y una concentración de salida de 20 mg/l, con una remoción del 62% situando este parámetro por debajo de los límites máximos permisibles. La concentración de sólidos sedimentables en el efluente fue de 0.0 mg/L, ubicando este parámetro por debajo de la normativa y alcanzando del sistema una eficiencia el 100% en la remoción de sólidos, es causada posiblemente por la concentración tan baja de sólidos sedimentables en el agua cruda y por el buen funcionamiento del reactor y del humedal.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales El Salitre.**

Este sistema la igual que el anterior se encontraba fuera de operación, con un deterioro generalizado en su infraestructura de tratamiento. La unidad de pretratamiento se encontraba inundada y azolvada al igual que le lecho de

secado y el cárcamo de bombeo, las dos bombas sumergibles de 2Hp se encontraban queda, el reactor se encontró con acumulación de lodos viejos por la falta de operación más de 6 años, la geomembrana de la laguna de maduración se encontraba rota en su mayoría, la tubería que descarga el agua del reactor a la laguna de maduración se encuentra quebrada, no se contaba con la totalidad de la malla perimetral.



Figura 45.- Sistema antes de las modificaciones PTAR El Salitre.

En esta planta se realizó el cerco perimetral del toda la planta, se desazolvó el pretratamiento, se sustituyeron las rejillas y las compuertas de control de flujo, se cambiaron las dos bombas sumergibles de 2HP por unas bombas más eficientes de 1 HP abaratando los consumos de energía eléctrica en un 80%, se sacaron los lodos del reactor, se sustituyó la tubería de pvc del reactor al humedal, se sustituyó la geomembrana y se modificó de una laguna de maduración a un humedal con plantación de tule, se rehabilitó la obra civil del lecho de secado así como el filtro y de igual manera el lecho de secado.



Figura 46.- Sistema después de las modificaciones PTAR El Salitre.

Una vez realizadas las rehabilitaciones en cada una de las etapas del sistema de tratamiento se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua con la finalidad de conocer el comportamiento del sistema en operación: (Gasto de 2.0 lps)

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR El Salitre	Salida PTAR El Salitre	Límites Máximos Permisibles		Cumplimiento
				PM	PD	
<b>T. Agua</b>	°C	28.7	23.0	40	40	Cumple
<b>pH</b>	u	7.05	7.10	5-10	5-10	Cumple
<b>C. ELÉCTRICA</b>	µmhos/cm	1432	1354	-	-	-
<b>DQO</b>	mg/L	56.0	30.2	-	-	-
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	36.4	19.6	30	60	Cumple
<b>C. FECALES</b>	UFC/100ml	5.00E+05	2.50E+05	-	-	-
<b>S. SED</b>	ml/L	0.3	0.1	1	2	Cumple
<b>ST</b>	mg/L	1104	1035	-	-	-
<b>SST</b>	mg/L	30	20	40	60	Cumple
<b>SDT</b>	mg/L	1074	1015	-	-	-
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	mg/L	8.96	4.48	-	-	-
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	mg/L	1.14	1.8	-	-	-

Tabla 29.- Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR El Salitre.

Parámetros	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
<b>DBO<sub>5</sub></b>	36.4	19.6	46.1
<b>SST</b>	30	20	33.3
<b>Ssed</b>	0.3	0.1	67.0
<b>CF</b>	5.00E+05	2.50E+05	50.0

Tabla 30.- Eficiencias de Remoción PTAR El Salitre.

