



Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería

Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

Programa:

Maestría en Ingeniería

**“Evaluación de los sistemas de tratamientos
de agua residual doméstica en Mexicali B. C.”**

TESIS

Para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería

Presenta:

Aldo Villagomez Luna

Dra. M. Socorro Romero Hernández

Directora de Tesis

Mexicali B.C., 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Al instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, por los apoyos y la facilidades que me proporcionó para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Dra. M. Socorro Romero Hernández por su acertada dirección, apoyo y asesoría durante el desarrollo de mi trabajo de investigación y la elaboración de mi tesis. Gracias por su interés y atención en que lograra una investigación de calidad.

Al Ing. José Luis Vázquez Moraila y Gloria Angélica Aguirre Villanueva por su apoyo y facilitación en la obtención de información de la PTAR's de Mexicali B.C.

A la I.Q. Luz Estela Salazar Escalante por su apoyo dentro del laboratorio.

A mis profesores por su conocimiento compartido.

Al personal de la Comisión Nacional del Agua, que por su apoyo otorgado y acceso a la información para la realización de esta investigación.

.

A las instituciones de gobierno Municipal, Estatal y Federal que me proporcionaron información vital para este proyecto de investigación.

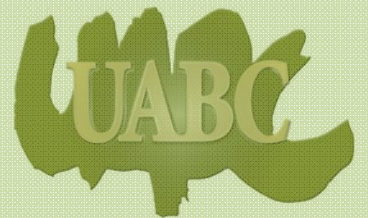
A mis compañeros de postgrado, amigos y familiares que me apoyaron.

DEDICATORIA

Por su cariño, apoyo incondicional y sus sabios consejos, dedico este logro más en mi vida en memoria de mi gran amiga, compañera y hermana:

Leticia Mejía García

“Evaluación de los sistemas de tratamientos de agua residual doméstica en Mexicali B. C.”



2013

Contenido	Páginas
Índice de Tablas	i
Índice de Figuras.....	iii
Índice de Fotos.....	iv
Resumen	v
Abstract.....	vi
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Objetivo general	3
1.5 Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Importancia del agua.....	4
2.2 Disponibilidad del agua en México	5
2.3 Disponibilidad de agua Baja California.....	7
2.4 El agua en Mexicali	7
2.5 Usos del agua potable en Mexicali	8
2.6 Las aguas residuales y su clasificación.....	10
2.7 Clasificación de los contaminantes.....	11
2.8 Consecuencias de las descargas de aguas residuales	15
2.9 El tratamiento del agua residual.....	18
2.9.1 Pretratamiento o tratamiento pre-eliminar	19
2.9.2 Tratamiento primario	20
2.9.2.1 Sedimentación.....	20
2.9.2.2 Flotación	21
2.9.2.3 Coagulación - Floculación	22
2.9.3 Tratamiento secundario.....	22
2.9.3.1 Lagunas de estabilización	24
2.9.3.2 Lodos activados	25
2.9.3.3 Filtros percoladores.....	27

2.9.3.4 Contactores biológicos rotativos (CBR)	29
2.9.4 Tratamiento terciario.....	31
2.9.4.1 Intercambio Iónico.....	31
2.9.4.2 Adsorción.....	31
2.9.4.3 Microfiltración y Ultrafiltración	32
2.9.4.4 Microfiltración.....	32
2.9.4.5 Ultrafiltración	32
2.9.4.6 Ósmosis Inversa.....	32
2.9.4.7 Desinfección	32
2.10 Normatividad para descargas y reuso del agua residual tratada	33
2.11 El reuso del agua residual tratada en el mundo.....	39
2.12 Reuso de agua residual en Baja California	42
2.13 El reuso del agua residual tratada en Mexicali	42
CAPÍTULO 3.....	44
MÉTODO	44
CAPÍTULO 4.....	45
RESULTADOS	45
4.2.1 Planta de Tratamiento Zaragoza	45
4.2.2 Planta de Tratamiento Arenitas.....	51
4.2.3 Planta de Tratamiento Estación Coahuila	57
4.2.4 Planta de Tratamiento Los Algodones.....	63
4.2.5 Planta de Tratamiento Ciudad Morelos	68
4.2.6 Planta de Tratamiento Guadalupe Victoria.....	73
4.2.7 Planta de Tratamiento San Felipe	78
CAPÍTULO 5.....	84
DISCUSIÓN	84
5.1 Usuarios potenciales en el Valle de Mexicali	86
5.2 Plan de propuestas para un mejor aprovechamiento del agua residual tratada.	88
CAPÍTULO 6.....	92
CONCLUSIONES.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

Índice de Tablas

Tablas	Página(s)
Tabla1. Disponibilidad de agua por habitante en México	9
Tabla 2. Volumen de agua asignada a CESP	13
Tabla 3. Usos de agua potable	13
Tabla 4. Organismos infecciosos y enfermedades que causan	17
Tabla 5. Cambios que ocurren con la eutrofización o eutrofización (por DBO)	20
Tabla 6. Frecuencia de Muestreo	38
Tabla 7. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos	39
Tabla 8. Límites máximos permisibles para metales y cianuros	40
Tabla 9. Límites máximos permisibles de contaminantes	42
Tabla 10. Tipos de reutilización y aplicaciones del agua residual tratada	44, 45
Tabla 11. Porcentaje de distribución de reuso del agua residual tratada	46
Tabla 12. Información de línea morada en Mexicali	47
Tabla 13. Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Zaragoza	53
Tabla 14. Cuadro comparativo de calidad del agua en el efluente de la PTAR-s vs NOM-003-SEMARNAT-1997	59

Tabla 15.	Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Estación Coahuila	65
Tabla 16.	Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Los Algodones	70
Tabla 17.	Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Ciudad Morelos	75
Tabla 18.	Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Guadalupe Victoria	80
Tabla 19.	Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual San Felipe	86
Tabla 20.	Parámetros con los que incumplió cada PTAR en 2010	90
Tabla 21.	Posibles usuarios potenciales	92
Tabla 22.	Propuestas para un mejor aprovechamiento del agua residual tratada	93, 94, 95, 96

Índice de Figuras

	Figuras	Página(s)
Figura1.	Disponibilidad natural media de agua en México	10
Figura 2.	Composición de las aguas residuales domésticas	14
Figura 3.	Coliformes fecales	21
Figura 4.	Etapas del tratamiento de agua residual	27
Figura 5.	Diagrama de una planta lodos activados	30
Figura 6.	Diagrama del filtro percolador	33
Figura 7.	Diagrama del proceso: Contactores Biologicos Rotativos	34
Figura 8.	Línea morada instalada y proyección en ciudad de Mexicali	47
Figura 9.	Plano de la planta de tratamiento de agua residual Zaragoza	54
Figura 10.	Plano de planta de tratamiento de agua residual Las Arenitas	60
Figura 11.	Plano de planta de tratamiento de agua residual Estación Coahuila	66
Figura 12.	Plano de planta de tratamiento de agua residual Los Algodones	71
Figura 13.	Planta de tratamiento de agua residual Ciudad Morelos	76
Figura 14.	Plano de planta de tratamiento de agua residual Guadalupe Victoria	81
Figura 15.	Diagrama de flujo de planta de tratamiento de agua residual San Felipe	87

Índice de Fotos

Fotos		Página(s)
Foto 1:	Ubicación de PTAR Zaragoza	49
Foto 2:	Ubicación de PTAR Las Arenitas	55
Foto 3:	Ubicación de PTAR Estación Coahuila	61
Foto 4:	Ubicación de PTAR Los Algodones	67
Foto 5:	Ubicación de PTAR Ciudad Morelos	72
Foto 6:	Ubicación de PTAR Guadalupe Victoria	77
Foto 7:	Ubicación de PTAR San Felipe	82
Foto 1:	Ubicación de PTAR Zaragoza	49
Foto 2:	Ubicación de PTAR Las Arenitas	55

Resumen

Ante la contaminación, el aumento de la demanda de los distintos sectores económicos y la sobreexplotación de las aguas superficiales y subterráneas, se ha despertado el interés de las autoridades en buscar nuevas alternativas para mitigar la escasez de agua de primer uso. El presente proyecto tiene como propósito evaluar la situación actual del tratamiento del agua residual y el nivel de reuso del agua tratada en Mexicali, para desarrollar estrategias integrales de mejora y apoyar que el reuso del agua represente una alternativa viable, logrando un intercambio de agua dulce por agua tratada sin riesgos para la salud pública. Actualmente hay 7 plantas de tratamiento de agua residual doméstica instaladas en el municipio de Mexicali, sin embargo no existía información suficiente sobre la calidad de los efluentes, ni del potencial de reuso. Los resultados de esta investigación mostraron que los efluentes de las plantas de tratamiento de agua de Mexicali no están cumpliendo con la calidad requerida de acuerdo a la NOM 003-SEMARNAT-1997, para el reuso de las aguas tratadas.

Palabras clave: Reuso del agua, manejo sustentable del agua, riego con agua tratada, calidad del agua residual tratada para reuso.

Abstract

The pollution and overexploitation of surface and ground water, as well as the rising demand of water by different economic sectors, have called the attention of the authorities to seek new ways to alleviate freshwater shortage. This project aims to assess the current status of wastewater treatment and the level of reuse of treated water in Mexicali, to develop comprehensive strategies to improve and promote the reuse of water as a feasible alternative to achieve an exchange of freshwater for treated wastewater that is safe to public health. There are currently seven wastewater plants installed in Mexicali, but there was not enough information on the quality of their effluents, or the potential for reuse. The results of this investigation have shown that the effluents of wastewater plants do not meet the quality requirements in accordance with the Mexican Standard NOM 003-SEMARNAT-1997, for reuse of wastewater, missing an opportunity to be used for other purposes.

Keywords: Reuse of water, sustainable water management, irrigation with treated water, treated wastewater and quality of wastewater reuse.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital ya que sin ella no sería posible la vida de los seres vivos. Para la sociedad, es un recurso natural importante para su desarrollo en los distintos sectores productivos y forma parte de la riqueza de un país. En estados Unidos, el condado de Orange (California) puso en marcha en 2008 el sistema de reciclado de aguas residuales para consumo humano más puntero y grande del mundo: es capaz de producir unos 265 millones de litros al día para abastecer a su medio millón de habitantes. El agua mejora los límites mínimos sanitarios Estatales y federales, según sus responsables (Fernández, 2010)

A nivel mundial se tienen avances representativos en el del agua residual tratada y en el caso de México se trabaja en los diferentes niveles de gobierno para lograr la sustentabilidad de agua residual tratada, a este esfuerzo se ha venido sumando la empresa privada, y se busca promover que la población en general desarrolle y adopten la cultura del cuidado del agua y el aprovechamiento de agua residual tratada de buena calidad dentro de nuestras actividades cotidianas. Actualmente en nuestro país se enfrentan problemas de disponibilidad de agua por su distribución fisiográfica y climática, por la demanda acelerada del recurso hídrico que se requiere para los diferentes usos, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Ante esta situación México esta priorizando las alternativas que mitiguen la sobre explotación del agua de primer uso, ya que la crisis del agua se interpone en la transición hacia el desarrollo sustentable.

Mexicali en particular se ha considerado por mucho tiempo como una zona privilegiada ya que recibe una dotación constante de agua proveniente del río Colorado, pero a medida que se da el aumento demográfico, dicha dotación parece ser cada vez más insuficiente. La concepción errónea de los mexicalenses de percibir el agua como un recurso inagotable ha resultado en mal aprovechamiento del recurso, consumo desmesurado, desperdicio irracional, además de la contaminación causada al agua.

Es por esto que se presenta la importancia del reuso del agua residual tratada, Mexicali es una de las ciudades con mayor aprovechamiento de las aguas residuales, ya que del total de las aguas negras que se generan en este municipio, en 2009 se reuso el 83.7 por ciento en diversos aspectos, como el riego de camellones y áreas verdes, riego de cultivos para el alimento de ganado y en el enfriamiento de turbinas generadoras de energía eléctrica.

El reuso del agua se ha venido convirtiendo en una atractiva opción para la conservación del agua de primer uso, pero deben tomarse muy en cuenta los criterios de calidad del agua para reuso para evitar problemas a la salud pública.

1.1 Justificación

La información existente referente al tratamiento y reuso de agua residual no es suficiente para evaluar o diagnosticar el estado actual en el reuso del agua residual doméstica tratada en Mexicali, por lo que parte de este estudio consistirá en analizar la calidad de los efluentes de cada una de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica instaladas en Mexicali y comparar dicha calidad con los límites establecidos en las normas para los distintos usos en que pudiera reutilizarse.

El agua residual tratada de buena calidad se puede aprovechar de manera potencial en la industria, agricultura, riego de áreas verdes e instituciones educativas, entre otros sectores. Así pues, en la medida que avancemos hacia un mejor aprovechamiento en el reuso del agua residual tratada, dejaremos de consumir agua de primer uso, disminuyendo el desabasto de agua para las comunidades del municipio.

1.2 Planteamiento del problema

Debido a la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua potable, al aumento demográfico y a la mayor demanda del recurso, al cambio climático, al uso irracional, a la falta de cultura del cuidado del agua y a otros factores, se ha venido provocando escasez del agua de primer uso en Mexicali.

Hasta antes del terremoto ocurrido en Mexicali el 4 de abril de 2010, el reuso del agua residual era menor al 50%. A causa del terremoto, la infraestructura hidráulica en el valle agrícola de Mexicali, sufrió serios daños, por lo que los cultivos se vieron afectados a falta de agua disponible para los riegos. Para mitigar este problema se comenzaron a regar varios campos agrícolas con agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento de agua residual “Arenitas”. En 2011 se reutilizó alrededor del 80% de agua residual tratada, pero es importante hacer notar que se hizo de manera irregular por las circunstancias de falta de agua blanca. De ahí que es importante reutilizar las aguas residuales tratadas como un recurso adicional al ya existente pero de forma regulada y con responsabilidad tomando en cuenta la protección del ambiente, la salud pública y el cumplimiento de la normatividad vigente en materia de agua. Por lo anterior, el presente estudio se planteó con el propósito de hacer un diagnóstico acerca de la situación actual en materia de reuso de agua y plantear alternativas para un aprovechamiento del agua residual de forma regulada.

1.3 Hipótesis

En Mexicali se hace un uso deficiente de agua residual tratada y el efluente de algunas plantas no cumple de manera constante con la calidad de establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 para reuso y sin embargo se está reutilizando.

1.4 Objetivo general

Hacer un diagnóstico del manejo actual del agua residual doméstica tratada de las plantas de tratamiento de agua residual en Mexicali y elaborar un plan para un mejor aprovechamiento del agua residual doméstica tratada.

1.5 Objetivos específicos

- 1) Elaborar un inventario con información completa y actualizada que sirva como herramienta para los tomadores de decisiones en el reuso del agua residual tratada.
- 2) Hacer de una evaluación de la calidad del agua en los efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica en Mexicali.
- 3) Elaborar un plan de propuestas para un mejor aprovechamiento de las aguas residuales tratadas.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia del agua

El agua siempre ha jugado un papel central en la sociedad humana. Es un elemento clave para el crecimiento sustentable y para el combate de la pobreza, ya que es la base de casi todo tipo de actividad económica, desde la agricultura hasta la manufactura, la energía y el transporte. También es una causante de sequías, inundaciones, deslizamientos y epidemias; así como de una destrucción progresiva a través de la erosión, el anegamiento de la tierra, la desertificación, la contaminación y las enfermedades. El agua es literalmente una fuente de vida y prosperidad. Es por eso que una prioridad constante del ser humano a lo largo de su historia ha sido el aprovechamiento de todo su potencial por medio de un suministro adecuado y la disminución de sus efectos destructivos, de tal manera que pueda impulsar más que obstaculizar el crecimiento económico.

El agua es un recurso no renovable, su escasez se ve cada vez más afectada por el aumento demográfico y por la falta de concientización en su uso. La escasez del agua, trae consigo no sólo problemas sociales, sino a largo plazo, la extinción de la vida y es de esta afirmación que se debe el proteger el agua y aprovechar al máximo.

El 70% de la superficie de la Tierra es agua y tan sólo 30% es tierra firme. Pero la mayoría de agua es salada, 97.5% está en mares y océanos. El restante 2.5% es agua dulce, pero casi toda esta congelada en los polos y en los glaciares. El 69.7% de agua dulce está congelada, el 30% es subterránea y en los ríos y lagos hay sólo 0.3%, sin embargo, esa poca agua dulce es la que ha hecho posible la vida (PNUMA, 2007)

Debido a que las aguas están en movimiento constante (se evaporan, se condensan, se infiltran, son arrastradas por los ríos al mar o los hielos de los polos se rompen, migran, se funden), por ejemplo, tan sólo en lo que toca a la evaporación, de los océanos se van a la atmósfera 449,000 km³ al año (PNUMA, 2007)

2.2 Disponibilidad del agua en México

Actualmente la población en México sobrepasa a los 112 millones de habitantes, con un tasa de crecimiento media anual del 1.8 % (INEGI, 2010). La disponibilidad de agua en m³ por habitante por año en México, se ha ido reduciendo en proporciones considerables por el crecimiento demográfico y el desarrollo económico y social del país. En la Tabla 1 se puede observar como es la disponibilidad de agua por habitante en México.

Tabla 1. Disponibilidad de agua por habitante en México

AÑO	DISPONIBILIDAD
1920	25,175 m ³ / hab / año
1930	21,687 m ³ / hab / año
1940	18,274 m ³ / hab / año
1950	13,953 m ³ / hab / año
1960	10,115 m ³ / hab / año
1970	8,633 m ³ / hab / año
1980	5,040 m ³ / hab / año
1990	3,326 m ³ / hab / año
2000	2,474 m ³ / hab / año
2010	2,004 m ³ / hab / año

Fuente: (CONAGUA, Estadísticas del agua, 2010)

En la Figura 1. Se observa como ha ido disminuyendo la disponibilidad de agua por habitante por año desde los años de 1950 hasta 2010 y se ilustra una proyección de la disponibilidad para el año 2030 de 3, 783 millones de metros cúbicos por habitante por año. Esta cifras indican que estaremos enfrentando serios problemas de disponibilidad de este vital líquido.

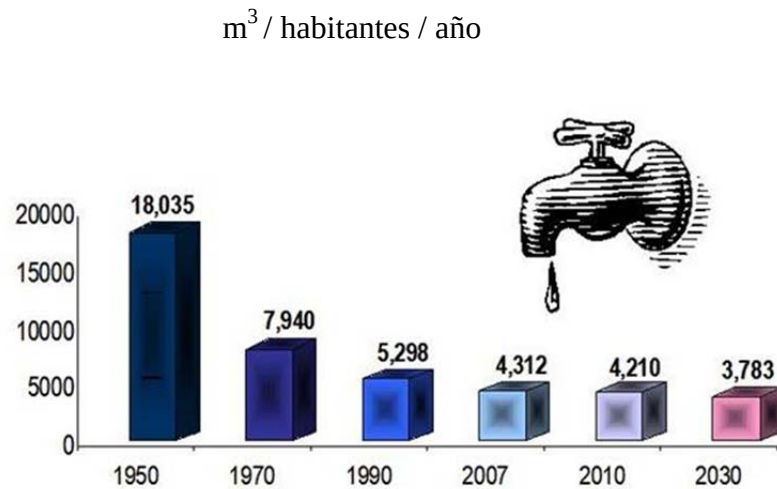


Figura 1. Disponibilidad natural media de agua en México

Fuente: (CONAGUA, Estadísticas del agua, 2008)

Los recursos hidráulicos potenciales de México ascienden aproximadamente a los 410,000 millones de metros cúbicos de agua. El agua en nuestro país es un bien escaso y estamos obligados a utilizarla racionalmente. La mayor parte del agua consumida es utilizada en: Agricultura (79,5%), para regar unas 3,500.000 Ha. El resto (20%), lo usamos en las industrias y en nuestros hogares (CONAGUA, Estadísticas, 2010). Se calcula que para el año 2025 la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5,100 m^3 por persona al año, pues se sumarán otros 2,000 millones de habitantes a la población del mundo. Aun entonces, esta cantidad sería suficiente para satisfacer las necesidades humanas siempre y cuando el agua estuviera distribuida por igual entre todos los habitantes del mundo (CONAGUA, Programa Nacional Hidráulico, 2008)

2.3 Disponibilidad de agua Baja California

El estado de Baja California se encuentra situado en la parte norte de México, donde el clima es clasificado como árido y semiárido, en su extensión territorial se han formado diferentes valles, donde el más importante es el de Mexicali. Se cuenta con una disponibilidad natural de agua de 3,562 millones de m³, de los cuales el 70% corresponden a aguas superficiales y el 30% a aguas subterráneas. Con respecto a las aguas superficiales, el estado cuenta con un escurrimiento anual de 2,470 Millones de m³ (75%) que corresponden al Río Colorado, conforme a lo establecido mediante el tratado internacional de aguas firmado por México y Estados Unidos en el año de 1944. El 25% restante del agua superficial disponible es aportada por distintas corrientes, entre los cuales destacan el Río Tijuana y los arroyos Guadalupe, San Vicente, San Simón y Santo Domingo. En cuanto a las aguas subterráneas, la Península de Baja California cuenta con 87 acuíferos de los que 8 están sobreexplotados, 9 tiene intrusión salina y 5 están bajo el fenómeno de suelo y agua subterránea salobre. En el estado se estima una recarga media anual de 1,300 millones de m³, incluyendo la mesa arenosa de San Luis Río Colorado, Sonora (CONAGUA, 2010)

2.4 El agua en Mexicali

El servicio de agua potable de la ciudad de Mexicali y en algunos poblados del valle, es administrado por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), que es un organismo descentralizado del Gobierno del Estado.