Conforme a los resultados obtenidos se pudo observar que la temperatura osciló entre 28.7°C y a 23.0 °C registrada a la entrada y salida del sistema respectivamente, estos valores se encuentran dentro del límite permisible y de los recomendados para el desarrollo de actividad biológica. La concentración del pH registrada a la entrada fue de 7.05 u a la entrada y de 7.1 u obtenida a la salida del sistema de tratamiento, estas concentraciones no representan dificultades para el tratamiento, ya que se encuentra en el rango óptimo para el crecimiento y la actividad de las bacterias varía entre 6.5-8.5. La concentración de la DBO<sub>5</sub> obtenida a la entrada del sistema de tratamiento fue de 36.4 mg/l mientras que a la salida se registró un valor de 19.6 mg/l, situándose dentro de los límites máximos permisibles. Los valores obtenidos indican una eficiencia media del sistema equivalente al 46% para remover materia orgánica y una calidad aceptable calidad del agua tratada desde el punto de vista fisicoquímico. La concentración de coliformes fecales obtenida en el influente y efluente fueron de 5.00E+05 UFC/100 ml y 2.50E+05 UFC/100 ml respectivamente, con una remoción del 50%. El hecho de que se registren altas concentraciones de coliformes totales durante el estudio, hacen presumir que el sistema no se han estabilizado en cuanto a la remoción de microorganismos patógenos. Las concentraciones de sólidos suspendidos totales registrados a la entrada y salida fueron de 30 mg/l y 20 mg/l, respectivamente, obteniendo una remoción del 33.3 %. Estos valores permiten apreciar que el sistema se encuentra operando de una manera muy eficiente, situando la descarga por debajo de la normativa. Para el caso de los sólidos sedimentables las concentraciones variaron de 0.3 mg/l a 0.1 mg/l, con una eficiencia de remoción del 67%, por lo que se encuentran dentro del límite máximo permisible para la descarga al lago.

### **Planta de tratamiento de Aguas Residuales Chehuayo.**

En esta planta al igual que las evaluadas anteriormente se detectó una serie de problemas que no fueron atendidos por las autoridades municipales y locales, entre los que se encontraron; la falta de interés de las autoridades por sanear sus aguas residuales, falta de un operador, inundación y azolvamiento del cárcamo de bombeo de la poniente de la localidad, equipo de bombeo fuera de operación e inoperante por los altos consumo de energía, obstrucción del colector poniente por la acumulación de basura y sedimentos previo al

pretratamiento, vertiendo el agua directo al lago sin recibir tratamiento previo a la descarga.



Figura 47.- Sistema antes de las modificaciones PTAR Chehuayo.

Una vez analiza la problemática se realizaron las gestiones ante A.C. para el financiamiento e implementación de una serie de acciones, las cuales consistieron en la rehabilitación y desazolve del cárcamo de bombeo, sustitución de la bomba sumergible de 1HP por una más eficiente de 0.5 HP de operación automatizada, se sustituyó el colector de asbesto cemento por una de polipropileno corrugado, instalación de un sistema de rejillas finas para la retención de sólidos gruesos, en la unidad de pretratamiento orientados a retirar las arenas y material sedimentado en los desarenadores así como extraer los lodos de los biodigestores cuando la PTAR presente en la evaluación de calidad del agua una baja importante de la capacidad de depuración y resembrar tula en los módulos de oxigenación, se retiraron los lodos acumulados en el sistema, y se colocó filtro y vegetación acuática (lirio y tular) en la dos módulos superficiales para la remoción de materia orgánica.



Figura 48.- Sistema después de las modificaciones PTAR Chehuayo.

Concluidos los trabajos se realizó el análisis y la evaluación de la calidad del agua del sistema obteniendo los siguientes resultados: (Gasto de 0.9 lps)

Parámetros	Unidades	Entrada PTAR Chehuayo	Salida PTAR Chehuayo	Límites Máximos Permisibles		Cumplimiento
				PM	PD	
<b>T Agua</b>	°C	24.0	20.9	40	40	
<b>pH</b>	u	7.41	7.12	5-10	5-10	Cumple
<b>C. ELÉCTRICA</b>	µmhos/cm	1471	1053	-	-	-
<b>DQO</b>	mg/L	197.0	130.5	-	-	-
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	128.0	84.8	30	60	No Cumple
<b>C. FECALES</b>	UFC/100ml	1.00E+06	6.00E+05	-	-	-
<b>S. SED</b>	ml/L	0.8	0.5	1	2	Cumple
<b>ST</b>	mg/L	1022	845	-	-	-
<b>SST</b>	mg/L	66	55	40	60	Cumple
<b>SDT</b>	mg/L	956	790	-	-	-
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	mg/L	37.52	26.32	-	-	-
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	mg/L	0.4	0.54	-	-	-

Tabla 31.- Resultados de la 2da evaluación de la calidad del agua PTAR Chehuayo.