El agua de que se abastece Mexicali proviene del Río Colorado, el cual nace al norte del estado de Colorado, Estados Unidos de Norteamérica, se origina por deshielos de las montañas rocallosas a una altura de 14,000 pies (4,275 metros) y recorre aproximadamente 2,735 kilómetros, atravesando 7 estados de aquel país: Colorado, Utah, Wyoming, Nevada, California, Arizona y Nuevo México. Llegando a la presa Morelos, ubicada a una distancia de 85 kilómetros al oriente de la ciudad de Mexicali, el agua fluye a través de diversos canales de riego hasta llegar al canal Bennassinni. Este es el canal alimentador de las plantas potabilizadoras I y II de la ciudad de Mexicali (Ramírez, 2005)

El Río Colorado, permite irrigar la zona agrícola de las dos áreas estatales (aproximadamente 200,000 hectáreas) y la dotación de líquido establecida en el Tratado Internacional de Límites y Aguas firmado el 3 de febrero de 1943 firmado por México y los Estados Unidos, con el cual se garantiza anualmente una dotación volumétrica de 1,850 millones de metros cúbicos de agua.

La segunda fuente de abastecimiento de agua para la región agrícola proviene de la extracción del acuífero subterráneo con un volumen de 700,000 metros cúbicos y que son bombeados de 725 pozos profundos localizados en el Valle (Acosta R. , 2005)

EL agua subterránea está en el Valle de Mexicali y la mesa arenosa de San Luis Río Colorado, Sonora correspondiendo un 74% en volumen. El 26% del agua subterránea restante, se encuentra en aproximadamente 47 acuíferos de mayor a menor cuantía, destacando la correspondiente a San Quintín, Col. Vicente Guerrero y Maneadero (Acosta R. , 2005).

La precipitación registrada por la Subdirección Técnica de CONAGUA para el estado, ha sido del orden de 203.7 mm por año, en el período comprendido entre los años 1941 – 2009, el segundo más bajo del país después de Baja California Sur con 176.2 mm. La precipitación pluvial de Baja California es 3.8 veces menor que la media nacional (773.5mm)

Los bajos niveles de precipitación pluvial del estado son especialmente graves a la luz de la recarga de los acuíferos, cuyo caudal depende de las filtraciones de las lluvias (Colima, 2009).

2.5 Usos del agua potable en Mexicali

El agua es empleada de diversas formas y prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios. En la Tabla 2 se muestran las fuentes de agua y los volúmenes asignados a la CESP.

Tabla 2. Volumen de Agua asignada a CESPM

Total de metros cúbicos asignados a CESPM	m³
Volúmen Asignado de la Mesa Arenosa	82,000,000
Vol. Adquirido de derechos de riego agrícola	28,440,000
Vol. Adquirido de los poblados con agua superficial	8,202,000
Vol. Adquirido de los poblados con agua subterránea	10,444,684
Total	129,086,684

Fuente: CESPM, 2009

En la Tabla 3 se observa el volumen en metros cúbicos asignados a la CESPM, para los distintos usos durante 2009 y 2010.

Tabla 3. Usos de agua potable en m³

USO	2009	2010
Doméstico	62,557,930	61,057,149
Comercial	8,139,757	7,844,672
Industrial	3,374,445	3,491,249
Gobierno	7,403,952	6,707,011
Total	81,476,084	79,100,081

Fuente: CESPM, 2009

2.6 Las aguas residuales y su clasificación

Los niveles del agua subterránea están cayendo y todos los tipos de cuerpos de agua, incluyendo ríos, lagos y océanos se están volviendo cada vez más contaminados debido a la descarga de aguas residuales sin tratamiento (Stovall, 2007).

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales, agrícolas, comunitarias entre otras. (Mara, 1976). De acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

Domésticas: son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares. En la Figura 2 se muestra la composición de las aguas residuales domésticas.

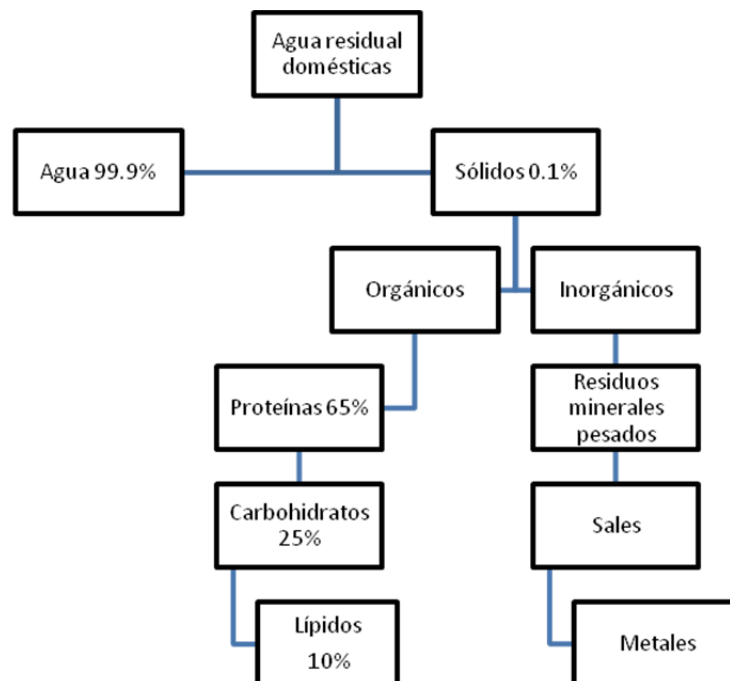


Figura 2. Composición de las aguas residuales domésticas

Fuente: (Mara, 1976)

Industriales: son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

Infiltración y caudal adicionales: las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

Pluviales: Son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

Actualmente, la contaminación de los cauces naturales tiene su origen en tres fuentes:
(Mendonca, 2000)

- Descargas urbanas
- Descargas industriales
- contaminación difusa (lluvias, lixiviados, etc.)

2.7 Clasificación de los contaminantes

Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas.

Contaminantes orgánicos

El material orgánico consiste de compuestos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en descargas urbanas y generados en la industria agroalimentaria. La materia biodegradable compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas (Kerri, 2008)

Proteínas: proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.

Carbohidratos: incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.

Aceites y grasas: altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

Contaminantes inorgánicos

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en las descargas generadas por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

Microorganismos Patógenos

Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales, son organismos vivos que no se disuelven en el agua sino que coagulan o se anexan a sustancias coloidales o sólidos en suspensión que están presentes en el agua.

Los tratamientos que se aplican a las aguas residuales pueden reducir mucho las concentraciones de organismos patógenos que se pueden encontrar pero aún es importante asegurar la eliminación completa y continua para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades a través de la reutilización del agua tratada.

Los principales agentes infecciosos para el hombre y los animales que pueden encontrarse en el agua residual bruta se pueden clasificar en tres grandes grupos: las bacterias, los parásitos (protozoos y helmintos) y los virus. En la Tabla 4, se enlistan los principales agentes infecciosos que podemos encontrar en un agua residual doméstica y las enfermedades a que pueden dar lugar (Salgot, 1994):

Tabla 4. Organismos infecciosos y enfermedades que causan

Organismo patógeno	Enfermedad
Protozoos	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disenteria amébrica)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiosis (disentería)
Helminos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Anquilostomiasis
<i>Necator americanus</i>	Necatoriasis
<i>Ancylostoma spp.</i>	Larva migrante cutánea
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidiasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis
<i>Taenia spp</i>	Teniasis
<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis
<i>Echinococcus granulosus</i>	Hidatidosi
Bacterias	
<i>Shigella</i> (4 especies)	Shigelosis
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella</i> (unas 1700 esp.)	Salmonelosis
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Escherichia coli</i> enteropatógena	Gastroenteritis
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersinosis
<i>Leptospira spp.</i>	Leptospirosis
Virus	
Enterovirus (71 tipos)	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis y otras (polio, echo, coxsackie)
Virus de la hepatitis A	Hepatitis infecciosa
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias
Rotavirus	Gastroenteritis
Parvovirus (2 tipos) Gastroenteritis	Gastroenteritis

Fuente: (Salgot, 1994)

Nutrientes

Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.

Materia orgánica refractaria

Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.

Metales pesados

Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.

Sólidos inorgánicos disueltos

Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual (Mara, 1989)

Contaminantes térmicos y radioactivos

Las descargas de las generadoras de energía que usualmente calientan el agua en sus procesos y exceden los límites de temperatura para descarga, deben contar con un proceso de enfriamiento del agua residual. Los residuos radioactivos pueden provenir de los hospitales, laboratorios de investigación y plantas nucleares.

El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante en los sistemas de tratamiento de agua residual. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos (Kerri, 2008)

2.8 Consecuencias de las descargas de aguas residuales

2.8.1 Aparición de fangos y flotantes

Existen en las aguas residuales sólidos en suspensión de gran tamaño que cuando llegan a los cauces naturales pueden dar lugar a la aparición de sedimentos de fango en el fondo de dichos cauces, alterando seriamente la vida acuática a este nivel, ya que dificultará la transmisión de gases y nutrientes hacia los organismos que viven en el fondo. Por otra parte, ciertos sólidos, dadas sus características, pueden acumularse en las orillas formando capas de flotantes que resultan desagradables a la vista y además, pueden acumular otro tipo de contaminantes que pueden llevar a efectos más graves (Ramalho y Jiménez, 2003)

2.8.2 Agotamiento del contenido en oxígeno

Los organismos acuáticos precisan del oxígeno disuelto en el agua para poder vivir. Cuando se vierten en las masas de agua residuos que se oxidan fácilmente, bien por vía químico o por vía biológica, se producirá la oxidación con el consiguiente consumo de oxígeno en el medio.

Si el consumo de oxígeno es excesivo, se alcanzarán niveles por debajo de los niveles necesarios para que se desarrolle la vida acuática, dándose una muerte masiva de seres vivos. Además, se desprenden malos olores como consecuencia de la aparición de procesos bioquímicos anaerobios, que dan lugar a la formación de compuestos volátiles y gases.

2.8.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno

”La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la oxidación microbiana o mineralización de la materia orgánica y es la medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 grados centígrados.

Los efectos de altas concentraciones de DBO en las descargas en los cuerpos receptores se muestran en la Tabla 5

Tabla 5. Cambios que ocurren con la eutroficación o eutrofización (por DBO)

Cambios biológicos	Aumenta considerablemente el fitoplancton. Las algas verde azules se desarrollan espectacularmente mientras que las de otros tipos desaparecen. Aumenta la actividad bacteriana. Los animales acuáticos enferman y mueren
Cambios físicos	Los restos de plantas y animales muertos se acumulan en los fondos, frenando la circulación del agua. El agua se torna parda y maloliente. Cambia de color: rojo, verde, amarillo o pardo
Cambios químicos	El oxígeno disuelto baja de alrededor de 9 mg/l a 4 mg/l lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos. Cuando el nivel baja a 2 mg/l todos los animales han muerto. Hay una significativa elevación de la demanda biológica de oxígeno (DBO). La concentración de compuestos nitrogenados, fosfatados se incrementa, así como la de otros elementos químicos.

Fuente: (Gutiérrez, 2000)

La DBO es una medición indirecta de la materia orgánica y es el método más extendido para la medición de la DBO dada la relación entre ésta y la disminución de oxígeno en los cuerpos receptores. Cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica presente, mayor será el consumo de oxígeno disuelto. (Allen, 2011). El valor de la DBO a cinco días representa en promedio a un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable” (Montoya, 2012)

2.8.4 Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales “se define como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 grados centígrados. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto”. Es la cantidad de sólidos que se encuentran en el licor mezclado. Esto es indicativo para ver el porcentaje de remoción en diferentes partes del tren de operación. (Romero, 2009)

Los sólidos suspendidos son principalmente de origen orgánico, están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte de los sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que formen una masa de sólidos suspendidos en el agua. Incluso las partículas de materiales inertes absorben sustancias en su superficie (Rendón, 2010)

2.8.5 Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* (ver Figura 3) y se transmiten por medio de los excrementos. La *Escherichia* es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales. Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte. (Durán, 2012). Son causantes de enfermedades llamadas comúnmente "de origen hídrico" tales como Salmonelosis (Tifoidea y Paratifoidea), Shigelosis, Cólera, Hepatitis, etc. Estos microorganismos son todos de origen entérico. Se sabe que los microorganismos patógenos que llegan a los depósitos de agua, proceden de las descargas intestinales de hombres y animales.

Ciertas especies de bacterias, particularmente *Escherichia coli*, y varios microorganismos similares, *Streptococcus* fecales (como *Streptococcus faecalis*) y *Clostridium perfringens*, son habitantes normales del intestino grueso de hombres y animales y en consecuencia siempre están en las materias fecales (Rincón, 2011)



Figura 3. Coliformes fecales

Así pues, la presencia de cualquiera de estas especies en el agua es evidencia de contaminación fecal y representa un riesgo de salud pública para la población.

Las grasas y los aceites: son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Éstas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar (Toapanta, 2012)

2.8.6 Eutrofización

Un aporte elevado de nitrógeno y fósforo en los sistemas acuáticos propicia un desarrollo masivo de los consumidores primarios de estos nutrientes; zoo y fitoplancton y plantas superiores. Estas poblaciones acaban superando la capacidad del ecosistema acuático, pudiendo llegar a desaparecer la masa de agua.

2.8.7 Otros efectos

Pueden ser muy variados y van a ser consecuencia de contaminantes muy específicas, como valores de pH por encima o por debajo de los límites tolerables, presencia de tóxicos que afecta directamente a los seres vivos, etc.

2.9 El tratamiento del agua residual

El agua es indispensable en nuestra vida cotidiana. La tomamos de la naturaleza, donde se encuentra limpia. La utilizamos en las industrias para hacer productos y en casa para diversas actividades. Como es lógico, se ensucia durante los distintos procesos. Si queremos que siempre sea útil, la debemos limpiar antes de devolverla a la naturaleza. Por eso, se construyen y operan plantas de tratamiento de agua residual, donde el agua sucia se limpia para ser descargada a un cuerpo receptor sin perjudicarlo.

El análisis y la elección de los procesos de tratamiento es uno de los aspectos más importantes del diseño de las plantas de tratamiento (Metcalf y Eddy, 1997), ya que cada planta es única, así que para estabilizarla y hacerla funcionar correctamente se necesita conocer la caracterización del agua de los influentes (Loaiza *et al*, 2010).

En un agua residual doméstica típica aproximadamente el 75% de los sólidos suspendidos y más del 50% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Son derivados del mundo animal como del vegetal y están relacionados a la síntesis de sus compuestos orgánicos [Baori, *et. al.*, 2007].

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso que persigue eliminar en la mayor cantidad posible la contaminación que lleva una descarga de agua residual antes de que éste incida sobre un cuerpo receptor, de forma que los niveles de contaminación que queden en el efluente ya tratado puedan ser asimilados de forma natural.

El agua llega a la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) a través de un sistema colectores y es impulsada por las estaciones de bombeo hacia la planta de tratamiento llevándola a través de los distintos procesos.

2.9.1 Pretratamiento o tratamiento pre-eliminar

Engloba a aquellos procesos que se sitúan a la entrada de la planta de tratamiento de agua residual para eliminar residuos sólidos de mayor tamaño, arenas y grasas, que de no ser separados dañarían mecánicamente los equipos de las siguientes fases de tratamiento y sedimentarían en las tuberías y conductos de la instalación, obstruyéndolos o bien producirían pérdida de eficacia.

Las rejillas detendrán piezas de madera, raíces, trapos y otros desechos. Para proteger los equipos y reducir cualquier interferencia en el flujo hacia la planta, estos desechos generalmente son removidos por rejillas mecánicas automáticas o manuales. En algunos casos se puede usar trituradores para el material que pasa a través de las rejillas, usualmente van instalados después de las rejillas de barras.

Los canales desarenadores se utilizan debido a que en la mayoría de los sistemas de drenaje se establece una pendiente suficiente para mantener un flujo de 0.6 metros por segundo (dos pies por segundo) para prevenir que las arenas se sedimenten en las tuberías y por consecuencia esta arena llegue a las plantas de tratamiento (Kerri, 2008). La arena debe ser removida al inicio del proceso debido a que es demasiado abrasiva y rápidamente deteriora las bombas y otros equipos. La medición de flujo no es exactamente un proceso de remoción de residuos contaminantes, pero es muy necesario e importante para un tratamiento eficiente, debido a que los registros del flujo sirven para realizar los cálculos de la tasa de bombeo, la dosificación, tiempo de retención, relación de alimento/microorganismos y otros. Entre los dispositivos más comunes encontramos el canal Parshall, el cual consiste en determinar la cantidad de agua que pasa en por una sección estrecha en un canal abierto. También están el medidor venturi, medidores magnéticos de flujo y otros más.

2.9.2 Tratamiento primario

Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación - floculación y filtración.

2.9.2.1 Sedimentación.

Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. El proceso consiste en la reducción de velocidad a 0.0009 metros por segundo (0.03 ft/seg), logrando que la materia inorgánica pesada o arenas sedimenten y la materia ligera flote en la superficie, esto hace que el agua se clarifique por eso a estos tanques de sedimentación se le conocen como clarificadores y usualmente son rectangulares. Están diseñados para proveer un tiempo de retención de 1.5 a 2 horas, con este tiempo aproximadamente el 60% de los sólidos habrán sedimentado o flotado respectivamente. Generalmente entre mayor sea el tiempo de retención mayor será la remoción (Kerri, 2008). La biomasa inventariada en el sedimentador debe ser proporcional a la que se encuentra en el reactor biológico (Grisolia, *et al.*, 2005)

En los sedimentadores circulares el flujo de agua suele ser radial, desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador. Al efectuarse la remoción de sólidos, se reducirá la demanda biológica de oxígeno. La forma de los equipos donde se lleva a cabo la sedimentación depende de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.). Cualquiera que sea la forma de los sedimentadores deberán de contar con un colector de lodos y material flotante (Kerri, 2008)

2.9.2.2 Flotación

Proceso físico fundamentado en la diferencia de densidades. La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie del fluido, ya que en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad. Se generan pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema.

Flotación por aire disuelto (DAF): En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire (Suarez y Omil, 2009)

Flotación por aire inducido: La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior (Suarez y Omil, 2009)

2.9.2.3 Coagulación - Floculación

En muchos casos parte de la materia en suspensión está formada por partículas de muy pequeño tamaño, lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma eficaz de eliminar la materia en suspensión, es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe_{3+} , Al_{3+}) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación (Suárez y Omil, 2009)

2.9.3 Tratamiento secundario

Estos sistemas constituyen una serie de importantes procesos de naturaleza biológica de tratamiento de las aguas residuales que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). La materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. También es necesaria la presencia de nutrientes, esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, es necesaria la presencia de oxígeno disuelto en el agua (Kerri, 2008). Los procesos aerobios se basan en la eliminación de los contaminantes orgánicos por su transformación en biomasa bacteriana, CO_2 y H_2O . Por lo anterior, debemos enfocarnos en lograr establecer en el reactor biológico un índice volumétrico adecuado para alcanzar las condiciones óptimas para el crecimiento de nemátodos, rotíferos, ciliados ramificados, ciliados de nado libre, flagelados y amebas (Marx y Schmidt, 2010). Un reactor biológico es una estructura donde las aguas residuales y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados y se produce una reacción biológica (Arana, 2009)

Los procesos anaerobios transforman la sustancia orgánica en biogás, mezcla de metano y CO₂. En la Figura 4 se muestra el diagrama de un sistema típico de tratamiento de agua residual.

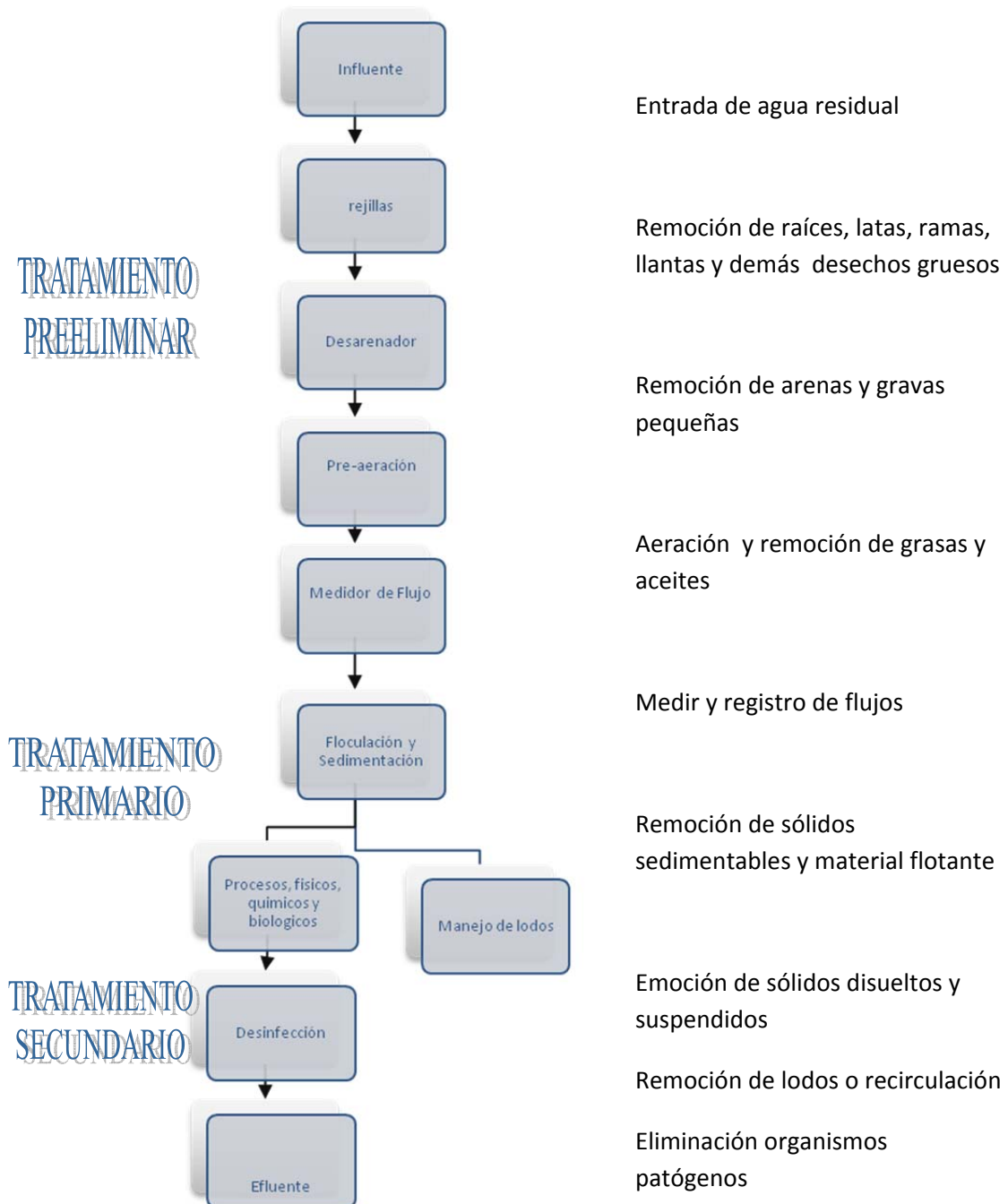


Figura 4. Etapas del tratamiento de agua residual

Fuente: (Kerri, 2008)

Tipos tratamientos secundarios más comunes del Agua residual

2.9.3.1 Lagunas de estabilización

La primera planta de lagunas fue en el antiguo oriente. La antigua Europa descargaba su agua residual en un cuerpo de agua como una laguna. El sistema lograba cumplir con el objetivo hasta que la sobrecargaron, como usualmente pasa en los sistemas modernos, haciendo de éstos un sistema insuficiente de tratamiento. En la antigüedad las lagunas y lagos fueron llenados a propósito con materia orgánica para promover el crecimiento de algas ya que esto aumentaba la producción de pescado debido al suministro de alimento que las algas proporcionaban.

“Existen cinco grupos principales: procesos anaerobios, procesos aerobios, procesos anóxicos, anóxicos combinados y procesos de lagunaje”. “Los objetivos del tratamiento biológico son tres: **a)** reducir el contenido en materia orgánica de las aguas, **b)** reducir su contenido en nutrientes, y **c)** eliminar los patógenos y parásitos. Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas” (Metcalf y Eddy, 1997)

Las lagunas artificiales de estabilización son normalmente diseñadas con una profundidad de 1 a 1.5 metros, y son usadas para el tratamiento de agua residual mediante procesos naturales actuando al mismo tiempo (Kerri, 2008). Los sólidos pesados sedimentan hacia el fondo donde son descompuestos por las bacterias. La materia suspendida es removida por las bacterias en suspensión. Una parte de las aguas residuales se evaporan de la superficie de la laguna.

Los nutrientes disueltos en la materia, como son nitrógeno y fósforo, son usados por las algas. Las cuales son plantas microscópicas flotantes y viven en el agua. Las algas usan el dióxido de carbono (CO_2) y el bicarbonato. Para su crecimiento las algas necesitan nitrógeno y fósforo para su metabolismo como la mayoría de las plantas. Al igual que la plantas en la tierra, las algas liberan oxígeno y algo de dióxido de carbono como desecho.

Las lagunas como sistema completo de tratamiento ofrecen muchas ventajas, si el costo del terreno de instalación no es caro y está apartado de las zonas residenciales, comerciales y áreas de recreación. Las ventajas de las lagunas son:

- No requieren equipamiento muy caro
- No se requiere personal especializado o con un entrenamiento muy avanzado
- Construcción económica
- Provee tratamiento igual o mayor que algunos procesos convencionales
- Ofrecen un tratamiento satisfactorio en estanques temporales
- Se adapta a diferentes cargas de Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Consume poca energía
- Sirve como un hábitat de vida silvestre
- Genera pocos lodos y esto disminuye el manejo y disposición de estos
- Probablemente es el sistema con menos problemas si fue diseñada correctamente y se opera debidamente

Las limitaciones de las lagunas:

- Pueden producir olor
- Requiere largas extensiones de terreno

2.9.3.2 Lodos activados

El tratamiento por lodos activados es un proceso biológico que usa los microorganismos para acelerar la descomposición de la materia orgánica. Cuando el lodo activado es agregado al agua residual, los microorganismos se alimentan y crecen en las partículas de la materia orgánica del agua residual. Para que los lodos activado funcionen eficientemente debe de contar con un balance de alimento (materia orgánica/microorganismos) y oxígeno, además se debe establecer en el reactor biológico un índice volumétrico adecuado para alcanzar las condiciones óptimas para el crecimiento de nemátodos, rotíferos, ciliados ramificados, ciliados de nado libre, flagelados y amebas” (Marx y Schmidt, 2010). En los sistemas aeróbicos, es importante el suministro de aire en el reactor biológico y debe mantenerse una concentración por arriba de 2 mg/L de oxígeno disuelto para un reactor biológico de aireación extendida” (Hermógenes, 2009)

Después del periodo de aireación, el agua residual es conducida al tanque secundario de sedimentación para la separación del agua de los sólidos. Los organismos sedimentados en el último clarificador se encuentran en una situación de deterioro por la falta de oxígeno y alimento, éstos deben de ser devueltos al tanque de aireación lo más pronto posible, este proceso es conocido como “recirculación de lodos” (Kerri, 2008). El efluente del clarificador es usualmente clorado y descargado en un cuerpo receptor. En la Figura 5 se puede muestran cada uno de los procesos que conforman un sistema de tratamiento de aguas residuales. La tecnología del sistema de lodos activados está razonablemente establecida, como sistemas ampliamente implementados para la remoción biológica de carbono, nitrógeno y/o fósforo (Castillo, 2011). En la literatura, la eliminación de nitrógeno y fósforo las eficiencias pueden variar dependiendo de la composición del medio y las condiciones ambientales, tales como; la concentración inicial de nutrientes, intensidad de la luz, relación nitrógeno / fósforo, luz / oscuridad (Zhang *et al.*, 2012).

Los organismos requerirán de un largo periodo para usar el alimento disponible en una concentración dada de materia orgánica. Una vez que está presente el alimento, los microorganismos inician su reproducción hasta alcanzar una fase de crecimiento exponencial mayor (Wutanabe, *et al.*, 2000). Algunos organismos competirán entre ellos por el alimento disponible. La tasa de alimento-microorganismos es de los principales parámetros de control en el proceso de lodos activados (Kerri, 2008).

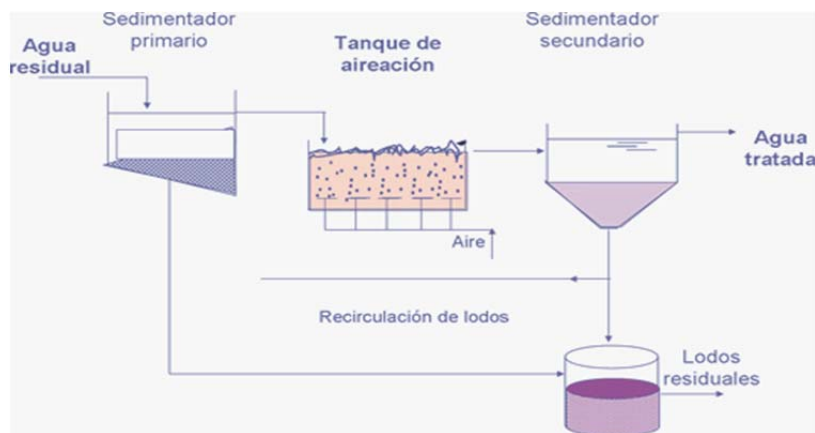


Figura 5. Diagrama de una Planta Lodos Activados

Fuente: Kerri, 2008

2.9.3.3 Filtros percoladores

Al igual que otros tratamientos secundarios, los filtros percoladores deben de contar con un tratamiento preliminar y primario, (rejillas, canales desarenadores, clarificador). Aunque el tratamiento primario es muy eficiente para la remoción de sólidos sedimentables, natas o material flotante, no es capaz de remover sólidos suspendidos pequeños o sólidos disueltos, los cuales podrían causar una fuerte demanda de oxígeno en el cuerpo receptor.

El tratamiento secundario en las plantas de agua residual tiene como objetivo remover los sólidos suspendidos muy pequeños (coloides) y los sólidos disueltos. Estos procesos logran una remoción general de sólidos suspendidos y DBO de 90% o más (Kerri, 2008). Los 3 tipos más comunes son lodos activados, contactores biológicos rotativos y filtros percoladores.

La mayoría de los filtros percoladores tienen características comunes como diámetros grandes, superficiales o poco profundos, cilíndricos y están llenos de piedras, cuenta con brazos para distribuir el agua residual alrededor del filtro que giran sobre un eje. De estas características se han hecho variaciones del diseño y se han construido (Kerri, 2008)

Cuando el filtro es construido con el medio filtrante natural (rocas) usualmente es cilíndrico y con una cama poco profunda, cuando el medio filtrante es sintético (plástico). El filtro puede ser cilíndrico o rectangular con una cama mucho más profunda o elevada, a este tipo de filtros también se le conoce como filtro torre o biotorres. Los diseños cuadrados o rectangulares son diseñados con un tren de rociadores para la distribución del agua residual.

Principios del tratamiento con filtros percoladores

Los filtros percoladores consisten básicamente en tres partes:

El medio filtrante- proporciona gran superficie donde los microorganismos se adhieren y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas residuales se percolan por el medio, los microorganismos digieren la materia orgánica y eliminan los contaminantes del agua residual. El medio pueden ser rocas, carbón, ladrillos, bloques de madera roja, moldes de plástico o algún otro material durable a las condiciones propias del proceso.

El medio filtrante debe ser acomodado de tal manera que deje espacios vacíos para circulación de aire y se mantengan las condiciones aerobias. El rango de profundidad o altura del medio puede ser de 1 a 2.5 metros para rocas y de 5 a 10 metros para el medio sintético (Kerri, 2008). En la Figura 6 se presenta un diagrama de un sistema de filtro percolador.

El desagüe o drenaje- es un sistema de captación debajo del medio filtrante, debe de tener una pendiente inferior, que conducirá toda el agua hacia el canal colector del efluente del filtro. Además, el sistema de drenaje realiza la función de sostener el medio filtrante y permite el flujo del aire. Los materiales comunes y métodos para construir el sistema de desagüe incluye el uso de bloques prefabricados de concreto, cerámica o arcilla vitrificada, y otros materiales que sean aptos

El sistema de distribución- en la mayoría de los casos es un distribuidor rotativo que consta de un soporte central donde dos o más tubos horizontales distribuyen el agua a centímetros arriba del medio y todo alrededor. El agua residual es alimentada a través de la columna central y dirigida hacia las tuberías horizontales y distribuida sobre el medio a través de orificios localizados a lo largo de los lados de tubería (brazos)

Los filtros percoladores contruidos con rocas tienen un 35% de espacios para el flujo del aire, mientras que los que se construyen con material sintético pueden tener hasta el 95% de espacios vacíos. Por lo tanto los filtros contruidos con material sintético tienen menores problemas de obstrucción por residuos, además de que pueden ser cargados a una tasa mayor si desarrollan problemas de taponamiento por crecimiento excesivo de la biopelícula, olores y moscas. Un método para incrementar la eficiencia de los filtros percoladores es agregar la recirculación. El proceso de recirculación consiste en regresar el efluente del filtro al medio filtrante, poniendo nuevamente el agua en contacto con la biopelícula aumentando así el tiempo de contacto. La recirculación usualmente se realiza en periodos de bajo flujo. Casi toda la materia orgánica en aguas residuales domésticas puede ser tratada exitosamente por los filtros percoladores, tales como procesos de comida, textiles, bebidas carbonatadas, productos lácteos y de fermentación, así como procesos de productos farmacéuticos, excepto las aguas residuales industriales o aquellas que contengan excesivas sustancias tóxicas como pesticidas, metales pesados, y altos grados de acidez y residuos alcalinos.

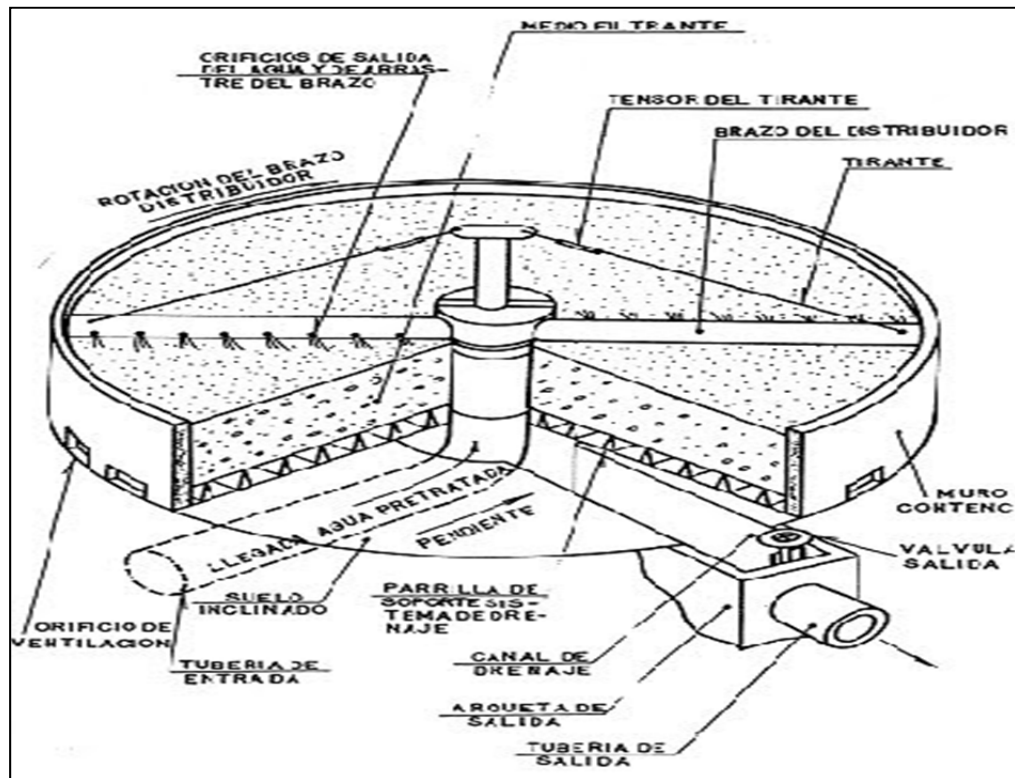


Figura 6. Diagrama del Filtro Percolador

Fuente: Kerri, 2008

2.9.3.4 Contactores biológicos rotativos (CBR)

Los contactores biológicos rotativos son un proceso de tratamiento secundario para aguas domésticas o de industrias con residuos biodegradables. Están formados por un eje rodeado de discos de plástico llamados “medio”, al eje y el medio se les conoce como “tambor”. En condiciones aptas, la biopelícula se forma en el medio, este proceso es muy similar al del los filtros percoladores, pero en los CBR el medio se sumerge al agua y conforme rota el tambor, el medio es expuesto a la atmósfera proporcionando el oxígeno a los microorganismos.

Los microorganismos remueven la materia orgánica del agua residual tratando el flujo paralelo y/o perpendicular al CBR de una etapa a otra o de un tanque a otro. Los discos de plástico usualmente están hecho de un plástico de alta densidad comúnmente de 3.6 metros de diámetro y son colocados en un eje horizontal de 7.5 metros de largo, debe de existir espacio entre cada disco para permitir la distribución del agua residual y el aire. El tambor rota a una velocidad promedio de 1.5 RPM y aproximadamente el 40% del medio se encuentra sumergido en el agua residual. Conforme el tambor gira, el medio levanta el agua residual y hace que fluya a través de la biopelícula en los discos, los organismos vivos usan la materia orgánica del agua como alimento y el oxígeno disuelto del aire, eliminando así los residuos del agua a tratar.

El CBR es usualmente dividido en 4 o más etapas. Cada etapa está separada por una pared de concreto o mamparas con un orificio que permite el flujo de una etapa a otra. Están configurados para que el flujo sea perpendicular al eje y las plantas con menos de 4 etapas son usualmente configuradas con flujo paralelo al eje. Los contactores biológico rotativos son cubiertos para controlar olores y para protegerlos de condiciones climáticas. En la Figura 7 se puede observar un diagrama de este tipo de sistemas.

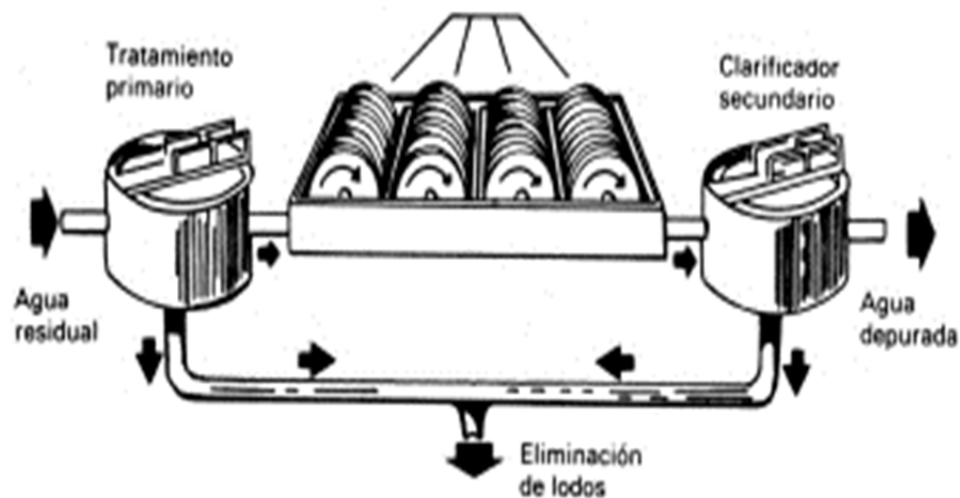


Figura 7. Diagrama del proceso: Contactores Biológicos Rotativos

Fuente: Kerri, 2008

2.9.4 Tratamiento terciario

La finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno.

Estos procesos son de naturaleza biológica o físico química, siendo el proceso unitario más empleado el tratamiento físico-químico. Este consta de una coagulación - floculación y una decantación.

Otros procesos empleados como tratamientos terciarios son las resinas de intercambios de iones, la adsorción en carbón activo, la ultrafiltración, la ósmosis inversa, etc.

2.9.4.1 Intercambio Iónico

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante. La aplicación habitual de estos sistemas, es por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones (Block, 2001)

2.9.4.2 Adsorción

Define la propiedad de ciertos materiales (adsorbentes) de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida en la que se encuentran. El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo.

Se utiliza para eliminar fenoles, hidrocarburos aromáticos nitrados, derivados clorados, etc., así como para eliminar olor, color y sabor. El adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo (Block, 2001)

2.9.4.3 Microfiltración y Ultrafiltración

El principio de la micro y ultrafiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente (Block, 2001)

2.9.4.4 Microfiltración

Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1 y 10 μm . La microfiltración puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de agua cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a 0.1 mm (Block, 2001)

2.9.4.5 Ultrafiltración

Permite retener moléculas cuyo tamaño oscila entre 0.001 y 0.1 μm (Block, 2001)

2.9.4.6 Ósmosis Inversa

Consiste en aplicarle a la disolución concentrada una presión superior a la osmótica, produciéndose el paso de disolvente (agua) desde la disolución más concentrada a la más diluida hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Usando esta técnica, se elimina la mayor parte del contenido en sales del agua (Kerri, 2008).

2.9.4.7 Desinfección

La desinfección consiste en eliminar o inactivar los microorganismos patógenos (que pueden causarnos enfermedades) dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. Estos pueden ser bacterias, hongos, protozoos y virus. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no sólo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua (Block, 2001)

Cloración

El cloro es uno de los desinfectantes más usado en el tratamiento de aguas residuales porque destruye los organismos al ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorados en forma sólida o líquida. Hay una serie de factores que influyen en el proceso: naturaleza y concentración de organismos a destruir, sustancias disueltas o en suspensión en el agua así como la concentración de cloro y el tiempo de contacto utilizado. Una buena dosificación de hipoclorito de sodio debe producir en el efluente una concentración de cloro entre 2 y 3 mg/L para asegurar una adecuada desinfección. Dependiendo de la eficiencia del proceso que le antecede será la fluctuación del consumo del hipoclorito de sodio. Si el proceso se mantiene estable la dosificación y oxidación será de igual forma estable (Hernández, *et. al.*, 2008)

Ozonización

La acción bactericida del ozono se debe a que se transforma en oxígeno molecular en un átomo de oxígeno. El oxígeno atómico es el oxidante más energético que se conoce. Actúa sobre el protoplasma de las bacterias y las destruye.

2.10 Normatividad para descargas y reuso del agua residual tratada

En México el reuso se encuentra regulado por la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Dentro de esta norma se tienen contempladas las actividades de reuso en el que la población se encuentra en contacto directo y/o indirecto con las aguas residuales.

Los tipos de **reuso con contacto directo** son aquellos en donde el público usuario esté expuesto directamente en contacto físico (llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseo en lancha, remo, canotaje y esquí, fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines)

Por otra parte, el **reuso de contacto indirecto** incluye aquellos en donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es

restringido (riego de jardines y camellones en autopistas, camellones de avenidas, fuentes de ornato, campos de golf abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos barreras hidráulicas de seguridad y panteones (Acosta, 2005)

Las principales normas con las que se regulan las aguas residuales domésticas son las siguientes:

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Especificaciones:

En la Tabla 6 se muestra la frecuencia de la toma de muestras para el análisis de concentración de contaminantes. La contaminación o concentración de los contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para la descarga de las aguas residuales a agua o bienes nacionales, no debe de exceder el valor indicado como límite máximo en las Tablas 7 y 8. Estos parámetros son determinados en la propia norma.