Parámetros	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Remoción del Sistema (%)
<b>DBO<sub>5</sub></b>	128.0	84.8	33.7
<b>SST</b>	66	55	16.6
<b>Ssed</b>	0.8	0.5	37.5
<b>CF</b>	1.00E+06	6.00E+05	40

Tabla 32.- Eficiencias de Remoción PTAR Chehuayo.

Los valores de la temperatura obtenidos a la entrada fueron de 24°C y a la salida 20.9°C, la disminución obtenida a lo largo del tratamiento se debe a que el influente de la planta llega con una temperatura influenciada por la incorporación de agua caliente proveniente de los usos domésticos. Ubicando estos valores dentro de los límites máximos permisibles de la de la NOM-001-SEMARNAT-1994. En referencia al pH podemos observar que el valor reportado a la entrada fue de 7.41 unidades mientras que el valor encontrado a la salida fue 7.12 unidades lo que indica un pH neutro, no representando dificultades al tratamiento además de encontrándose dentro del rango permisible para vertido al lago. En el caso de la DBO<sub>5</sub> se reportó una concentración a la entrada de 120 mg/L y de 84.8 mg/L a la salida, con un porcentaje de remoción del 37.7%, situando los valores por arriba de los límites máximos permisibles, esto se debe posiblemente a la baja asimilación de contaminantes por las plantas y de los procesos microbianos que se desarrollan en la zona de la raíz no se han desarrollado lo suficiente. Para los coliformes fecales se obtuvieron concentraciones a la entrada de 1.00E+06 UFC/100 ml y de 6.00E+05 UFC/100 ml a la salida del sistema, los resultados indican la presencia de microorganismos en el sistema, establecidos como biopelícula sobre el sustrato y en mayor proporción a la rizósfera de las plantas, debido a que el sistema aun no llega a su etapa de estabilización. Las contracciones de los sólidos suspendidos totales se encontraron con valores entre 66 mg/l y los 55 mg/l registrados a la entrada y salida del sistema respectivamente, situado estos resultados por debajo de la normativa pero con una eficiencia baja del 17% en la remoción de contaminantes. La alta concentración de sólidos aun presentes a la salida del sistema puede ser producto de la presencia de biomasa algar en el agua tratada. Por ultimo para el caso de los sólidos sedimentables se obtuvo una concentración a la entrada de 0.8 mg/l y una concentración de salida de 0.5 mg/l, obtenido el sistema una remoción poco efectiva del 38%, situando los valores por debajo de los límites permisibles de la normativa.

## **VII. CONCLUSIONES**

En lo que respecta a los resultados del inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se localizaron 39 plantas de tratamiento en el ámbito de los 13 municipios que conforman la Cuenca del Lago de Cuitzeo, esta plantas en su conjunto cuentan con una capacidad instalada de 1711.4 lps, de los

cuales solo 1263.5 lps, reciben tratamiento el resto se vierte a canales, ríos, barrancas que directa e indirectamente descargan al lago de Cuitzeo.

Se recomienda hacer las gestiones ante la CONAGUA para incluir la información obtenida en el inventario General de Plantas del Sistema de información de servicios básicos del agua SISBA, ya que en este solo están incluidas 7 PTAR con información no actualizada.

De las 39 plantas de tratamiento solo 20 PTAR se encuentran en operación, 2 inconclusas y el resto 17 se encontraron fuera de operación.