Tabla 6. Frecuencia de Muestreo

Frecuencia de Muestreo			
Horas por día que opera el procesos generador de la descarga	Numero de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo N.E.	Máximo N.E.
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
de 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N.E. No específico

Fuente: (SEMARNAT, 1996)

Tabla 7. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
(mg/l, excepto cuando se especifique)	Uso de riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso de riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso de riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	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 a ° C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
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 suspendidos totales	150	200	75	125	4	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
DBO	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	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.

Fuente: (SEMARNAT, 1996)

Tabla 8. Límites máximos permisibles para Metales y Cianuros

PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
(mg/l)	Uso de riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso de riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso de riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	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.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	0.1	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

Fuente: (SEMARNAT, 1996)

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas y es responsable de dichas descargas. Esta norma no es aplicable a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria o que sean distintas a las aguas de procesos y conducidas por drenajes separados.

Especificaciones: Los límites máximos permisibles no deben de ser superiores a lo que indica la Tabla 7. Para grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simple. La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales.

Los límites máximos permisibles para los parámetros de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), son los establecidos en las NOM-001-SEMARNAT-1996 Tabla 7. Al no cumplir con el punto anterior, se puede optar por remover la DBO y SST mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal deberá: Asegurar que no genera perjuicio al alcantarillado urbano o municipal, sufragar los costos de inversión, mantenimiento y operación, entre otros.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1996

Establece los límites permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

Reusos con contacto directo.- es el que se destina a actividades donde el público usuario está expuesto directamente o en contacto físico. La norma considera: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

Reusos con contacto indirecto u ocasional.- donde el público este en contacto de manera indirecta o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia.

La norma considera los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas; camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes se sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos y barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Especificaciones: Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas se muestran en la Tabla 9

Tabla 9. Límites máximos permisibles de contaminantes

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Fuente: (SEMARNAT, 1996)

La materia flotante debe ser ausente

El agua residual tratada reusada en servicio al público no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna de embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola, indicados anteriormente en la Tabla 8.

2.11 El reuso del agua residual tratada en el mundo

En países desarrollados el uso planificado (de agua residual tratada) es más común, como en los casos de Israel, Australia, Alemania y los Estados Unidos. Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales, se plantea que un 70% del agua que demandará la agricultura en 2040 va a ser obtenida mediante el tratamiento de efluentes. Se estima que una décima parte o más de toda la población mundial consumen actualmente alimentos que se producen con aguas residuales, aunque no siempre de una manera segura. (RUAF, 2002)

Internacionalmente las actividades que más utilizan aguas residuales recuperadas son las siguientes:

- Riego agrícola y de áreas verdes de parques, cementerios, campos deportivos y jardines.
- Actividades industriales, fundamentalmente para torres de enfriamiento, alimentación de calderas, necesidades de los procesos entre otros y para garantizar calidad del agua y se adecuada para reuso, por lo general se requieren tratamientos avanzados.
- Recarga de acuíferos subterráneos.
- Alimentación de lagos recreativos, acuicultura, descarga de inodoros, sistemas contra incendios. (CIDEA, 2002)

En Cuba, prácticamente no se reusan las aguas residuales domésticas tratadas para riego agrícola. Sólo en el sector del turismo se utilizan las aguas residuales de algunos hoteles para el riego de sus áreas verdes y campos de golf. (Almest, 2005)

Tipos de reutilización del agua residual tratada

En la Tabla 10, se presenta una clasificación de los tipos de reuso del agua residual doméstica tratada por área y nos plantea algunas de las aplicaciones o usos de esta.

Tabla 10. Tipos de reutilización y aplicaciones del agua residual tratada

Tipo de reutilización		Aplicaciones	
Riegos agrícolas	Consumo humano		• Cultivos para consumo humano no procesados
	Cuidar que no se consumen o que se consumen después de procesarlos.		• Forrajes, pastos • Fibra • Viveros, semillas • Acuicultura • Biomasa vegetal
	Riego localizado superficial	• Posibilidad de contacto con público y trabajadores	• Sin limitación de calidad para conreos aéreos.
	Riego localizado subterráneo.	• Sin posibilidades de contacto con público y trabajadores	• Sin limitación de calidad para conreos aéreos
Usos recreativos	Cuidado de uso	• Actividades sin contacto	• Campos de golf y pesca • Remo/ navegación
Mejora ambiental		• Creación de estanques • Creación de zonas húmedas • Mejora de paisajes	• Zonas húmedas para tratamientos • Recuperación/ mantenimiento de zonas húmedas • Implantación/ cambios de vegetación.
Recarga de aguas subterráneas.	Calidad de agua potable	• Aplicación en profundidad	• Recarga de acuíferos explotados para abastecimiento
	Otras calidades	• Aplicación en superficie • Aplicación en profundidad	• Lucha contra subsidencia • Lucha contra intrusión • Tratamiento de aguas residuales

Usos urbanos	Sin restricciones (calidad máxima)	• Riego de zonas verdes • Otros usos	• Parques urbanos • Jardines • Patios de escuela • Aire acondicionado • Fuentes ornamentales • Agua para incendios • Campos de deporte
	Riego en zonas de acceso restringido (control del uso)	• Riego en zonas en la que el acceso de público es poco frecuente y controlado.	• Cementerio • Cinturones verdes • Áreas residenciales • Zonas verdes en vías de comunicación.
	Otros usos sin calidad máxima		• Limpieza de vehículos • Limpieza de calles • Tanque de inodoro • Construcción
Tipo de reutilización		Aplicaciones	
Ganadería	Calidad potable		• Agua de bebida
	Calidad no potable		• Limpiezas • Arrastre de residuos
Acuicultura animal			• cría de peces y moluscos
Reutilizaciones industriales		• Agua de proceso • Agua para limpieza/ lavado • Enfriamientos • Obras públicas	• Calderas • Agua para refrigeración • Agua para enfriamiento • Control del polvo • Compactación de suelos
Reutilización potable	Calidad potable	• Agua de abastecimiento	• Suministro total • Mezcla con otras fuentes
	Concepto de barrera múltiple		

Fuente: Salgot, 1994.

2.12 Reuso de agua residual en Baja California

En la medida en que el consumo de agua se incrementa, las aguas residuales producidas por las comunidades urbanas y las industriales también lo hacen, por lo que plantean problemáticas potenciales para la salud y el medio ambiente. Cada vez se buscan métodos más seguros, inofensivos para el medio ambiente y eficaces en función de los costos para el tratamiento y eliminación de las aguas residuales. En Baja California se tienen pocas experiencias en materia de reuso de esta agua. Se han venido dando el reuso del agua residual tratada en los usos de riego de áreas verdes, agrícolas, industriales y ecológicos. En los municipios de Tijuana y Playas de Rosarito se han implementado algunas acciones para reutilizar los efluentes de algunas plantas de tratamiento, sobre todo en las plantas Rosarito I y Rosarito Norte; además se practica el reuso en el sector privado en los clubes Campestre y Real del Mar. También se cuenta con la experiencia del proyecto ECOPARQUE de El Colegio de la Frontera Norte, a partir del cual se riega la ladera donde se ubican sus instalaciones, y asimismo, se utiliza como sitio de observación en programas de educación ambiental a estudiantes de distintos niveles educativos (Plan, 2010).

2.13 El reuso del agua residual tratada en Mexicali

En el caso del agua residual de Mexicali se ha tomado como recurso viable para usos en áreas verdes, industriales y reuso ecológico. En el año 2010 en la ciudad trato 55, 898,565.5 metros cúbicos de agua residual, 1, 809,575 en el valle y 2, 227,132 en San Felipe. El reuso en la ciudad se presentó de acuerdo a la tabla 11 observando un mayor aprovechamiento en el reuso ecológico con un 37.3% que corresponde a la recarga de ríos básicamente. (CESPM, 2010).

Tabla 11. Porcentaje de distribución de reuso del agua residual tratada

ÁREAS VERDES	INDUSTRIAL	AGRÍCOLA	ECOLÓGICO
1.1%	19.8%	14.0%	37.3%

En Mexicali actualmente existe una línea morada para reuso en la zona urbana, la información se muestra en la tabla 12 y podemos apreciar que se han instalado tubería de diferentes diámetros sumando en total una longitud aproximada de 22.285 kilómetros.

Tabla 12. Información de línea morada en Mexicali

MATERIAL	DIÁMETRO (Pulgadas)	CIUDAD DE MEXICALI	VALLE Y SAN FELIPE	MUNICIPIO DE MEXICALI
PVC	4", 6", 10" y 12"	22,285 m	0	22,285 m

La figura 8 representa el plano donde se ubica la línea morada en la ciudad de Mexicali. Algunas de las avenidas que aprovechan el agua para riego de sus camellones son la carretera a Tijuana, el Boulevard Lázaro Cárdenas, parte del Río Nuevo y Anáhuac.

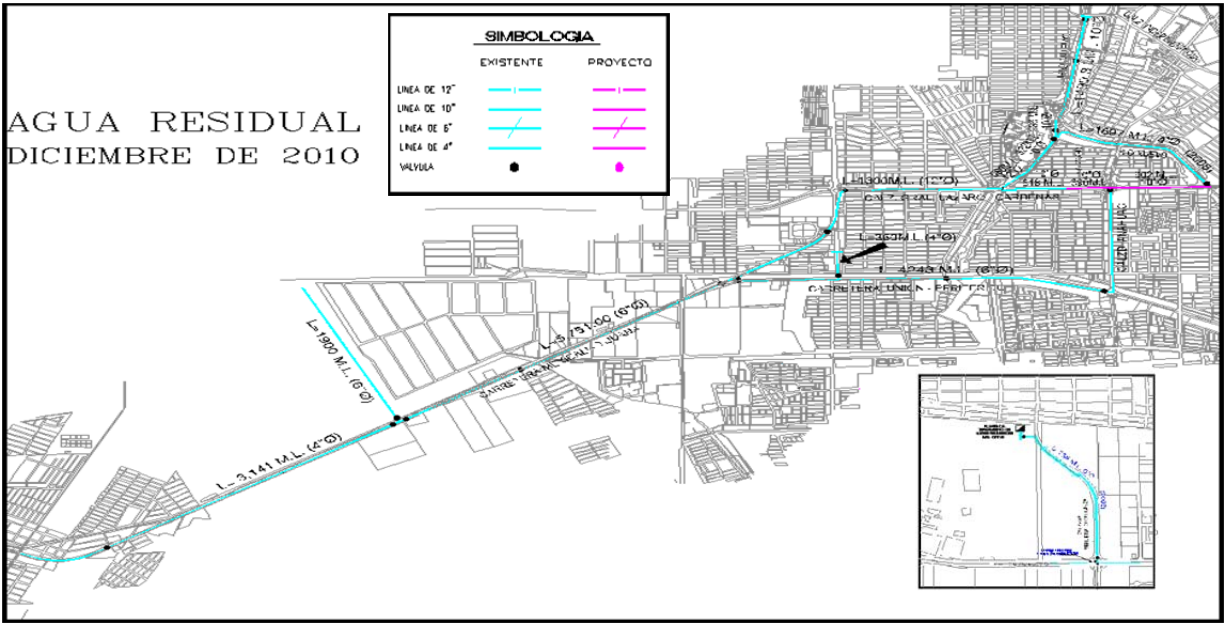


Figura 8. Línea morada instalada y proyección en ciudad de Mexicali

Fuente: Dirección de Planeación, CESPM 2010

CAPÍTULO 3

MÉTODO

- 3.1 Investigación bibliográfica para la reutilización de las aguas residuales domésticas en una vivienda.
- 3.2 Recopilación de información escrita en las siguientes instituciones:
 - a. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM)
 - b. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
 - c. Comisión Estatal del Agua (CEA)
- 3.3 Inventarios de plantas de tratamiento en Mexicali.
- 3.4 Diagnóstico la calidad de agua de los efluentes de las PTAR's en Mexicali.
- 3.5 Elaboración de tablas comparativas de las concentraciones promedio de los parámetros de calidad del agua, con los datos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997.
- 3.6 Elaboración de plan de estrategias para un mejor aprovechamiento de las aguas residuales tratadas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.2 Inventario con fichas técnicas de las plantas de tratamiento de agua residual en Mexicali

4.2.1 Planta de Tratamiento Zaragoza

Información General: La planta Zaragoza se encuentra ubicada en Mexicali, municipio de Baja California, y fue puesta en operación en el año de 1974, la ubicación geográfica media de la planta es $32^{\circ}36'28''$ latitud norte y $115^{\circ}32'37''$ longitud oeste. Su capacidad instalada de tratamiento es de 1300 l/s. el procesos consiste en lagunas aireadas de mezcla parcial. La foto 2, tomada con el programa Google earth, nos muestra la ubicación de la planta de forma aérea, con esto podemos visualizar los alrededores de la PTAR y darnos una mejor idea de su ubicación.



Foto 1: Ubicación de PTAR Zaragoza

Acceso a la planta: Se ubica dentro de la ciudad de Mexicali, aproximadamente en el km 2 de la carretera Mexicali-Tijuana a la altura de la Col. Zaragoza, con un acceso pavimentado de 350 m, donde se encuentra una caseta de vigilancia para controlar el acceso al personal y visitantes, la vigilancia es permanente.

Pretratamiento: Recibe las aguas de las zonas Mexicali I y Mexicali III, por medio de una estructura de vertido conocida como caja de llegada, el pretratamiento inicia en el canal de rejillas, siendo estas automáticas con cribas y rejillas para atrapar la basura, material grueso y flotante, consta de una banda transportadora que la lleva a un compactador para extraerle la humedad antes de verterla a un contenedor; el agua continua hasta unas compuertas para distribuir el agua en dos desarenadores tipo ciclón, este elemento tiene un soplador y un elevador y distribuidor de arenas en donde se depositan en un contenedor, tanto éste como el contenedor de basuras son retirados y dispuestos en el relleno sanitario por una empresa particular especializada; continuando por la estructura, aguas arriba recibe las descargas de la planta de bombeo vecina No. 8 que cuenta con su pretratamiento; siguen hacia una estructura Parshall para medir y registrar el caudal y volúmenes del efluente mediante un aparato marca Magne Sonics, de donde el agua continua su tránsito a una caja derivadora que reparte el agua mediante orificios con tubería operados mediante compuertas manuales. En este proceso se percibe un ligero olor característico de las aguas residuales, el cual es reducido mediante la aplicación de cloruro férrico en las plantas de bombeo, que le da un color gris oscuro a las aguas.

Tratamiento: El agua se reparte en tres lagunas aireadas de mezcla parcial, en donde dos de ellas cuentan con 8 aireadores eléctricos tipo cañón con flotadores, la restante solamente tiene cuatro, estos son operados ya sea desde el centro de control de motores (CCM) para cada laguna, o bien mediante un control para cada línea de aireadores instaladas en los bordos de la laguna; las lagunas están revestidas parcialmente en la parte media del talud interior con mampostería juntada con mortero de cemento-arena, en esta etapa el color del agua se observa gris verdoso; cada laguna descarga a su vez a una laguna de sedimentación de menor profundidad que las anteriores, con revestimiento en el talud interior desde la corona hasta el borde de la plantilla con geomembrana o liner, en esta el color del agua se torna un poco más verde, de estas tres el agua se reparte en dos trenes, norte y sur, cada tren consta de cuatro lagunas de maduración o pulimento, las lagunas cuentan con enroscamiento en el talud interior, además tienen instalada un bafle o mampara a lo largo, alternando la entrada y salida en los extremos opuestos. La distribución del agua en los diferentes elementos lagunares se realiza mediante compuertas manuales.

En la visita se pudo observar que se realizan trabajos en la primera laguna aireada, misma que esta temporalmente sin operar, consistiendo en prolongar la tubería para que la descarga sea ahogada, por debajo de la superficie del agua, para disminuir los olores causados por la turbulencia, los trabajos también se realizarán en las dos lagunas aireadas restantes.

Desinfección: El sistema de desinfección consta de un edificio de bloques de concreto y celosía para su ventilación con puertas de hierro y sistema de alarmas, la desinfección se realiza con cloro, para lo cual se cuenta con cilindros de gas cloro (uno conectado y dos de reserva) de 907 kg de capacidad, cuarto de controles, tubería para mezcla de agua cloro para dosificarla en el efluente, precisamente en el canal antes de que entre el agua en una tubería de aproximadamente 400 m de longitud que sirve como cámara de contacto. El hipoclorito de sodio al 12%, es un agente muy efectivo para eliminar microorganismos residuales, compuestos orgánicos y otros patógenos al oxidarlos (Rivera R., *et. al.*, 2007)

Tratamiento de lodos: Aun no se han realizado sondeos de batimetría para conocer el espesor de lodos depositados en el fondo de las lagunas. Se dispone de un sitio en lo que fue anteriormente una laguna aeróbica para disponer de los lodos tratados; se cuenta con dos dragas para realizar los trabajos de extracción de lodos.

Medición: Tanto en la entrada como en la descarga se cuenta con medidores de gasto, con registro automático, en el afluente en el canal cuenta con una estructura tipo Parshall para registrar el nivel de agua mediante un medidor marca Magne Sonics modelo MSC900 y en el efluente se registra en una estructura tipo vertedor con un aparato marca Endress y Hauser modelo FMU90

En otros puntos se cuenta con medición, para registrar los volúmenes de aguas crudas y de las aguas tratadas que se entregan a la planta La Rosita la Termoeléctrica Azteca, S.A. de la empresa Intergen, de las aguas tratadas a la Termoeléctrica de Mexicali (TDM) de Sempra Energy, a la planta terciaria, también se observa un puente en el canal de conducción de aguas tratadas a la descarga con un medidor y un muestreador automático del agua y finalmente con el fin de conocer con precisión los volúmenes aprovechados en el reuso, se instalará otro medidor para las aguas tratadas para el riego agrícola.

Descarga de las aguas tratadas: La descarga al dren Internacional se observa en general en buenas condiciones, con agua de color verde por la presencia de algas, sin olor y sin espumas, no hay malezas ni basura en la zona inmediata. El agua descargada después de recorrer prácticamente todo el desarrollo del río Nuevo, tiene como destino final el Salton Sea distante aproximadamente 70 km al norte de Mexicali, en territorio de EUA.

Reuso de las aguas tratadas o sin tratar: Se cuenta con una planta de tratamiento terciario, en este momento opera con 12 l/s, se le adiciona sulfato de aluminio y cloro, consta de dos clarificadores, filtros a presión de arena, tanque hidroneumático y dos tanques de regulación, una bomba para la red de distribución de agua tratada, tanto para aprovecharlo internamente en el riego de la cortina de árboles y otra con aproximadamente 18 km de longitud para el riego de los camellones.

Una parte de agua cruda es vendida a la empresa Termoeléctrica Azteca filial de la multinacional Intergen que cuenta con una planta de tratamiento de lodos activados para utilizar el efluente en los procesos de enfriamiento; otra parte del volumen de agua tratada se comercializa a Termoeléctrica de Mexicali (TDM) de la multinacional Sempra Energy que la destina para el mismo fin.

La tabla 13 muestra los resultados de la calidad de descarga y reuso del agua residual doméstica tratada en 2010 obtenidos de los análisis que realizó el laboratorio de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali de la PTAR “Zaragoza”. En este cuadro comparativo se resaltan con un marco rojo los parámetros que excedieron los límites máximos permisibles para reuso del agua residual tratada para reuso con contacto directo requeridos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, además de contener los valores establecidos para reuso con contacto indirecto de la misma norma, por último los valores de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga de aguas en bienes nacionales. En la Figura 9 se muestra el plano PTAR, el cual se observa la distribución del tren de tratamiento y sus componentes.

Tabla 13. Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Zaragoza.

Sistema: PTAR Zaragoza, Mexicali I					Sitio de descarga: Dren Internacional, Coordenadas Longitud 115° 30' 00", Latitud 32° 39' 30"																
Capacidad de diseño: 1300 lps					Tipo de Tratamiento: Lagunas Aireadas Mezcla Parcial																
Gasto promedio anual 2010: 807 LPS					U-pH	°C		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	NMP/100 ml	Huevos/l		
LMP NOM 001 SEMARNAT-1996					6 A 10	40	Ausente	0.20	0.20	2.00	6.00	1.00	0.010	4	0.40	20	150	25	125	2000	5
FECHA	No. MUESTRA	Efluente General	pH	TEMP. AGUA Compuesta	MATERIA FLOTANTE	ARSENICO	CADMO	CIANURO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC	DBO5	GRASAS Y ACEITES	S.S.T.	COLIFORMES FECALLES NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO		
08 y 09-Ene-10	7133	Efluente Gral.	8.14	12.7	Ausente	0.005	0.082	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	58.87	9.95	48	8.87	<1		
19 y 20-Feb-10	0155	Efluente Gral.	7.95	19.9	Ausente	0.001	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.048	42.04	4.93	38	10.07	<1		
24 y 25-Mar-10	0324	Efluente Gral.	8.06	18.5	Ausente	0.001	0.02	0.004	0.04	0.11	0.002	0.14	0.231	0.044	24.02	8.07	42	5.92	<1		
16 y 17-Abr-10	0419	Efluente Gral.	8.19	22.3	Ausente	0.001	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.168	0.215	0.017	51.45	5.36	40	50.26	<1		
06 y 07-Mayo-10	0501	Efluente Gral.	8.22	26.1	Ausente	NA	0.02	0.004	0.04	0.11	0.003	0.14	0.135	0.019	39.59	3.83	36	240.00	<1		
28 y 29-Mayo-10	0598	Efluente Gral.	8.18	23.7	Ausente	NA	0.034	0.00	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.031	30.45	3.10	46	6.23	<1		
25 y 26-Jun-10	0730	Efluente Gral.	8.24	29	Ausente	NA	0.02	NA	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.107	50.75	4.45	34	20.08	<1		
28 y 29-Jul-10	0870	Efluente Gral.	8.57	10.6	Ausente	NA	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.016	39.59	4.67	56	16.17	<1		
27 y 28-Sep-10	1128	Efluente Gral.	8.22	30.9	Ausente	0.001	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.010	36.54	3.84	74	205.95	<1		
15 y 16-Oct-10	1200	Efluente Gral.	8.13	26.3	Ausente	0.002	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.021	17.1	3.69	20	3.00	<1		
12 y 13-Nov-10	1333	Efluente Gral.	7.99	16.2	Ausente	0.002	0.011	0.006	0.024	0.1	0.0009	0.047	0.119	0.039	6.09	9	57	3.00	<1		
03 y 04-Dic-10	1446	Efluente Gral.	8.18	10.3	Ausente	0.001	0.011	0.003	0.024	0.1	0.0009	0.047	0.119	0.039	36.54	9	38	11.46	<1		
Efluente	Maximo		8.57	30.90	0.00	0.01	0.08	0.01	0.04	0.11	0.00	0.17	0.23	0.11	58.87	9.95	74.00	240.00	0.00		
	Promedio		8.19	20.95	Ausente	0.00175	0.02	0.003	0.04	0.11	0.00191	0.13	0.11	0.03	36.24	5.69	45.62	47.08	<1		
	Minimo		7.95	10.30	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.10	0.00	0.05	0.08	0.01	6.09	3.10	20.00	3.00	0.00		
NOM 003	C.DIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.1	0.1	1	4	0.5	0.005	2	0.2	20	20	15	20	240	<=1		
	C. INDIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.2	0.2	2	6	1	0.01	4	0.4	20	30	15	30	1000	<=5		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

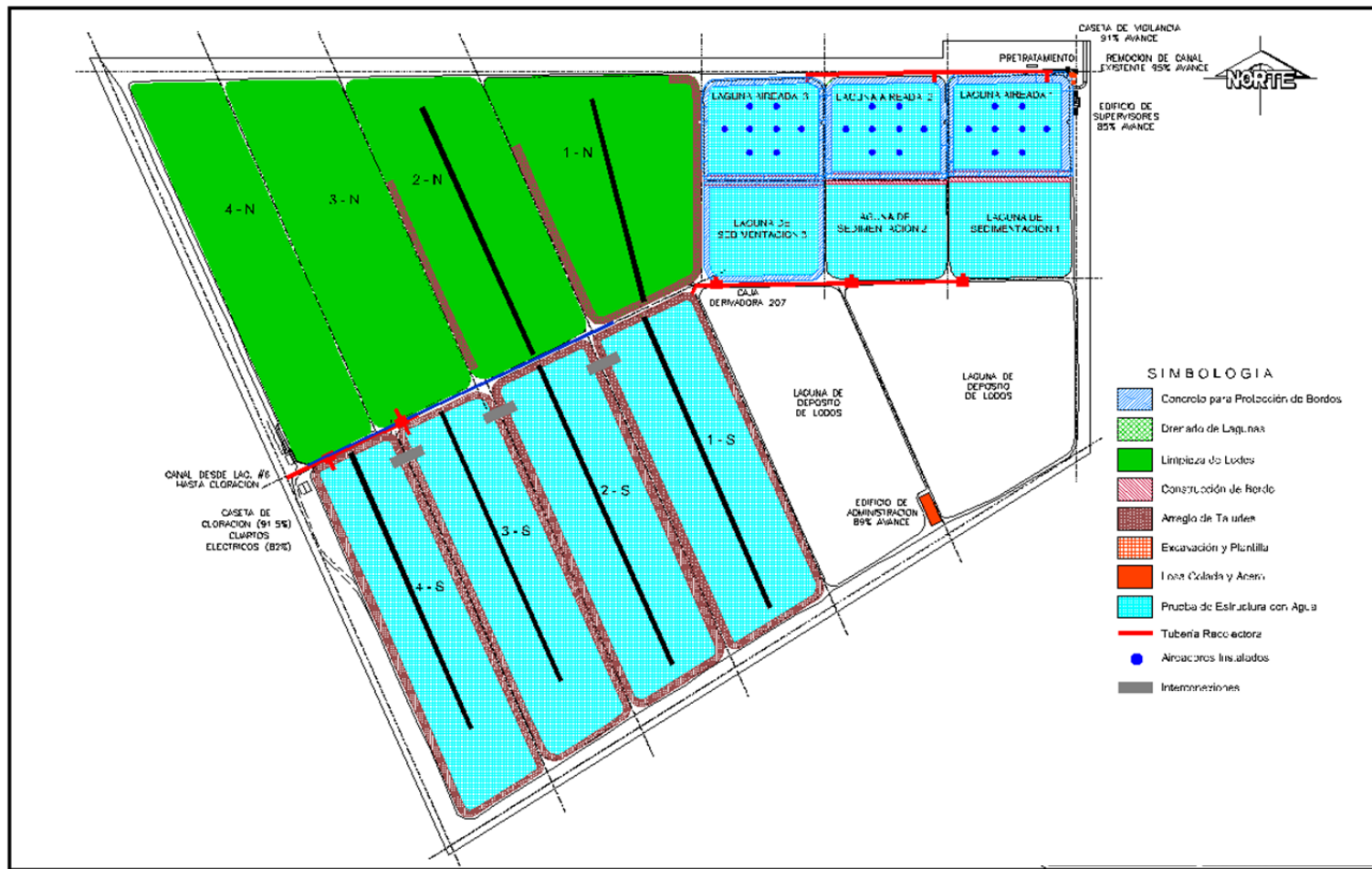


Figura 9. Plano de planta de tratamiento de agua residual Zaragoza.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

4.2.2 Planta de Tratamiento Arenitas

Información General: Arenitas se puso en operación el en año 2007 con una capacidad de 840 l/s, se encuentra ubicada Al sur de Mexicali, en el Km 29 de la carretera a San Felipe en el municipio de Mexicali, Baja California. La localización media geográfica de la planta es 32°25'08" latitud norte y 115°19'19" longitud oeste. El proceso de tratamiento consiste en lagunas aireadas de mezcla parcial y se da reuso al efluente de la planta para la agricultura, recarga ecológica. La foto 2, tomada con el programa Google earth, nos muestra la ubicación de la planta de forma aérea, con esto podemos visualizar los alrededores de la PTAR y darnos una mejor idea de su ubicación.

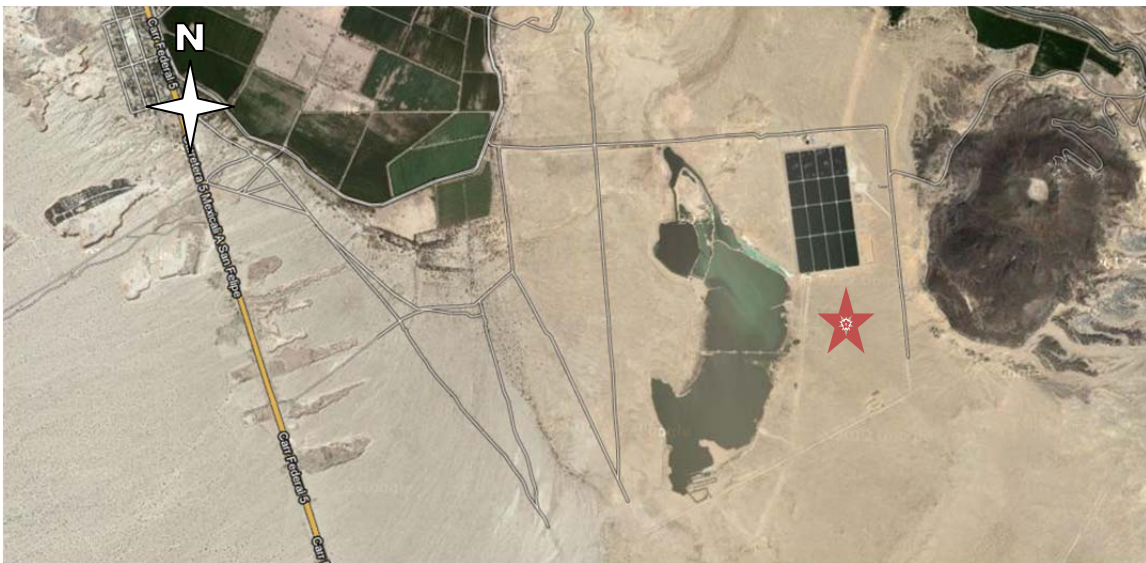


Foto 2: Ubicación de PTAR Las arenitas

Acceso a la planta: Se ubica al sur de la ciudad de Mexicali a un total de 27 km, correspondiendo 21.5 km recorriendo hacia el sur por la carretera Mexicali-San Felipe, hasta llegar a un camino de terracería por donde se recorren 2.5 km hacia el oriente hasta alcanzar los terrenos de la planta, a partir de este punto, se recorren aproximadamente otros 3 kilómetros en terracería hasta finalmente alcanzar el sitio de la planta. Se cuenta con restricciones al acceso, con una caseta de control del personal y visitantes. Las superficie total del predio en donde se localiza la planta es de 605 ha, de los cuales 35 ha son ocupadas por la planta y otras instalaciones.

Pretratamiento: Este proceso se realiza en la Planta de Bombeo No. 4 (PBAR 4), que se localiza en la Colonia Satélite en la periferia de la ciudad, que maneja todas las aportaciones de la zona denominada Mexicali II; consta de dos canales de entrada de concreto armado de 5 metros de longitud, con cribas mecánicas de limpieza automática para el retiro de sólidos flotantes, rejillas y tamices con limpieza también automática para la separación de sólidos flotantes; además, con un sistema desarenador mecánico para separar sedimentos como lodos, arenillas, etc., este material se lava y la basura se compacta, el material recolectado se deposita en contenedores para posteriormente ser retirado y dispuesto en un sitio especial por una compañía privada. También, aparte del bombeo, en la PBAR 4 se cuenta con equipo para la generación e inyección de oxígeno puro a las aguas residuales, para reducir los efectos sépticos derivados de conducir a presión mediante una línea de 48 pulgadas de diámetro de hierro dúctil por una distancia de 27 km, además de la reducción de sulfuros y protección contra la corrosión, para lo cual se construyeron y equiparon las instalaciones especiales constando principalmente de un edificio que aloja al compresor, secador, elevador, medidor Venturi, para inyectar a la línea principal de aguas residuales el oxígeno; también se le agrega a la solución cloruro férrico entre otros productos químicos para la reducción de gases. Se tiene un problema con los sólidos ya que periódicamente se tapa la tubería y es necesario desarmar toda la sección, retirando en forma manual todo el material que obstruye la tubería.

Tratamiento: El agua llega a una caja de concreto armado, en donde se instaló una estructura Parshall para medir los niveles del agua, cuenta con un equipo Magne Sonics para registrar los volúmenes y caudales de entrada a la planta; de este punto, inmediatamente el efluente se distribuye a los cuatro trenes de tratamiento con que consta la planta, cada uno con capacidad de 210 l/s por medio de tuberías controlados con compuertas manuales; se reparte a los cuatro trenes, en donde el primer proceso es de lagunas aireadas de mezcla parcial, para lo cual se equipó cada una con seis aireadores de 15 HP y sopladores de 2 HP para tener 102 HP por tren y 408 totales, estos equipos son accionados en el cuarto de control o bien en los controles manuales instalados en los bordos, las lagunas están construidas con bordos producto del material excavado, revestidas en la plantilla con arcilla compactada, en el talud interior con geomembrana o liner.

La descarga a la laguna es en el centro del bordo de la misma, la salida al siguiente paso es mediante vertedor ubicado al centro. En esta etapa de tratamiento, durante la visita el agua se observó de una coloración gris con olor característico perceptible. Continuando con el proceso se pasa a las lagunas de sedimentación, que también están revestidas con arcilla compactada en la plantilla y geomembrana en los taludes interiores, el agua se aprecia de un color gris más claro y con la disminución de los olores; posteriormente el agua continua su tratamiento en las lagunas facultativas y las lagunas secundarias y maduración también con las mismas características constructivas, observándose que el color cambia a gris verdoso.

Desinfección: El sistema de desinfección consta de un edificio con estructura de concreto armado, muros de bloques de cemento y celosía para su ventilación, con puertas de hierro tubular, está dotado con sistema de alarmas y equipo de seguridad para el personal; la desinfección se realiza con cloro, para lo cual se cuenta con cilindros de gas cloro de 907 kg de capacidad, cuarto de controles, con las tuberías para mezcla de agua cloro para dosificarla en el efluente, para lo cual se cuenta con una cámara de contacto de cloro; el día de la visita se observó la producción de espumas, sobretodo brotando del brocal en un pozo de visita inmediato a la cámara.

Tratamiento de lodos: Aún no se han realizado sondeos de batimetría para conocer el espesor de lodos depositados en el fondo de las lagunas. Se dispone de un sitio para el secado de lodos, se prevé aprovechar los lodos tratados en la elaboración de composta para mejorar el suelo para la forestación.

Medición: Tanto en la entrada como en la descarga se cuenta con medidores de gasto, con registro automático, en el afluente en la caja de llegada tiene una estructura tipo Parshall para registrar el nivel de agua mediante un medidor marca Magne Sonics modelo MSC900 y en el efluente se registra en una estructura tipo vertedor con un aparato marca Endress y Hauser modelo FMU90 ubicado en el dren de descarga; se instalará otro medidor en el canal de salida del humedal artificial, al igual se prevé contar con registro de control midiendo el volumen de agua en otras actividades que se vayan incorporando.

Descarga de las aguas tratadas: La descarga se realiza al dren Dos Tubos mediante una línea a gravedad con tubería de PVC de 36 pulgadas de diámetro de 9.5 km de longitud, de donde se colectan después de transitar por el humedal artificial; las aguas tratadas continúan escurriendo hacia el sur por drenes agrícolas mezclándose con aguas de retorno agrícola, hasta llegar al Río Hardy en cual existen campamentos turísticos en donde las aguas que se concentran en estos puntos son utilizadas en deportes acuáticos principalmente.

Reuso de las aguas tratadas o sin tratar: La planta fue concebida para que en un momento todas las aguas tratadas sean aprovechadas en otras actividades; por lo cual con el fin de mitigar los efectos ambientales y mejorar la calidad de las aguas tratadas, se construyeron lagunas artificiales que se transforman en humedales mediante la división de ellas y con la siembra de especies vegetales del tipo ripario que propician el mejoramiento del agua, como son tule, álamos y sauces, que con la vegetación nativa se constituirá en centro de esparcimiento a mediano plazo. En las lagunas se han identificado la presencia de varias especies de aves migratorias, principalmente patos.

Con el fin de aprovechar el agua y soportar la siembra de especies vegetales se siembra especies nativas principalmente mezquite o adaptables al clima y suelos, con el fin de propiciar la forestación; también, antes de su descarga al dren Dos Tubos se deriva para aprovecharlas en el riego de pastos forrajeros.

La tabla 14 muestra los resultados de la calidad de descarga y reuso del agua residual doméstica tratada en 2010 obtenidos de los análisis que realizó el laboratorio de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali de la PTAR “Arenitas”. En este cuadro comparativo se resaltan con un marco rojo los parámetros que excedieron los límites máximos permisibles para reuso de agua residual tratada para reuso con contacto directo requeridos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, además de contener los valores establecidos para reuso con contacto indirecto de la misma norma, por último los valores de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga en aguas y bienes nacionales. En la Figura 10 se muestra el plano de la PTAR, el cual se observa la distribución del tren de tratamiento y sus componentes.

Tabla 14. Cuadro comparativo de calidad del agua en el efluente de la PTAR-Arenitas vs NOM-003-SEMARNAT-1997

Sistema: PTAR Arenitas			Capacidad de diseño: 840 lps Gasto promedio anual 2010: 744 LPS																
			U-pH	°C		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	NMP/100 ml	Huevos/l
LMP NOM 001 SEMARNAT-1996			6 A 10	40	Ausente	0.20	0.20	2.00	6.00	1.00	0.010	4	0.40	20	150	25	125	2000	5
FECHA	No. MUESTRA	EFLUENTE	pH	TEMP. AGUA Compuesta	MATERIA FLOTANTE	ARSENICO	CADMO	CIANURO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC	DBO5	GRASAS Y ACEITES	s.s.T.	COLIFORMES FECALES NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO
15 y 16-Ene-10	0015	LAG. ARTIFICIAL	7.98	13.6	Ausente	0.001	0.02	0.004	0.102	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	42.63	5.67	64	341.34	<1
12 y 13-Feb-10	0118	LAG. ARTIFICIAL	8.05	14.5	Ausente	0.001	0.02	0.005	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.041	37.54	4.56	36	641.00	<1
26 y 27-Feb-10	0192	LAG. ARTIFICIAL	8.35	14.6	Ausente	0.001	0.035	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	50.05	7.72	74	42.85	<1
16 y 17-Mar-10	0288	LAG. ARTIFICIAL	8.19	21.8	Ausente	0.006	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.04	52.05	3.89	24	28.30	<1
20 y 21-Abril-10	0438	LAG. ARTIFICIAL	8.27	19.1	Ausente	0.0001	0.02	0.005	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.015	57.46	16.85	32	86739.8	<1
18 y 19-Mayo-10	0546	LAG. ARTIFICIAL	8.72	24.3	Ausente	NA	0.02	0.008	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	27.41	3.11	64	63.19	<1
04 y 05-Jun-10	0629	LAG. ARTIFICIAL	8.43	27	Ausente	NA	0.02	0.013	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.056	15.23	3.10	46	24.20	<1
15 y 16-Jun-10	0686	LAG. ARTIFICIAL	8.5	31.1	Ausente	NA	0.02	0.234	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.03	50.79	10.03	116	190.43	<1
09 y 10-Jul-10	0779	LAG. ARTIFICIAL	9.04	32.6	Ausente	NA	0.02	0.026	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	28.93	5.36	106	38.54	<1
06 y 07-Ago-10	0913	LAG. ARTIFICIAL	8.59	31.5	Ausente	0.001	0.02	0.004	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	25.71	8.10	74	52.87	<1
27 y 28-Ago-10	0984	LAG. ARTIFICIAL	8.23	30.3	Ausente	0.002	0.02	0.004	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	38.06	3.1	76	3123.46	<1
24 y 25-Sep-10	1119	LAG. ARTIFICIAL	8.38	27.4	Ausente	0.001	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	55.45	3.47	80	1695.67	<1
08 y 09-Oct-10	1172	LAG. ARTIFICIAL	8.26	22.2	Ausente	0.001	0.02	0.004	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	44.7	3.12	54	365.32	<1
07 y 08-Nov-10	1277	LAG. ARTIFICIAL	8.29	22.3	Ausente	0.001	0.011	0.014	0.024	0.101	0.003	0.047	0.119	0.03	22.84	9	70	112.28	<1
19 y 20-Nov-10	1368	LAG. ARTIFICIAL	8.18	16.7	Ausente	0.001	0.011	0.005	0.024	0.101	0.0009	0.098	0.119	0.03	42.63	9	100	436.67	<1
10 y 11-Dic-10	1480	LAG. ARTIFICIAL	7.97	15.6	Ausente	0.001	0.011	0.003	0.024	0.101	0.0009	0.064	0.119	0.03	46	9	62	97.94	<1
Efluente		Maximo	9.04	32.60	0.00	0.01	0.04	0.23	0.10	0.11	0.00	0.14	0.12	0.06	57.46	16.85	116.00	86739.81	0.00
		Promedio	8.34	22.79	AUSENTE	0.00	0.02	0.02	0.04	0.11	0.0019	0.13	0.09	0.02	39.84	6.57	67.38	240.69	<1
		Minimo	7.97	13.60	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.10	0.00	0.05	0.08	0.01	15.23	3.10	24.00	24.20	0.00
NOM 003	C.DIRECTO	6 A 10	40	AUSENTE	0.1	0.1	1	4	0.5	0.005	2	0.2	20	20	15	20	240	<=1	
	C. INDIRECTO	6 A 10	40	AUSENTE	0.2	0.2	2	6	1	0.01	4	0.4	20	30	15	30	1000	<=5	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Comisión Estatal de servicios Públicos de Mexicali. 2010

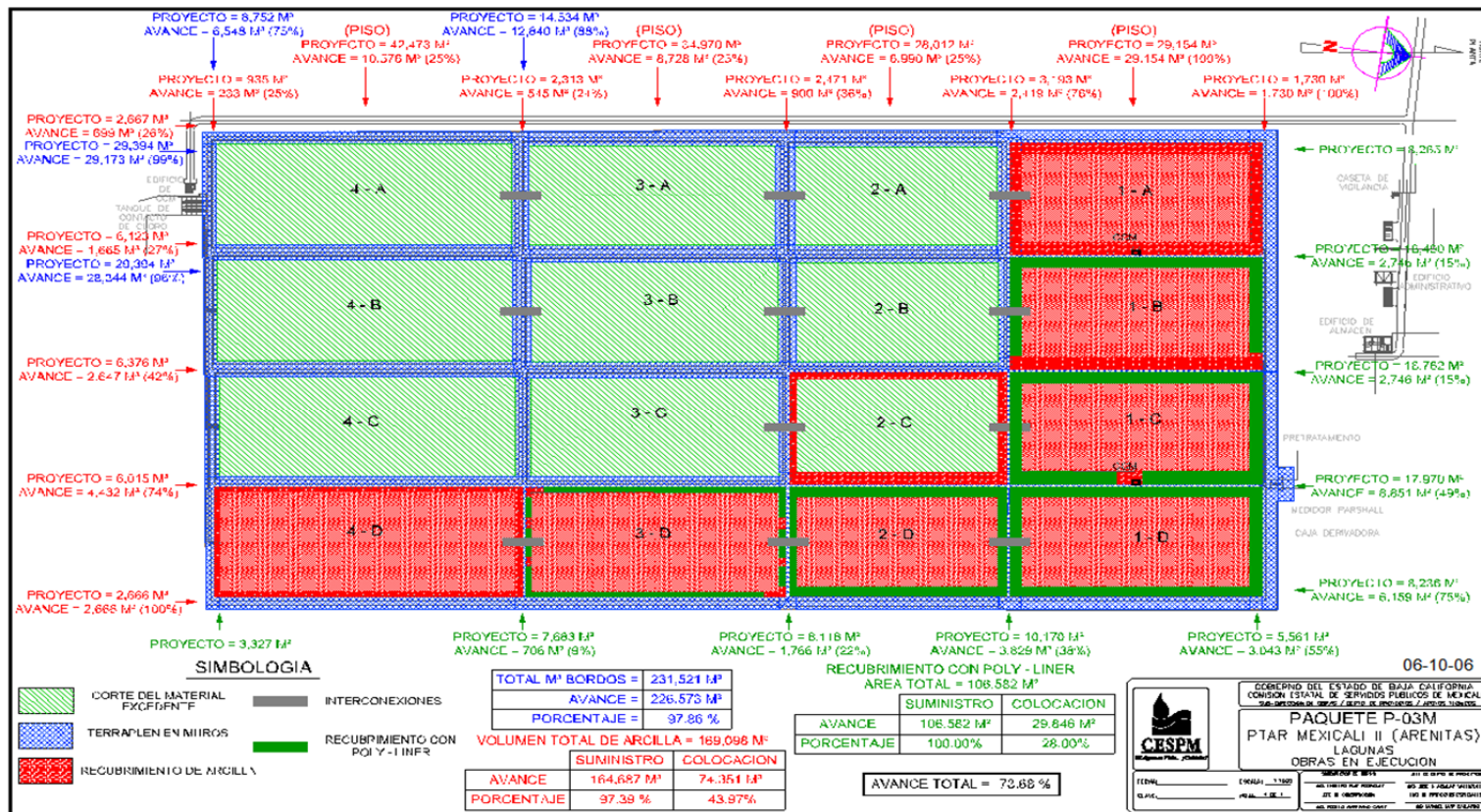


Figura 10. Plano de planta de tratamiento de agua residual “Arenitas”.