En el caso de la planta de la ciudad de Morelia (Atapaneo), el volumen tratado se vende a la empresa papelería Kimberly Clark, cubriendo las necesidades de agua con los parámetros adecuados, aun precio razonable y competitivo para su proceso industrial.

El municipio de Tarimbaro fue donde se localizaron el mayor número de plantas de plantas de tratamiento con 13 distribuidas en los fraccionamientos pero solo una de ellas en operación (Rinconada los Sauces), el resto presenta un gran deterioro de la infraestructura propiciadas por la falta de operación de los sistemas.

Solo en 7 sistemas de tratamiento se evaluó la calidad de agua residual (Col. Buena Vista, San Rafael, La Ladera, Cuaracurio, Dr. Miguel Silva, Cuitzeo y Tupatarillo), caracterizando en algunas de ellas solo la entrada ya que no contaban con las condiciones físicas para realizar la toma de muestra a la salida de los sistemas de tratamiento.

En general las eficiencias de remoción de contaminantes ( $DBO_5$  y SST), de los sistemas que contaban con las condiciones para ser evaluados fueron bajas, lo que hace referencia a la falta de mantenimiento y azolvamiento de los sistemas

actuales, del mismo modo no hay una eficiente remoción en los demás parámetros evaluados.

En el caso de las PTAR rehabilitadas; Dr. Miguel Silva, Cuaracurio, Santa Rita, El Salitre y Chehuayo, la evaluación de los parámetros ( $DBO_5$  y SST), registraron todas las PTAR concentraciones de SST por debajo de los límites máximos permisibles la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, con respecto a la  $DBO_5$  solo las PTAR de Dr. Miguel Silva y Chehuayo presentaron valor por arriba de la norma debido a que los sistemas aun no llegaban a su etapa de estabilización.

En lo referente a la evaluación de la calidad el agua de las demás PTAR solo la Ladera cumple la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, respecto a la evaluación de los parámetros fisicoquímicos ( $DBO_5$  y SST).

No se cuenta con personal capacitado para la operación de las PTAR y se desconoce el control de los parámetros básico de calidad del agua, (pH y conductividad eléctrica) así como la medición de los caudales.

No se cuenta con asesoramiento técnico para realizar trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura y etapas de tratamiento en las PTAR.

No se cuenta con una tarifa diferenciada de saneamiento que permita contar con un ingreso que asegure su operación y cubra los costos de tratamiento de las aguas residuales y que además permita generar un impacto en la conciencia de los usuarios, quienes tendrían conocimiento de que el tratamiento de las aguas residuales generan costos tanto de inversión, operación y mantenimiento, en beneficio de su propia salud y su entorno ambiental.

## **VIII. RECOMENDACIONES.**

Por su importancia riveriega para la planta de tratamiento de aguas residuales de Cuitzeo se recomienda elaborar un proyecto ejecutivo para la rehabilitación de las unidades de tratamiento; cárcamos norte y sur, clarificador, celda de lodos, celda purificadora, tubería de distribución e instalación de 300 metros de cerco perimetral del lado oriente, el cual en la actualidad se llevó a cabo solo falta terminar la última celda purificadora para que trate los 20 lps de su capacidad de diseño.

Para el caso de la planta de tratamiento de Rosa de Castilla se recomienda que la autoridad municipal realice el proyecto ejecutivo para construcción de un colector que permita encausar las aguas residuales de las localidades del Fresno para que llegue a la suficiente agua a la planta y pueda operar a una mayor capacidad.

La planta de tratamiento de San Sebastián se encuentra azolvada y derramando aguas residuales en su entorno, situación de riesgo sanitario de suma gravedad. Por lo que se recomienda cancelar el sistema por la cercanía de la descarga con la fuente de abastecimiento y en el último pozo de visita continuar un colector de 456 metros y diámetro de 10" e interconectar con pozo de visita que conducirá las aguas residuales de la localidad de San Sebastián a la PTAR del Salitre.