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

4.2.3 Planta de Tratamiento Estación Coahuila

Información General: La planta de tratamiento Estación Coahuila es regulada y operada por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali se encuentra ubicada en la ciudad estación Coahuila, en el municipio de Mexicali, con coordenadas geográficas 32°09'04" latitud norte y 115°00'03" longitud oeste. Se construyó con una capacidad de diseño de 20 litros por segundo y fue puesta en operación durante el año 2008. El proceso de tratamiento consiste en lagunas aireadas de mezcla parcial. La foto 3, tomada con el programa Google earth y nos muestra la ubicación de la planta de forma aérea. Con esto podemos visualizar los alrededores de la PTAR y darnos una mejor idea de su ubicación.

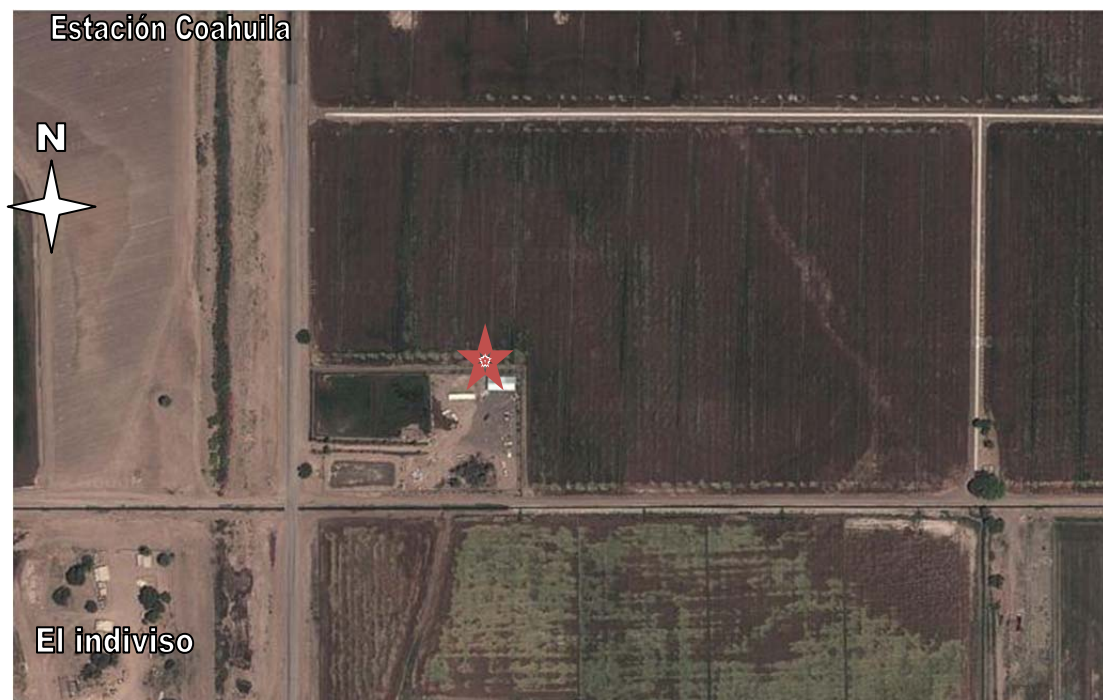


Foto 3: Ubicación de PTAR Estación Coahuila

Acceso a la planta: Las instalaciones de la planta se encuentran a 3 km al sur de la ciudad, a la orilla este de la carretera estatal No. 7 que lleva al poblado El Indiviso; el acceso es controlado en una caseta de vigilancia permanente de seguridad privada.

Pretratamiento: El agua es bombeada desde la ciudad hasta una estructura de concreto armado, de donde transita por una rejilla rectangular metálica de limpieza manual, para recoger el material grueso y flotante, después pasa en la misma estructura a un canal desarenador a gravedad, que consta de dos cuerpos del mismo, que se alternan en su operación, también de limpieza manual, cuentan para su distribución con compuertas con vástago y volante de operación manual, de esta, por la misma estructura alcanza un Parshall para el registro de los niveles por medio de un medidor de flujo marca Magne-Sonics, para registrar el volumen del afluente. Al momento de la visita se detectaron olores apenas perceptibles característicos de las aguas residuales.

Tratamiento: De esta estructura se distribuye el agua primeramente pasa a una laguna aireada de mezcla parcial, dotada de cuatro aireadores direccionales tipo cañón con agitador de 5 HP y sopladores de 1.5 HP, esta laguna está revestida en sus taludes con mampostería con piedras juntas con mortero de cemento, para evitar la infiltración al subsuelo se colocó arcilla en la plantilla de la laguna, los aireadores son controlados automáticamente desde el edificio de operación en donde se alojan los controles, o bien desde el bordo de las lagunas en donde para cada aireador se cuenta con un control manual, el agua se puede apreciar de un color gris verdoso; posteriormente, el agua pasa mediante compuertas a la laguna facultativa, revestida con geomembrana o liner en los taludes y en la plantilla, para mejorar sus condiciones hidráulicas se instaló un baffle o mampara al centro, en este proceso el agua pasa a un color verdoso; continuando con los procesos, el agua se transfiere a una laguna de maduración, también revestida con geomembrana o liner en taludes y plantilla, en este sitio el agua se torna un poco más transparente sin perder el color verdoso; los caminos de operación constituidos por los bordos de las lagunas no están revestidos en su totalidad; de esta laguna el agua pasa a la desinfección.

Otra infraestructura o instalaciones: Se cuenta con caseta dotada con pluma para el control y registro del acceso de las personas las 24 horas, edificio de oficina, también se aloja el centro de control de motores (CCM); se puede observar que se cuenta con postes con luminarias, que se prenden toda la noche.

Se tiene un pequeño sistema protegido con malla y paredes y techo metálico para dar presión a la derivación de un acueducto distante aproximadamente 100 m de este punto, de donde se toma agua potable para los usos comunes en la oficina, sanitarios y ducha. Como la planta tiene pocos meses de operar, los elementos que la componen no tienen problemas aparentes.

Desinfección: Se cuenta con instalaciones para la desinfección del agua proveniente de las lagunas de maduración, consistente en un edificio con muros de bloque de cemento, losa de concreto armado, puerta metálica, celosía lateral de concreto en el área de almacén de controles, medidores y dosificadores de desinfectantes, que consiste en gas cloro, el cual se realiza mediante dos tanques de 65 kg, además se observan letreros de avisos y advertencia, alarma sónica y de luz en caso de fugas de gas cloro, ducha y goggles para inspección de instalaciones; en el exterior, en una pileta de concreto se observan las bombas de ayuda para la solución de agua clorada, para que mediante una línea de conducción con tubería de aproximadamente 1000 metros de longitud a gravedad, en cuyo recorrido se realiza el contacto con el cloro hasta descargar a un dren agrícola localizado al norte de la planta.

Tratamiento de lodos: Debido a que la construcción de la planta se fue durante el año 2007, aun no se ha generado lodos, para lo cual se programará próximamente un sondeo para verificar la presencia de lodos, cuando se extraigan se depositarán en las lagunas de secado construidas en el mismo predio de la planta. Vale la pena mencionar que a los lodos generados producto del tratamiento, se pueden agregar los depositados por la generación de polvo en la región, debido a la acción del viento.

Medición: A la llegada del afluente se cuenta con estructura de medición de niveles consistente en un Parshall con un registrador automático marca Magne Sonic, los caudales del efluente o en la descarga cuenta con una estructura Parshall y un medidor Endress y Hauser, para llevar el registro y control de los caudales del volumen descargado.

Descarga y reuso de las aguas tratadas: En la descarga no se detecta ningún tipo de olores el agua es de color claro y transparente, la descarga es libre mediante una estructura de concreto construida en el talud del dren sobre la margen derecha inmediatamente aguas arriba del puente sobre la carretera.

El agua tratada no se aprovecha en algún tipo de uso, se prevé plantar especies arbóreas y arbustivas tolerantes a los suelos salino-sódicos característicos del predio en donde se ubica la planta; en cuanto a los agricultores vecinos se han acercado pero desean que se les construya la infraestructura de conducción hasta el pie de su parcela, y que el agua sea totalmente gratis.

La tabla 15 muestra los resultados de la calidad de descarga y reuso del agua residual tratada en 2010 obtenidos de los análisis que realizó el laboratorio de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali de la PTAR “Estación Coahuila”. En este cuadro comparativo se resaltan con un marco rojo los parámetros que excedieron los límites máximos permisibles para reuso de agua residual tratada para reuso con contacto directo requeridos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, además de contener los valores establecidos para reuso con contacto indirecto de la misma norma, por último los valores de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga en aguas y bienes nacionales. En la Figura 11 se muestra el plano de la PTAR, el cual se observa la distribución del tren de tratamiento y sus componentes.

Tabla 15. Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Estación Coahuila

Sistema: PTAR ESTACION COAHUILA					Sitio de descarga: Km 0+70 Dren sub-ramal 1+00 ramal izq. 9+520 del dren Plan de Ayala, Coord. Longitud 115° 0.0' 5.08"; Latitud 32° 9' 5.55"														
Capacidad de diseño: 20 lps					Tipo de Tratamiento: Lagunas Aireadas Mezcla Parcial														
Gasto promedio anual 2010: 8.89 LPS																			
			U-pH	°C		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	NMP/100 ml	Huevos/l	
LMP NOM 001			6 A 10	40	Ausente	0.20	0.20	2.00	6.00	1.00	0.010	2	0.40	20	150	25	125	2000	5
FECHA	No. MUESTRA	EFLUENTE	pH	TEMP. AGUA Compuesta	MATERIA FLOTANTE	ARSENICO	CADMO	CIANURO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC	DBO5	GRASAS Y ACEITES	S.S.T.	COLIFORMES FECALIS NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO
11 y 12-Ene-10	7143	Efluente general	8.14	13.4	Ausente	<0.007	0.095	0.010	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	8.12	5.06	42	3.00	<1
08 y 09-Feb-10	0101	Efluente general	8.27	14.6	Ausente	0.004	0.02	0.012	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.055	11.34	4.23	48	3.00	<1
08 y 09-Marzo-10	0237	Efluente general	8.11	15.9	Ausente	0.002	0.02	0.005	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	16.22	6.36	34	3.00	<1
19 y 20-Abril-10	0429	Efluente general	8.00	23.9	Ausente	0.005	0.02	0.006	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	8.5	3.25	40	3.00	<1
11 y 12-Mayo-10	0512	Efluente general	8.49	23.3	Ausente	NA	0.023	0.019	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	13.40	6.41	42	3.00	<1
07 y 08-Jun-10	0638	Efluente general	8.60	30.2	Ausente	NA	0.02	0.055	0.04	0.11	0.0021	0.14	0.08	0.01	70.0	4.75	110	25.75	<1
13 y 14-Jul-10	0797	Efluente general	8.94	36	Ausente	NA	0.02	0.018	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.028	18.27	3.99	48	26.01	<1
09 y 10-Ago-10	0922	Efluente general	9.14	31.2	Ausente	0.002	0.02	0.085	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	38.0	3.06	92.3	42.00	<1
07 y 08-Sep-10	1051	Efluente general	8.44	28.5	Ausente	0.004	0.02	0.015	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	25.8	7.27	94.2	160.62	<1
18 y 19-Oct-10	1218	Efluente general	8.51	21.8	Ausente	0.009	0.02	0.007	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.02	31.9	5.62	130	145.71	<1
10-Nov-10	1299	Efluente general	7.33	NA	Ausente	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.40E+07	NA
07-Dic-10	1449	Efluente general	7.12	NA	Ausente	0.008	0.015	NA	0.05	<0.101	<0.0009	0.048	<0.119	0.37	365	90.4	413	2.40E+07	NA
Efluente		Maximo	9.14	36.00	0.00	0.01	0.10	0.09	0.04	0.11	0.002	0.14	0.12	0.06	70.04	9.00	130.00	160.62	0.00
		Promedio	8.47	22.65	AUSENTE	0.004	0.03	0.02	0.04	0.11	0.002	0.12	0.09	0.02	25.35	5.67	63.47	36.87	<1
		Minimo	8.00	13.40	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.10	0.001	0.05	0.08	0.01	8.12	3.06	34.00	3.00	0.00
NOM 003	C.DIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.1	0.1	1	4	0.5	0.005	2	0.2	20	20	15	20	240	<=1
	C.INDIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.2	0.2	2	6	1	0.01	4	0.4	20	30	15	30	1000	<=5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

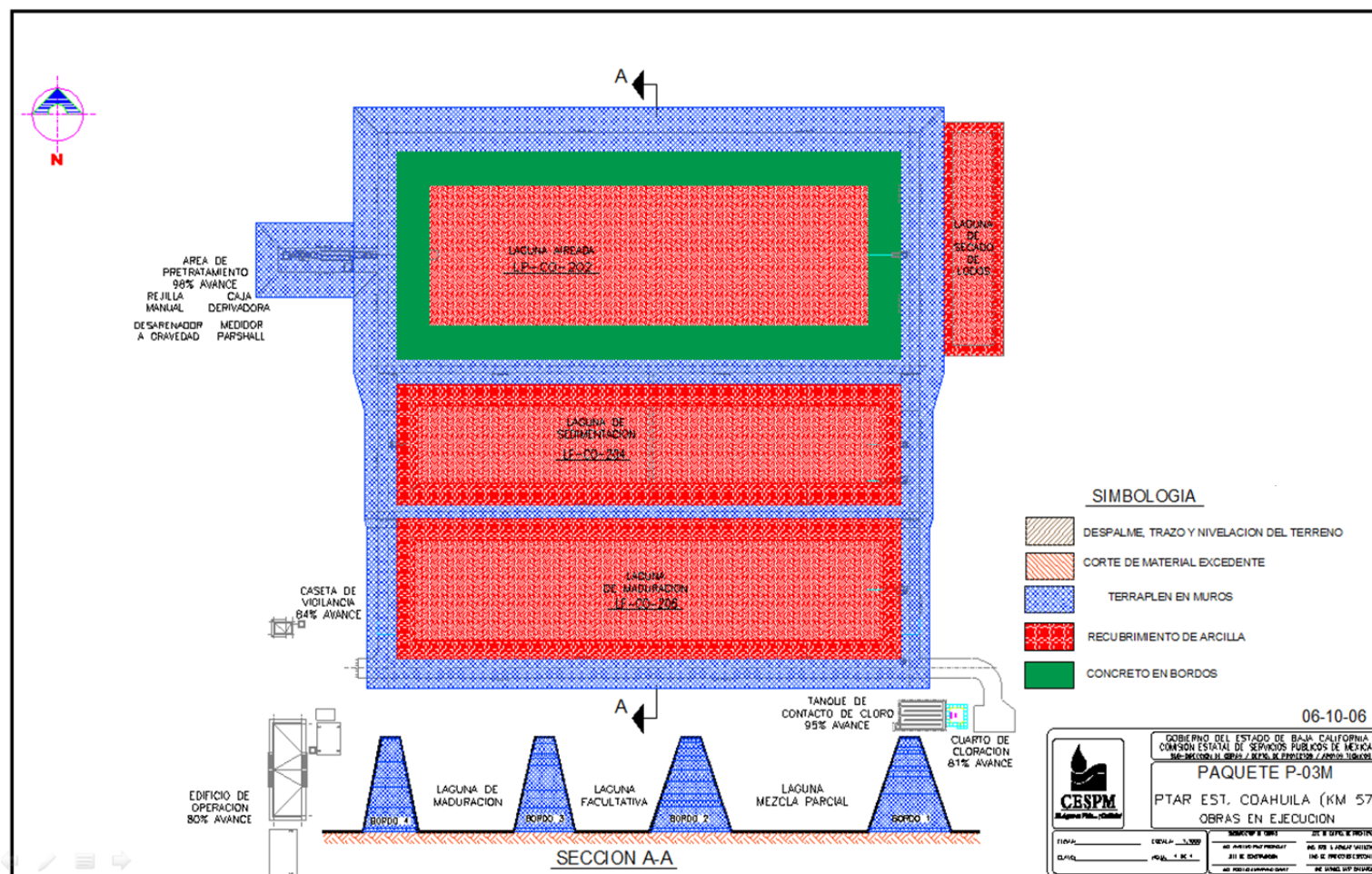


Figura 11. Plano de planta de tratamiento de agua residual Estación Coahuila.

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

4.2.4 Planta de Tratamiento Los Algodones

Información General: Operada y regulada por la Comisión Estatal De Servicios Públicos de Mexicali, esta planta se encuentra ubicada en la localidad de los Algodones en el municipio de Mexicali Baja California con coordenadas geográficas 32°41'56" latitud norte y 114°45'39" longitud oeste. Diseñada con una capacidad de 20 litros por segundo y puesta en operación en 2007. El proceso es de lagunas aireadas de mezcla parcial. La foto 4, tomada con el programa Google earth y nos muestra la ubicación de la planta de forma aérea. Con esto podemos visualizar los alrededores de la PTAR y darnos una mejor idea de su ubicación.



Foto 4: Ubicación de PTAR Los Algodones

Acceso a la planta: Se accede tomando la carretera estatal No. 8, desde Los Algodones hacia Mexicali, tras recorrer un tramo aproximado de 2 km hacia el sur hasta alcanzar un camino de terracería en regulares condiciones, recorriendo 1.3 km hacia el oeste. Desde la carretera son visibles las instalaciones de la planta, ya que no existen señalamientos o letreros que indiquen el acceso o ubicación de la planta en este sitio. El acceso es monitoreado y controlado por medio de guardias permanentes de seguridad privada.

Pretratamiento: El agua bombeada desde el poblado se recibe en una estructura de concreto armado en donde por medio de una rejilla metálica se eliminan el material flotante o de gran tamaño, de donde pasa a una de las dos unidades de pretratamiento para atrapar y retirar el material sólido, consistente en un canal desarenador de gravedad, de las cuales se alterna su operación en los dos desarenadores existentes; más adelante se cuenta con una estructura Parshall prefabricada que conjuntamente con un medidor marca Magne Sonics registra los caudales del efluente. Los materiales recolectados en este proceso son retirados y dispuestos en el estanque especial construido en la misma planta. En este punto no se perciben olores de ningún tipo, ni el característico de las aguas residuales.

Tratamiento: Inicia recibiendo el agua en una laguna aireada equipada con cuatro equipos aireadores con agitador de 5 HP y soplador de 1.5 HP en la misma unidad, controlados automáticamente o manualmente con los controles individuales instalados en la orilla de los bordos de la laguna aireada de mezcla parcial, se puede observar que los taludes interiores están revestidas con geomembrana o liner y la plantilla se habilitó con arcilla para evitar la infiltración al subsuelo de las aguas residuales, el color del agua es de un color gris verdoso; posteriormente el agua circula a la laguna facultativa de menores dimensiones que la aireada, también revestida en sus taludes interiores con geomembrana o liner y arcilla en la plantilla, aquí el agua se ve de un color verde, de donde transita a la laguna de maduración, con profundidad de 1.5 m revestida en sus taludes interiores con geomembrana o liner y plantilla de arcilla, en donde el agua es de un color verde, debido a la presencia de algas.

Desinfección: Se cuenta con instalaciones para la desinfección del agua proveniente de las lagunas de maduración, consistente en un edificio de cloración construido con estructura de concreto armado, muros de bloques y celosía de cemento, techos de losa de concreto armado, piso de concreto hidráulico, con puerta metálica tubular, para alojar el dosificador y cilindros de gas cloro de 65 kg de capacidad, equipo de seguridad, regaderas y lentes especiales, de aquí al mezclar el agua con el cloro mediante bombeo se mezcla con el agua tratada en la cámara de contacto de cloro con el resto del efluente; también se observan en un pileta superficial la instalación de las bombas de ayuda para la desinfección.

Tratamiento de lodos: La planta se concluyó se puso en operación durante el año 2007, por lo que no han generado lodos, para lo cual el organismo operador tiene considerado realizar en breve un sondeo batimétrico para conocer el espesor y naturaleza de los residuos existentes, cuando se extraigan se depositarán en el sitio específico asignado para ello dentro del predio de la planta como lechos de secado.