En la PTAR de Huandacareo se recomienda que la autoridad responsable de la construcción de la planta realice un estudio técnico más profundo que permita conocer de manera precisa los problemas técnicos de diseño y de operación que presenta la planta y las adecuaciones correspondientes a realizar a la misma o en su defecto por la viabilidad económica de la rehabilitación realizar un Proyecto Integral para sanear las aguas residuales.

En la PTAR de Tupatarillo se requiere desazolvar el emisor que interconecta a la planta ya que se encuentra azolvado lo cual no permiten que ingrese la suficiente agua a la planta. Se requiere también la extracción de lodos y la estabilización (Puede emplearse tanto cal hidratada,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , como cal viva,  $\text{CaO}$ ).

En la PTAR de la Ladera se requiere realizar trabajos de mantenimiento; como retirar los lodos y natas acumulados en el fondo del tanque séptico ya que en la visita de campo se pudo apreciar presencia de turbiedad en el efluente con la presencia de pequeñas partículas de sólidos sedimentables que es un síntoma que la nata o los lodos han sobrepasado el espacio seguro de diseño de al menos tres años para la acumulación, disminuyendo el período de retención del agua dentro del tanque séptico conduciendo a una menor eficiencia de remoción del material sedimentable.

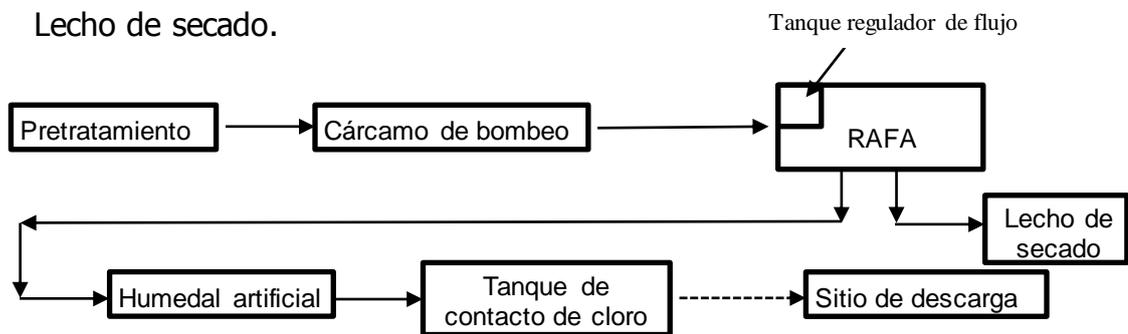
Para la Laguna de oxidación de la localidad Col. Buena Vista se requiere la instalación de una unidad de pretratamiento, la rehabilitación de la caseta de vigilancia así como la colocación de goemebrana, la remoción de material y plantas flotantes. Además de la instalación de una bomba que permita drenar el agua residual tratada y los lodos acumulados en el fondo de la laguna así como la instalación de cerco perimetral.

Para el caso de las PTAR rehabilitadas tales como Dr. Miguel Silva, Cuaracurio, Santa Rita, El Salitre y Chehuayo, se requiere contar con personal capacitado para la operación y mantenimiento de los sistemas que pueda además identificar problemas y solucionarlos

Adicionalmente para la PTAR de Santa Rita, se requiere la instalación de una válvula check que permita canalizar el caudal de diseño de la planta y el resto derivarlo al emisor que concentra las aguas tratadas que desembocan en el lago.

En la fosa de la localidad San Rafael propone la elaboración de un proyecto ejecutivo que contenga la rehabilitación de la fosa y la construcción de una PTAR mediante el siguiente tren de tratamiento:

- Pretratamiento (desarenador y rejillas).
- Cárcamo de bombeo.
- Tanque regulador.
- Reactor anaerobio de flujo ascendente.
- Humedal artificial.
- Tanque de cloración.
- Lecho de secado.