Medición: Se cuenta con estructura de medición de niveles del afluente consistente en un Parshall con un registrador automático marca Magne Sonics que transmite los caudales que ingresan a la planta, por su parte a la descarga también se registran los volúmenes mediante un medidor marca Endress y Hauser.

Descarga y reuso de las aguas tratadas: No se detectan olores, la descarga es libre, mediante una línea de conducción de 60 m de longitud que descarga mediante una estructura de concreto al dren agrícola Culiacán, observándose que el agua es clara y transparente sin olores de algún tipo, se advierte que se requiere mejorar la limpieza en la descarga, ya que se observa la presencia de maleza, identificándose especies que pueden desarrollarse con bastante altura. El agua tratada no se reutiliza hasta el momento.

La tabla 16 muestra los resultados de la calidad de descarga y reuso del agua residual tratada en 2010 obtenidos de los análisis que realizó el laboratorio de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali de la PTAR “Los Algodones”. En este cuadro comparativo se resaltan con un marco rojo los parámetros que excedieron los límites máximos permisibles para reuso de agua residual tratada para reuso con contacto directo requeridos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, además de contener los valores establecidos para reuso con contacto indirecto de la misma norma, por último los valores de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga de aguas y bienes nacionales. En la Figura 12 se muestra el plano de la PTAR, el cual se observa la distribución del tren de tratamiento y sus componentes.

Tabla 16. Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Los Algodones

Sistema: PTAR Algodones			Sitio de descarga: Dren Culiacán Km 2+370 Coordenadas, Longitud 114° 45' 43"; Latitud 32° 41' 59"																
Capacidad de diseño: 20 lps			Tipo de Tratamiento: Lagunas Aireadas Mezcla Parcial																
Gasto promedio anual 2010: 7.0 LPS																			
			U-pH	°C		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	NMP/100 ml	Huevos/l	
LMP NOM 001 SEMARNAT-1996			6 A 10	40	Ausente	0.20	0.20	2.00	6.00	1.00	0.010	2	0.40	20	150	25	125	2000	5
FECHA	No. MUESTRA	EFLUENTE GENERAL	pH	TEMP. AGUA Compuesta	MATERIA FLOTANTE	ARSENICO	CADMIO	CIANURO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC	DBO ₅	GRASAS Y ACEITES	S.S.T.	COLIFORMES FECAL _{ES} NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO
06 y 07-Ene-10	7109	EFLUENTE GENERAL	8.29	10.2	Ausente	0.002	0.053	0.00300	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.098	12.86	7.72	46	3.00	<1
03 y 04-Feb-10	0086	EFLUENTE GENERAL	8.04	13.1	Ausente	0.002	0.057	0.006	0.04	0.11	0.002	0.159	0.08	0.069	4.06	28.30	30	3.00	<1
02 y 03-Mar-10	0212	EFLUENTE GENERAL	8.59	17.9	Ausente	0.002	0.02	0.009	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.013	1.33	4.02	36	3.00	<1
13 y 14-Abr-10	0392	EFLUENTE GENERAL	6.24	18.3	Ausente	0.003	0.02	0.006	0.04	0.11	0.002	0.14	0.132	0.119	23.11	4.73	24	3.00	<1
03 y 04-May-10	0481	EFLUENTE GENERAL	8.77	28.0	Ausente	0.003	0.02	0.005	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	34.1	3.15	67.56	614.00	<1
31 May y 01 Jun-10	0607	EFLUENTE GENERAL	8.11	26.9	Ausente	NA	0.02	0.003	0.04	0.11	0.004	0.14	0.08	0.01	24.36	3.19	22	561.81	<1
05 y 06-Jul-10	0757	EFLUENTE GENERAL	8.31	28.6	Ausente	NA	0.026	0.010	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	31.97	3.64	32	3.00	<1
02 y 03-Ago-10	0889	EFLUENTE GENERAL	8.21	32.8	Ausente	0.001	0.02	0.015	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.03	31.97	3.86	54	3.00	<1
30 y 31-Ago-10	1004	EFLUENTE GENERAL	8.33	27.2	Ausente	0.002	0.02	0.009	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.07	5.33	3.43	138.88	79.39	<1
04 y 05-Oct-10	1145	EFLUENTE GENERAL	8.25	21.4	Ausente	0.001	0.02	0.016	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.02	33.61	3.71	76.66	18.09	<1
16 y 17-Nov-10	1344	EFLUENTE GENERAL	8.63	17.3	Ausente	0.002	0.011	0.019	0.024	0.1	0.005	0.14	0.119	0.03	21.32	9	103	3.00	<1
30 Nov y 01 Dic-10	1432	EFLUENTE GENERAL	8.49	10.4	Ausente	0.001	0.011	0.020	0.024	0.1	0.0009	0.028	0.119	0.039	10.66	9	100	3.00	<1
Efluente		Maximo	8.77	32.80	0.00	0.00	0.06	0.02	0.04	0.11	0.01	0.16	0.13	0.12	34.10	28.30	138.88	614.00	0.00
		Promedio	8.19	21.01	AUSENTE	0.00190	0.02	0.01	0.04	0.11	0.00	0.13	0.09	0.04	19.56	6.98	60.84	108.11	<1
		Minimo	6.24	10.20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.10	0.00	0.03	0.08	0.01	1.33	3.15	22.00	3.00	0.00
NOM 003	C.DIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.1	0.1	1	4	0.5	0.005	2	0.2	20	20	15	20	240	≤1
	C. INDIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.2	0.2	2	6	1	0.01	4	0.4	20	30	15	30	1000	≤5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, 2010

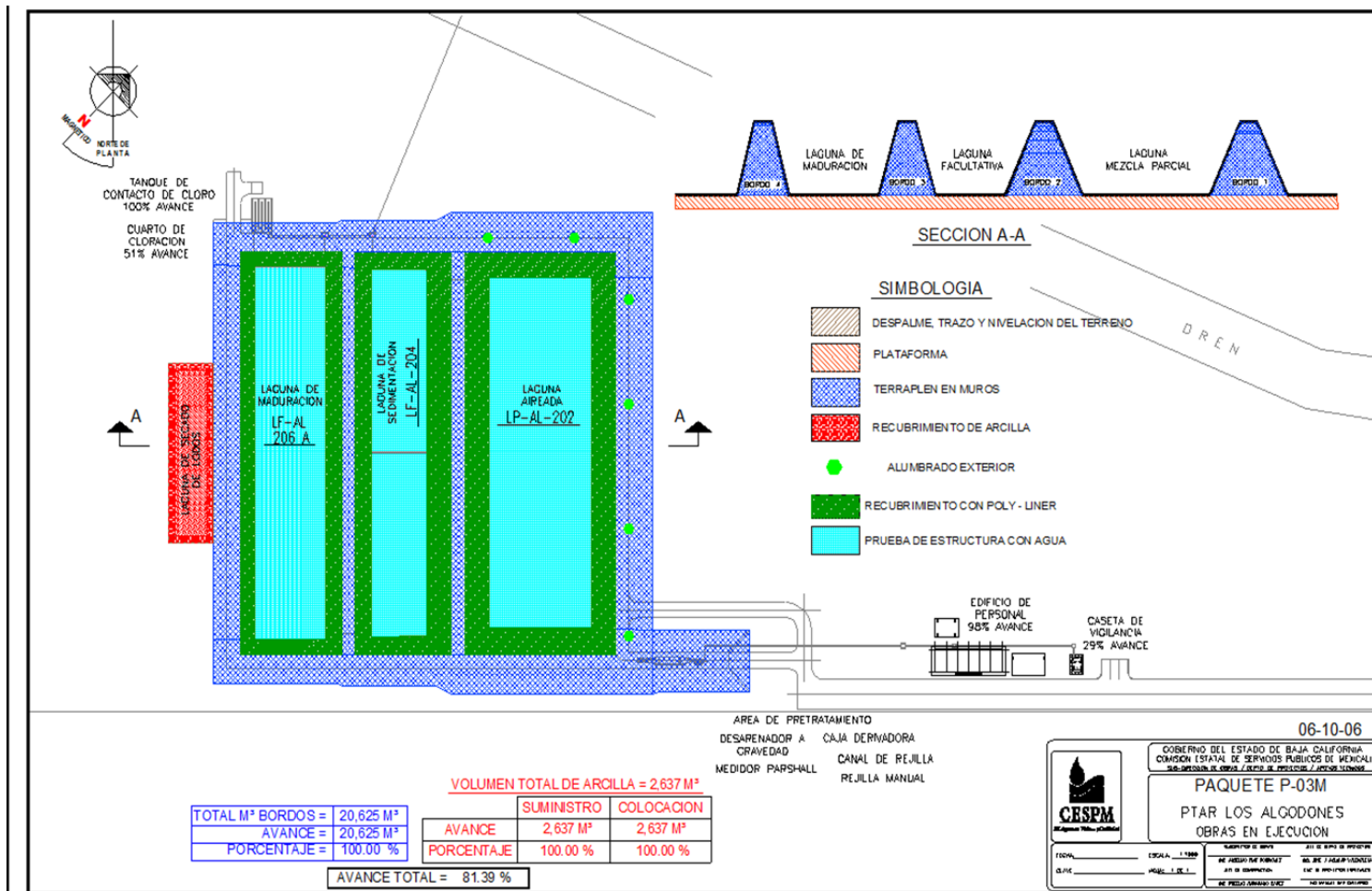


Figura 12. Plano de planta de tratamiento de agua residual Los Algodones.

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

4.2.5 Planta de Tratamiento Ciudad Morelos

Información General: Operada y regulada por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, esta planta se encuentra ubicada al noroeste de Ciudad Morelos en el municipio de Mexicali Baja California con coordenadas geográficas 32°38'15" latitud norte y 114°52'36" longitud oeste. Diseñada con una capacidad de 40 litros por segundo y puesta en operación en 2007. El proceso es de lagunas aireadas de mezcla parcial. La foto 5, tomada con el programa Google earth y nos muestra la ubicación de la planta de forma aérea. Con esto podemos visualizar los alrededores de la PTAR y darnos una mejor idea de su ubicación.

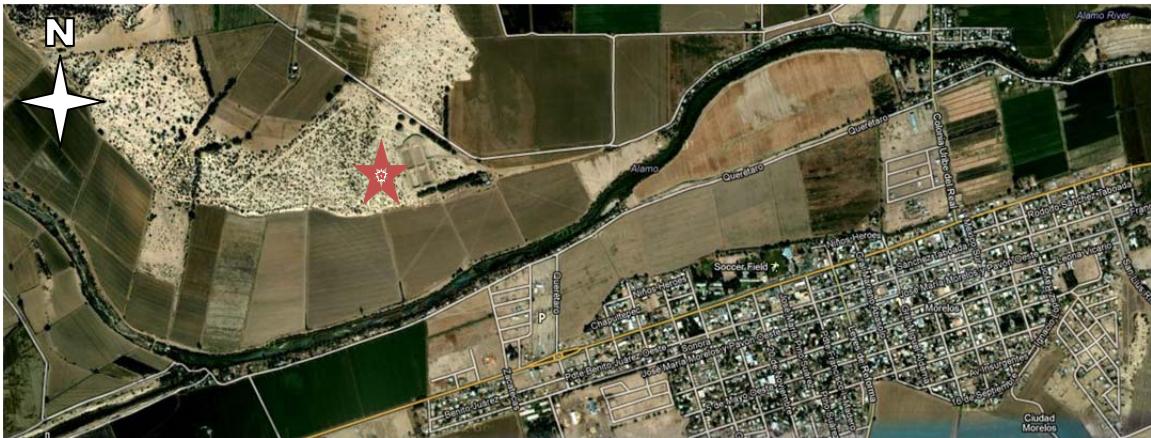


Foto 5: Ubicación de PTAR Ciudad Morelos

Acceso a la planta: Partiendo de Mexicali se toma la carretera federal No. 2 hacia San Luis Río Colorado, Sonora, por la que se recorren 41 km hasta llegar a la desviación al norte, para después de recorrer 18 km se llega a Ciudad Morelos, desde donde se toma la carretera hacia Los Algodones, para recorrer solamente 800 m para llegar al poblado La Panga, desde donde, hacia el oeste se toma una calle de terracería recorriendo 2.3 km se llega a la planta; o bien otra alternativa, es por la carretera estatal No. 8 Mexicali-Los Algodones recorriendo 54 km hasta llegar el entronque a Ciudad Morelos, desde donde se recorren 2.7 km hasta llegar al poblado La Panga.

Pretratamiento: El agua bombeada desde Ciudad Morelos y desde Paredones se recibe en una estructura de concreto armado en donde se diferencia la llegada de la segunda localidad, ya que se trata de un tubo de acero que descarga a la caja de llegada por arriba, y el afluente de Ciudad Morelos llega normalmente por el fondo de la caja, de este punto pasa a la rejilla metálica donde se retiene y elimina el material flotante o de gran tamaño, son de limpieza manual, continuando por un canal desarenador que por acción de la gravedad retiene material sólido en el fondo, que es también de limpieza manual, este elemento consta de dos desarenadores que se alternan en función de las necesidades operativas, más adelante se cuenta con una estructura Parshall prefabricada que conjuntamente con un medidor marca Magne Sonics registra los caudales del efluente.

Los materiales recolectados y retirados son dispuestos en la laguna de secado especialmente construida en la misma planta; posteriormente el afluente se reparte desde la caja distribuidora que se encuentra en el extremo de la estructura de pretratamiento y medición. En este punto no se perciben olores de ningún tipo, ni el característico de las aguas residuales.

Tratamiento: Desde la caja de distribución se reparte equitativamente hacia dos lagunas aireadas de mezcla parcial, el talud y plantilla de ambas lagunas se encuentra recubierto de geomembrana o liner, en cada laguna se instalaron cuatro equipos que cuentan con un aireador de 10 HP y un soplador de 3 HP en cada unidad, mismos que pueden ser operados automáticamente o manualmente con los controles individuales instalados en la orilla de los bordos de las lagunas, en esta etapa se observa el agua con color gris verdoso.

Posteriormente el agua circula mediante tubería a las lagunas secundarias que son de menores profundidades que las aireadas, también revestida en sus taludes y plantilla con geomembrana o liner, en el centro se instalaron en cada laguna una división o buffer para mejorar la condiciones hidráulicas en la circulación del agua, que se aprecia un cambio de color en la entrada de gris verdoso verde por la presencia de algas.

Desinfección: Se cuenta con instalaciones para la desinfección del agua proveniente de las lagunas secundarias, consisten en un edificio de cloración construido de bloque y celosía de cemento en muros, techos de losa de concreto armado, piso de concreto hidráulico, con puerta metálica tubular, para alojar el dosificador y cilindros de gas cloro de 65 kg de capacidad, equipo de seguridad, regadera de emergencia y lentes de seguridad tipo goggles, de aquí al mezclar el agua con el cloro mediante bombeo se mezcla con el agua tratada en la cámara de contacto de cloro con el resto del efluente; también se observan en un pileta superficial la instalación de las bombas de ayuda para la desinfección.

Tratamiento de lodos: Debido a que entró en operación durante el año 2008, no han generado lodos, para lo cual el organismo operador tiene considerado realizar en breve un sondeo batimétrico para conocer el espesor y naturaleza de los residuos existente, cuando se extraigan se depositarán en el sitio específico asignado para ello dentro del predio de la planta.

Medición: Se cuenta con estructura de medición de niveles del afluente consistente en un Parshall con un registrador automático marca Magne Sonics que registra los caudales que ingresan a la planta.

Descarga y reuso de las aguas tratadas: La descarga es libre ubicada a 500 m de la planta en el dren Canal Álamo constando de una estructura de concreto. El agua no se aprovecha en ningún uso posterior.

La tabla 17 muestra los resultados de la calidad de descarga y reuso del agua residual tratada en 2010 obtenidos de los análisis que realizó el laboratorio de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali de la PTAR “Ciudad Morelos”. En este cuadro comparativo se resaltan con un marco rojo los parámetro que excedieron los límites máximos permisibles para reuso de agua residual tratada para reuso con contacto directo requeridos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, además de contener los valores establecidos para reuso con contacto indirecto de la misma norma y por último los valores de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga de aguas en bienes nacionales. En la Figura 13 se muestra el plano de la PTAR, el cual se observa la distribución del tren de tratamiento y sus componentes.

Tabla 17. Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Ciudad Morelos

Sistema: PTAR Ciudad Morelos		DATOS: Efluente		Sitio de descarga: Dren Alamo, Coordenadas, Longitud 114° 52' 3"; Latitud 32° 38' 00.4"														
Capacidad de diseño: 40 lps		Tipo de Tratamiento: Lagunas Aireadas Mezcla Parcial																
Gasto promedio anual 2010: 15 LPS																		
LMP NOM 001 SEMARNAT-1996		U-pH	*C		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	NMP/100	Huevos/l
		6 A 10	40	AUSENTE	0.20	0.20	2.00	6.00	1.00	0.010	4	0.40	20	150	25	125	2000	5
FECHA	No. MUESTRA	pH	TEMP. AGUA Compuesta	MATERIA FLOTANTE	ARSENICO	CADMIO	CIANURO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC	DBO5	GRASAS Y ACEITES	S.S.T.	COLIFORMES FCALES NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO
05 y 06-Ene-10	7100	7.84	10.9	Ausente	0.002	0.044	0.144	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	2.582	12.86	7.20	50	3	<1
02 y 03-Feb-10	0069	7.72	14.8	Ausente	0.001	0.025	0.053	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.097	26.19	7.93	32	3	<1
01 y 02-Mar-10	0202	8.28	18	Ausente	0.002	0.02	0.071	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.042	19.02	5.04	56	3	<1
07 y 08-Abr-10	0347	7.98	18.4	Ausente	0.001	0.02	0.094	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.046	21.05	5.90	56	3	<1
17 y 18-Mayo-10	0535	8.12	24.8	Ausente	NA	0.02	0.049	0.075	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	30.45	3.1	12	6.86	<1
01 y 02-Jun-10	0616	8.37	26.8	Ausente	NA	0.02	0.104	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	32.89	4.39	48	17.29	<1
14 y 15-Jun-10	0677	8.02	30.9	Ausente	NA	0.02	0.053	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	38.06	4.62	40	158.08	<1
06 y 07-Jul-10	0766	8.1	29.9	Ausente	NA	0.02	0.027	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.028	33.5	3.93	80	50.26	<1
03 y 04-Ago-10	0898	8.21	33.9	Ausente	0.001	0.02	0.061	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.017	33.5	4.13	36	8.74	<1
31-Ago y 01-Sep-10	1015	8.07	30.4	Ausente	0.001	0.02	0.083	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.053	28.93	3.27	24	161.21	<1
05 y 06-Oct-10	1154	7.90	22.2	Ausente	0.002	0.02	0.094	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.023	15.27	3.17	38	3	<1
05 y 06-Nov-10	1293	7.85	21	Ausente	0.001	0.011	0.153	0.024	0.101	0.002	0.047	0.119	0.039	28.42	9.15	77	3	<1
29 y 30-Nov-10	1412	7.86	10.5	Ausente	0.001	0.011	0.016	0.024	0.101	0.004	0.088	0.119	0.039	10.66	9	36	3	<1
20 y 21-Dic-10	1516	7.81	15.7	Ausente	0.001	0.011	0.011	0.024	0.101	0.0009	0.047	0.119	0.039	13.70	9	36	3	<1
Efluente	Maximo	8.37	33.90	0.00	0.00	0.04	0.15	0.075	0.11	0.00	0.14	0.12	2.58	38.06	9.15	80.00	161.21	0.00
	Promedio	8.01	22.01	AUSENTE	0.0013	0.02	0.07	0.04	0.11	0.00	0.12	0.09	0.22	24.61	5.70	44.36	30.46	<1
	Mínimo	7.72	10.50	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.10	0.00	0.05	0.08	0.01	10.66	3.10	12.00	3.00	0.00
NOM 003	C.DIRECTO	6 A 10	40	AUSENTE	0.1	0.1	1	4	0.5	0.005	2	0.2	20	20	15	20	240	<=1
	C. INDIRECTO	6 A 10	40	AUSENTE	0.2	0.2	2	6	1	0.01	4	0.4	20	30	15	30	1000	<=5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

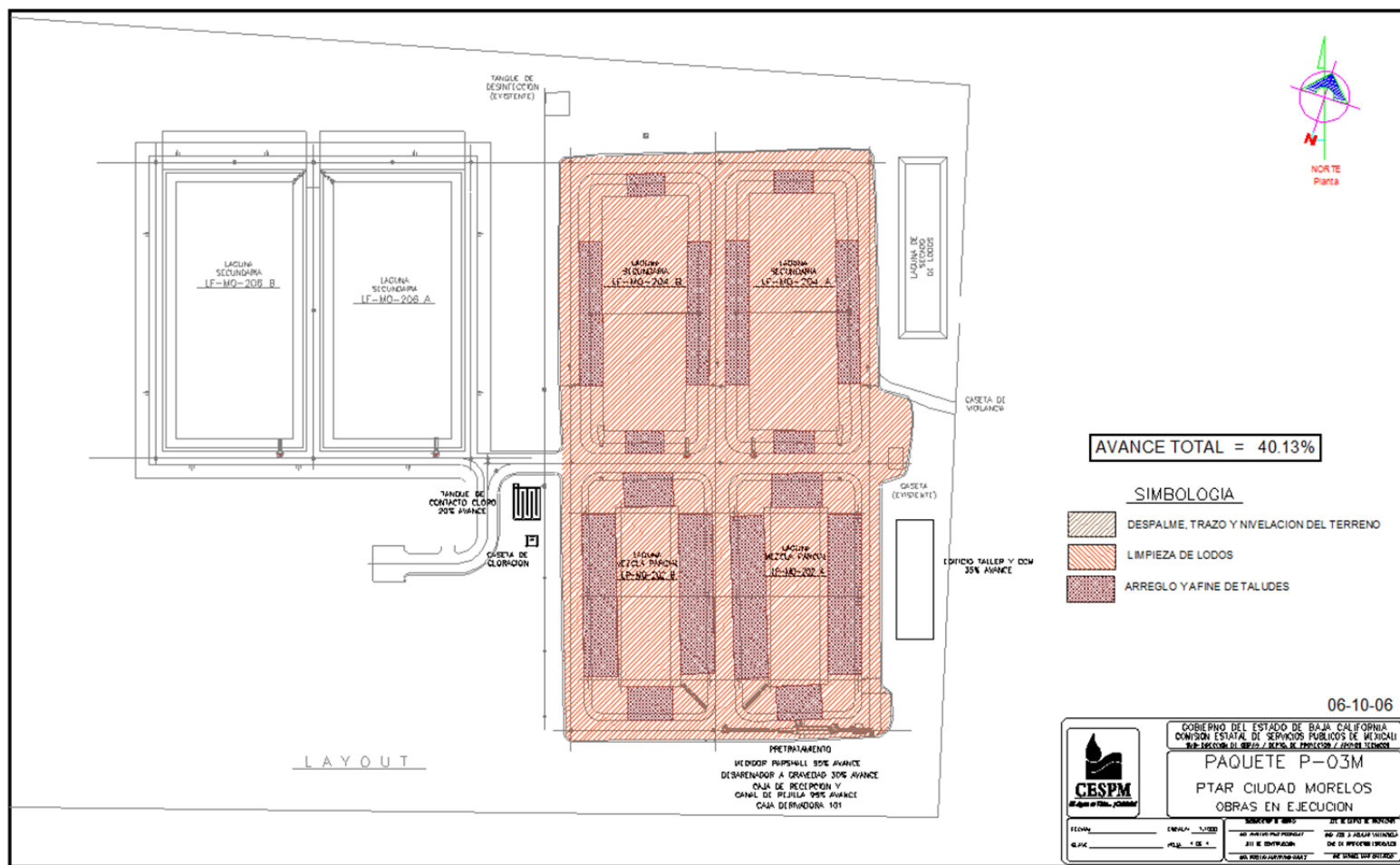


Figura13. Planta de tratamiento de agua residual Ciudad Morelos.