Se requiere incluir en los recibos del agua el pago por el saneamiento como una medida contar con un ingreso que asegure su operación y cubra los costos de tratamiento de las aguas residuales y que además permita generar un impacto en la conciencia de los usuarios, quienes tendrían conocimiento de que el tratamiento de las aguas residuales generan costos tanto de inversión, operación y mantenimiento, en beneficio de su propia salud y su entorno ambiental.

## IX. ANEXOS.

### IX.1. Resultados de laboratorio.

		COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA DIRECCIÓN LOCAL MICHOACÁN SUBDIRECCIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA-OPERATIVA DEPTO. DE CALIDAD DEL AGUA							
RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO, MICHOACÁN									
MUESTREO REALIZADO DÍA 15 DE OCTUBRE DEL 2012 POR LA GERENCIA OPERATIVA DE LA COMISIÓN DE CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO.									
PARÁMETROS	UNIDADES	Entrada PTAR Buenavista	Entrada PTAR San Rafael	Salida PTAR San Rafael	Entrada PTAR La Ladera	Salida PTAR La Ladera	Entrada PTAR Cuernavaca	Entrada PTAR Miguel Silva	Limites Máximos Permisibles
MUESTRA No.	-	LMPT 320	LMPT 321	LMPT 322	LMPT 323	LMPT 324	LMPT 325	LMPT 326	
HORA/MUESTREO	-	09:15	09:45	-	10:30	-	12:00	12:40	-
T. AMBIENTE	° C	-	-	-	-	-	-	-	-
T. AGUA	° C	20.8	22.7	-	23.3	-	27.2	26.5	40.0
C. ELÉCTRICA Campo	µmhos/cm	1115	1128	-	690	-	1150	1840	-
pH Campo	u	8.52	7.28	-	7.22	-	7.9	7.56	5 - 10
OD	mg/L	4.2	0	0	0	0	0	0	-
C. ELECTRICA Lab	µmhos/cm	1129	1318	1311	761	728	1648	1980	-
pH Lab	u	8.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	5 - 10
DQO	mg/L	100	200	133.3	100	80	200	200	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	60	130	86	60	50	130	140	60
C. FECALES	UFC/100 ml	1.00E+04	6.20E+07	1.50E+07	3.00E+06	2.00E+06	2.00E+07	3.00E+07	2.00E+03
S. SED.	ml/L	0.2	0.2	0.8	1.4	0.7	0.2	12.0	2.0
ST	mg/L	872	1026	1025	658	603	1303	1657	-
SST	mg/L	42	34	42	88	57	67	172	60
SDT	mg/L	830	992	983	570	546	1236	1485	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	24.192	22.512	22.176	18.592	17.696	27.864	35.392	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/L	0.48	0.39	0.39	0.44	0.43	0.97	0.66	-

NOTA: Los límites máximos permisibles se establecen con base en el Promedio Diario de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, considerando el caso de cuerpos receptores Tipo C, Embalses Naturales y Artificiales con Uso Público Urbano.



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA  
DIRECCIÓN LOCAL MICHOACÁN  
SUBDIRECCIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA-OPERATIVA  
DEPTO. DE CALIDAD DEL AGUA

**RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES  
DE LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO, MICHOACÁN**

MUESTREO REALIZADO DÍA 30 DE OCTUBRE DEL 2012 POR LA GERENCIA OPERATIVA DE LA COMISIÓN DE CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO.

PARÁMETROS	UNIDADES	Entrada Humedal Cuitzeo	Salida Humedal Cuitzeo	Entrada PTAR Tupatarillo	Salida PTAR Tupatarillo	Entrada PTAR San Sebastián	Entrada PTAR Santa Rita	Salida PTAR Santa Rita	Límites Máximos Permisibles
MUESTRA No.	-	LMPT 344	LMPT 345	LMPT 346	LMPT 347	LMPT 348	LMPT 349	LMPT 350	
HORA/MUESTREO	-	08:30	08:35	09:20	09:25	10:15	11:20	11:30	-
T. AMBIENTE	°C	18.7	18.7	18.1	18.1	27.1	27.1	27.0	-
T. AGUA	°C	20.2	19.7	19.3	19.1	28.1	28.6	29.6	40.0
C. ELÉCTRICA Campo	µmhos/cm	-	-	2224	2230	1160	750	820	-
pH Campo	u	6.96	7.76	7.45	7.3	7.35	7.74	7.24	5-10
OD	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
C. ELÉCTRICA Lab	µmhos/cm	1368	1280	2300	2280	1663	850	796	-
pH Lab	u	7.0	7.5	7.5	7.0	7.0	7.5	7.0	5-10
DOO	mg/L	150	133.3	233.3	200	250	106.7	100	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	85	85	150	120	166.7	69	65	60
C. FECALES	UFC/100 ml	2.00E+07	8.50E+06	3.00E+07	2.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	2.00E+07	2.00E+03
S. SED.	ml/L	0.1	1.5	0.4	1.1	1.3	0.4	0.1	2.0
ST	mg/L	1163	977	1850	1682	1337	642	661	-
SST	mg/L	37	39	18	57	87	24	46	60
SDT	mg/L	1026	938	1832	1625	1250	618	615	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	11.816	11.536	11.592	10.976	6.608	10.416	9.872	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/L	0.43	0.33	0.85	0.57	0.63	0.55	0.55	-

IX.2. Resultados de laboratorio.



COMISION NACIONAL DEL AGUA  
DIRECCION LOCAL MICHOACAN  
SUBDIRECCION TECNICA  
DEPTO. DE CALIDAD DEL AGUA

**RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES  
DE LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO, MICHOACAN**

MUESTREO REALIZADO DIA 05 DE OCTUBRE DEL 2016 POR LA GERENCIA OPERATIVA DE LA COMISION DE CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO.

PARÁMETROS	UNIDADES	Entrada PTAR Miguel Silva	Salida PTAR Miguel Silva	Entrada PTAR Rosa de Castilla	Salida PTAR Rosa de Castilla	Entrada PTAR Santa Rita	Salida PTAR Santa Rita	Límites Máximos Permisibles
MUESTRAS No.	-	LMPT 196	LMPT 197	LMPT 198	LMPT 199	LMPT 200	LMPT 201	
T. AMBIENTE	° C	-	-	21.6	20.1	25.6	29.1	-
T. AGUA	° C	-	-	20.5	18.3	24.8	23.1	40.0
C. ELÉCTRICA Campo	µmhos/cm	-	-	940	880	870	-	-
pH Campo	u	-	7.2	7.3	7.9	7.7	7.3	5 -10
OD	mg/L	-	< 0.1	< 0.1	1.01	< 0.1	1.01	-
C. ELÉCTRICA Lab	µmhos/cm	1627	1624	1035	964	1114	1001	-
pH Lab	u	6.87	7.27	6.78	7.41	7.02	7.00	5 -10
DQO	mg/L	217.78	99.38	104.0	42.0	183.8	73.0	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	142.0	64.6	67.3	27.0	120.0	47.3	60
COT	mg/L	70	32	33	13	60	24	
C. FECALES	UFC/100 ml	-	1.80E+05	-	3.30E+05	3.00E+06	1.50E+05	2.00E+03
S. SED.	ml/L	1.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	2.0
ST	mg/L	1279	1254	807	744	840	775	-
SST	mg/L	58	36	30	24	52	20	60
SDT	mg/L	1221	1218	777	720	788	755	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	46.48	34.8	40.88	30.8	20.16	10.64	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/L	0.5	0.85	0.4	1.13	0.62	1.19	
PO <sub>4</sub>	mg/L	10.10	8.30	7.20	6.30	5.10	4.00	-

NOTA: Los límites máximos permisibles se establecen con base en el Promedio Diario de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, considerando el caso de cuerpos receptores Tipo C, Embalses Naturales y Artificiales con Uso Público Urbano.

**RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES  
DE LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO, MICHOACÁN**

MUESTREO REALIZADO DÍA 05 DE OCTUBRE DEL 2016 POR LA GERENCIA OPERATIVA DE LA COMISIÓN DE CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO.

PARÁMETROS	UNIDADES	Entrada PTAR El Salitre	Salida PTAR El Salitre	Entrada PTAR Chehuayo	Salida PTAR Chehuayo	Entrada PTAR Cuarcacurio	Salida PTAR Cuarcacurio	Límites Máximos Permisibles
MUESTRA No.	-	LMPT 202	LMPT 203	LMPT 204	LMPT 205	LMPT 206	LMPT 207	
T. AMBIENTE	° C	29.1	29.1	26.3	26.3	26.3	26.3	-
T. AGUA	° C	28.7	23.0	24.0	20.9	23.3	23.1	40.0
C. ELÉCTRICA Campo	µmhos/cm	1360	940	1370	960	480	630	-
pH Campo	u	7.6	7.3	7.41	7.6	6.9	7.5	5 -10
OD	mg/L	1.21	1.61	< 0.1	< 0.1	2.42	2.62	-
C. ELÉCTRICA Lab	µmhos/cm	1432	1354	1471	1053	532	705	-
pH Lab	u	7.05	7.10	7.41	7.12	6.9	7.5	5 -10
DQO	mg/L	56.0	30.2	197.0	130.5	80.8	31.0	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	36.4	19.6	128.0	84.8	54.0	20.2	60
COT	mg/L	18	10	64	42	27	10	
C. FECALES	UFC/100 ml	5.00E+05	2.50E+05	1.00E+06	6.00E+05	8.00E+05	1.00E+05	2.00E+03
S. SED.	ml/L	0.3	0.1	0.8	0.5	0.8	0.1	2.0
ST	mg/L	1104	1035	1022	845	448	538	-
SST	mg/L	30	20	66	55	48	10	60
SDT	mg/L	1074	1015	956	790	400	528	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	8.96	4.48	37.52	26.32	7.61	3.58	-
N-NO <sub>3</sub>	mg/L	1.14	1.8	0.4	0.54	1.11	2.07	
PO <sub>4</sub>	mg/L	1.80	1.50	7.40	4.60	2.90	1.68	-

NOTA: Los límites máximos permisibles se establecen con base en el Promedio Diario de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, considerando el caso de cuerpos receptores Tipo C, Embalses Naturales y Artificiales con Uso Público Urbano.

## **X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

Clesceri L. S. , Greenberg A. E. and Eston A. D. (1998). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. WEF, AWWA and APHA.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), sistema de información de servicios básicos del agua, Inventario de Plantas de tratamiento 2017.

Rivas H. A. (1997). Lechos de plantas acuáticas (LPA) para el tratamiento de aguas residuales. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XII N° 3.

MARA D. "Design Manual for Waste Stabilisation Ponds in India". Lagoon Technology International Ltd., Newton House, Newton Road, Leeds LS7 4DN, England, pp. 17-28. 1997.

<http://www.leeds.ac.uk/civil/ceri/water/tphe/publicat/pdm/india/IPDMc3.pdf>

Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales. 2da. ed. España, Mac Graw-Hill Bookco.1996.

Ferrer, P.J., Seco, T.A. 2008. Tratamientos biológicos de aguas residuales. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Alfaomega

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Normas Técnicas Mexicanas de Aguas Residuales.

Comisión Nacional del Agua. 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diciembre México DF.

Crites, R. and Tchobanoglous, G. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados

Identificación y descripción de los sistemas secundarios de tratamiento de aguas residuales. César G. Calderón Mólgora.