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

4.2.6 Planta de Tratamiento Guadalupe Victoria

Información General: La PTAR Guadalupe Victoria fue puesta en operación en el año 2007, con una capacidad instalada de 70 litros por segundo, en la ciudad Guadalupe Victoria (km . 43), en el municipio de Mexicali Baja California en las coordenadas geográficas 32°15'44" latitud norte y 115°07'11" longitud oeste. Con proceso de lagunas aireadas de mezcla parcial. La foto 6 tomada con el programa Google earth y nos muestra la ubicación de la planta de forma aérea. Con esto podemos visualizar los alrededores de la PTAR y darnos una mejor idea de su ubicación.

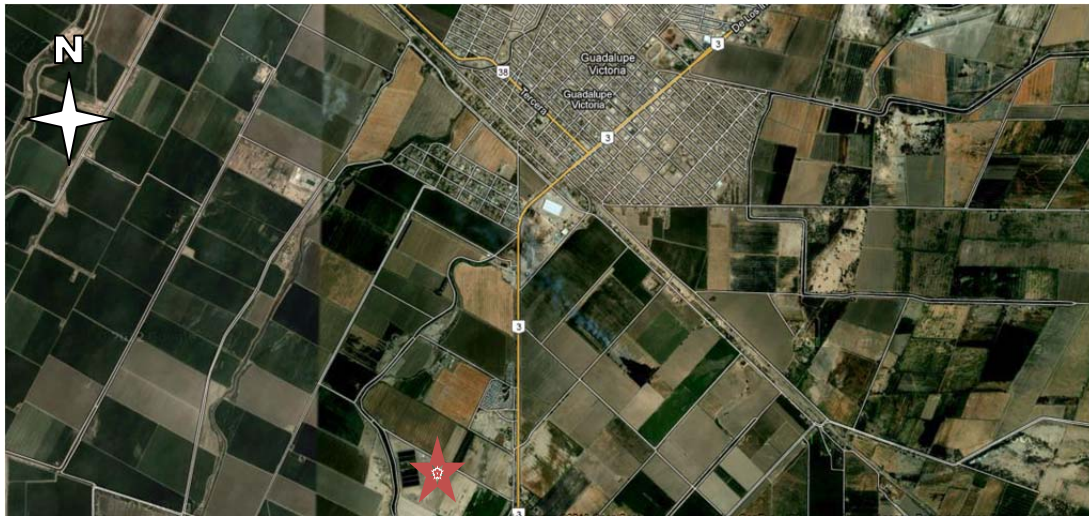


Foto 6: Ubicación de PTAR Guadalupe Victoria

Acceso a la planta: La planta se encuentra fuera del perímetro de la ciudad, para acceder se recorren 2 km hacia el sur desde el poblado por la carretera estatal No. 3, de donde se toma un camino de terracería entre las parcelas agrícolas recorriendo 1.3 km hasta alcanzar la planta, en donde en la caseta se controla el acceso con personal de vigilancia permanente de seguridad privada.

Pretratamiento: El agua llega a una estructura de concreto armado, para pasar primero por una rejilla rectangular metálica de limpieza manual, en donde se recoge el material grueso y flotante, desde donde pasa en la misma estructura a un canal desarenador, que consta de dos cuerpos del mismo, que se alternan en su operación.

La estructura Parshall con que cuenta es un medidor de flujo Magne-Sonics, que registra el volumen del afluente; después mediante una pequeña caída el agua pasa a una caja de distribución que la reparte a los dos cuerpos o trenes alternos de tratamiento. En la estructura se puede observar la instalación de una tubería para descargar las aguas provenientes de una zona incorporada a la red de alcantarillado, el poblado Mazón Guerrero; misma que no es congruente con el arreglo de esta estructura ya que descargará libremente en la parte superior, por lo que puede afectar el pretratamiento en la entrada de agua de la parte inferior. El olor característico de las aguas residuales es apenas perceptible.

Tratamiento: La estructura de control distribuye el agua a dos trenes alternos, cada uno de 35 l/s, los dos se encuentran en operación; primeramente pasa a las lagunas aireadas de mezcla parcial recubiertas en sus taludes y plantilla con geomembrana o liner, que cuentan con seis aireadores direccionales con soplador, los primeros son de 10 HP y los segundos de 3 HP cada uno; al cumplir el tiempo de residencia promedio el agua pasa a las lagunas secundarias de menor profundidad que las anteriores, las cuales cuentan con un bafle o mampara al centro de cada laguna con el fin de mejorar el desempeño hidráulico, para circular a las lagunas de maduración, en ninguno de los pasos lagunares se advierten olores, sólo cambios en la coloración, de un color gris a un color verdoso; se pueden observar que en algunos tramos los caminos de operación y mantenimiento de la planta no están revestidos, sólo se hizo para el tránsito desde el pretratamiento al edificio de desinfección; estas dos lagunas en sus dos trenes de tratamiento están recubiertas en las paredes de los taludes y en la plantilla con geomembrana.

Desinfección: Se cuenta con instalaciones para la desinfección del agua proveniente de las lagunas de maduración, consistente en un edificio de muros de bloque de cemento losa de concreto armado, puerta metálica, celosía lateral de concreto en el área de almacén de controles, medidores y equipo de dosificación de cloro gas como desinfectante, el cual se realiza mediante dos tanques de 65 kg, además se observan letreros de avisos y advertencia, alarma sónica y de luz en caso de fugas de gas cloro, ducha y lentes para inspección de instalaciones.

En el exterior, en una pileta de concreto se observan las bombas de ayuda para la solución de agua clorada, que se lleva a la cámara de de contacto de cloro para su dilución con el resto del efluente, de de donde se observa su descarga mediante tubería hasta descargar a un dren agrícola, no se perciben olores y se observa el agua de color claro.

Tratamiento de lodos: Debido a que la planta se concluyó en el año 2007, por lo que no han generado lodos, para lo cual se programará próximamente un sondeo para verificar la presencia de lodos, cuando se extraigan se depositarán en el sitio específico asignado para ello dentro del predio de la planta. Vale la pena mencionar que a los lodos generados producto del tratamiento, se pueden agregar los depositados por la generación de polvo en la región, debido a la acción del viento.

Medición: Se cuenta con estructura de medición de niveles consistente en un Parshall con un registrador automático sellado marca Endress y Hauser que transmite los caudales que ingresan a la planta, por su parte a la descarga también se cuenta con un medidor de la misma marca, para llevar el control de los caudales del volumen descargado.

Descarga y reuso de las aguas tratadas: No se detecta ningún tipo de olores, la descarga es libre mediante una estructura de concreto construida en el talud del dren, aproximadamente a 20 m del edificio de la cámara de contacto de cloro. Las aguas tratadas no se aprovechan.

La tabla 18 muestra los resultados de la calidad de descarga y reuso del agua residual tratada en 2010 obtenidos de los análisis que realizó el laboratorio de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali de la PTAR “Ciudad Victoria (km .43)”. En este cuadro comparativo se resaltan con un marco rojo los parámetro que excedieron los límites máximos permisibles para reuso de agua residual tratada para reuso con contacto directo requeridos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, además de contener los valores establecidos para reuso con contacto indirecto de la misma norma, por último los valores de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga de en aguas y bienes nacionales. En la Figura 14 se muestra el plano de la PTAR, el cual se observa la distribución del tren de tratamiento y sus componentes.

Tabla 18. Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual Guadalupe Victoria

Sistema: PTAR Ciudad Victoria Km. 43			2007																
Capacidad de diseño: 70 lps																			
Gasto promedio anual 2010: 26.19 LPS																			
VALORES DE PROMEDIOS DIARIOS			U-pH	°C		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	NMP/100 ml	Huevos/l	
LMP NOM 001 SEMARNAT-1996			6 A 10	40	Ausente	0.20	0.20	2.00	6.00	1.00	0.010	4	0.40	20	150	25	125	2000	5
fecha	No. MUESTRA	In/out	pH	TEMP. AGUA Compuesta	MATERIA FLOTANTE	ARSENICO	CADMO	CIANURO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC	DBO5	GRASAS Y ACEITES	S.S.T.	COLIFORMES FECALLES NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO
12 y 13-Ene-10	7152	EFLUENTE GENERAL	7.83	12.7	Ausente	0.002	0.106	0.006	0.059	0.11	0.002	0.14	0.08	<0.010	3.38	6.25	54	255.35	<1
22 y 23-Feb-10	0166	EFLUENTE GENERAL	7.87	12.8	Ausente	0.002	0.023	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.015	13.01	5.83	56	3.00	<1
09 y 10-Mar-10	0246	EFLUENTE GENERAL	8.08	13.5	Ausente	<0.001	0.02	0.005	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	15.62	3.98	52	3.00	<1
12 y 13-Abr-10	0379	EFLUENTE GENERAL	7.98	17.9	Ausente	<0.001	0.033	0.005	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.026	63.58	6.33	46	73.08	<1
12 y 13-Mayo-10	0521	EFLUENTE GENERAL	8.15	24.9	Ausente	NA	0.032	0.008	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.026	23.14	3.11	74	7.80	<1
08 y 09-Jun-10	0650	EFLUENTE GENERAL	7.98	30.3	Ausente	NA	0.02	0.010	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.02	40.6	5.92	66.6	126.42	<1
26 y 27-Jul-10	0855	EFLUENTE GENERAL	7.95	30.9	Ausente	NA	0.02	0.004	0.04	0.11	0.002	0.14	0.085	0.030	44.13	4.18	70	3.00	<1
10 y 11-Ago-10	0932	EFLUENTE GENERAL	7.99	30.3	Ausente	0.002	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	30.43	5.53	42	18.20	<1
06 y 07-Sep-10	1042	EFLUENTE GENERAL	8.07	29.7	Ausente	0.002	0.02	0.005	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.049	39.50	5.33	32	69.31	<1
19 y 20-Oct-10	1227	EFLUENTE GENERAL	7.88	18.3	Ausente	0.005	0.02	0.011	0.04	0.11	0.002	0.14	0.083	0.032	6.85	3.1	20	3.00	<1
10 y 11-Nov-10	1319	EFLUENTE GENERAL	7.93	17.2	Ausente	0.002	0.011	0.024	0.024	0.1	0.0009	0.047	0.119	0.039	8.53	9	20	3.00	<1
07 y 08-Dic-10	1467	EFLUENTE GENERAL	7.94	13.8	Ausente	0.004	0.022	0.028	0.024	0.1	0.0009	0.047	0.119	0.039	6.85	9	20	3.00	<1
Efluente	Maximo		8.15	30.90	0.00	0.01	0.11	0.03	0.06	0.11	0.00	0.14	0.12	0.05	63.58	9.00	74.00	255.35	0.00
	Promedio		7.97	21.03	AUSENTE	0.0027	0.03	0.01	0.04	0.11	0.0018	0.12	0.09	0.03	24.65	5.63	46.05	47.35	<1
	Minimo		7.83	12.70	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.10	0.00	0.05	0.08	0.01	3.38	3.10	20.00	3.00	0.00
NOM 003	C.DIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.1	0.1	1	4	0.5	0.005	2	0.2	20	20	15	20	240	<=1
	C. INDIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.2	0.2	2	6	1	0.01	4	0.4	20	30	15	30	1000	<=5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

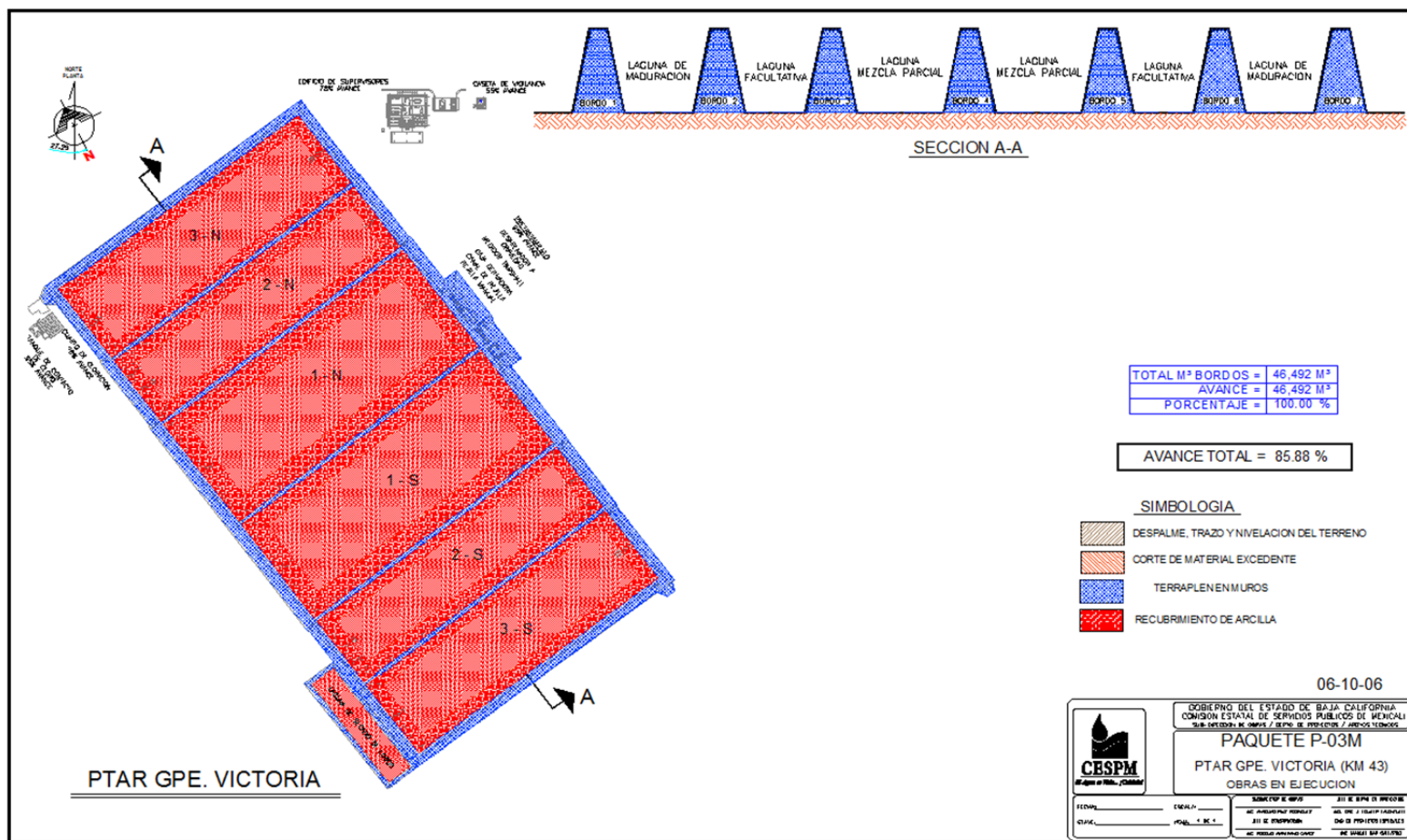


Figura 14. Plano de planta de tratamiento de agua residual Guadalupe Victoria

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

4.2.7 Planta de Tratamiento San Felipe

Información General: La planta San Felipe se está localizada en la ciudad y puerto de San Felipe, municipio de Mexicali, Baja California. Se rehabilitó y amplió en 2008, con una capacidad instalada de 120 litros por segundo, su ubicación geográfica es 30°58'01" latitud norte y 114°50'35" longitud oeste. La foto 7 tomada con el programa Google earth y nos muestra la ubicación de la planta de forma aérea. Con esto podemos visualizar los alrededores de la PTAR y darnos una mejor idea de su ubicación.



Foto 7: Ubicación de PTAR San Felipe

Acceso a la planta: Se accede a través de la calle pavimentada en su primer tramo conocida como Camino del Sur, para incorporarse a la Colonia Las Minutas, para después transitar un pequeño tramo de terracería en regulares condiciones para encontrar el acceso principal, controlado por medio de guardia permanentes de seguridad privada.

Pretratamiento: Se realiza en el cárcamo grande ubicado en la esquina sureste de la intersección de la calle Ensenada y avenida Mar Báltico Sur en el Centro de la ciudad, fue construido recientemente, se ubica a una distancia aproximada de 6.5 km de la PTAR; acondicionado con rejilla metálica de limpieza manual, para atrapar el material grueso y flotante, para los sólidos se cuenta con un canal revestido de concreto con tapas de placa metálica, se cuenta con tubería para un extractor cerrado de tornillo, que lo vierte en una tolva, de donde se trasvasa a un contenedor, esta operación regularmente se realiza manualmente dos veces al día, aunque se cuenta con controles automáticos. En el techo de la planta se cuenta con grúa viajera y polipasto para mantenimiento de los equipos de bombeo o desmontarlos en caso de requerirse, con oficina y cuarto de control de motores (CCM), también, con generador diesel automático que se utiliza en caso de falla del suministro eléctrico; este generador se prueba una vez cada quince días, encendiéndolo para que opere durante media hora.

Tratamiento: En la corona del bordo se cuenta con una estructura de concreto armado, en donde se recibe el agua desde el Cárcamo Grande en la cual no se percibe el olor característico de las aguas residuales, consta de estructura prefabricada Parshall y medidor para el registro de niveles y gastos, al final de la estructura tiene una caja de distribución a los dos trenes de tratamiento, con compuertas manuales, que mediante tubería subterránea se reparte. El tratamiento consta, primeramente de dos lagunas aireadas de mezcla completa, con seis aireadores tipo cañón en cada laguna con agitador, los taludes interiores y la plantilla están revestidos con concreto hasta su corona, los aireadores cuentan con controles automáticos en el CCM específico, o bien desde la orilla se pueden accionar cada uno mediante controles manuales instalados para tal fin; después el agua pasa a dos lagunas facultativas de menor altura de bordo, con taludes interiores y plantilla revestidos de concreto, y con mamparas o baffles instaladas para favorecer la circulación eficiente del agua, desde la entrada hacia la salida; desde donde transita a las lagunas de maduración o pulimento consistentes en dos estanques revestidos con concreto armado en toda su sección interior, desde por medio de tubería subterráneas pasa a la desinfección.

Desinfección: Se cuenta con instalaciones para la desinfección del agua proveniente de las lagunas de pulimento, totalmente cercado con malla ciclónica, consisten en un edificio con muros de bloque de cemento, losa de concreto armado, puerta metálica, celosía de concreto en el área de almacén de controles, medidores y dosificadores de desinfectantes, que consiste en gas cloro, el cual se realiza mediante dos tanques de 907 Kg, grúa y polipasto para el manejo de los contenedores; además se observan letreros de avisos y advertencia, alarma sónica y de luz en caso de fugas de gas cloro, regadera y lentes de seguridad para inspección de instalaciones; se observan las bombas de ayuda para la solución de agua clorada, que se lleva a la cámara de de contacto de cloro para su mezcla con el resto del efluente, de donde se observa su descarga mediante tubería hasta una zona de riego vecina. El agua en su descarga no se despide olores y se observa de color verde por la presencia de algas. Adicionalmente se puede observar una tubería flexible en el punto de descarga, en donde acuden en pipas algunas constructoras para utilizar el agua tratada en trabajos de compactación de terracerías.

Tratamiento de lodos: La planta se concluyó su rehabilitación y ampliación en 2008, por lo que s no han generado lodos, para lo cual se programará próximamente un sondeo para verificar su presencia, cuando se extraigan se depositarán en el sitio específico asignado para ello dentro del predio de la planta.

Medición: Se cuenta con estructura de medición de niveles consistente en un Parshall con un registrador automático sellado marca Endress y Hauser que transmite los caudales que ingresan a la planta, por su parte a la descarga también se cuenta con un medidor de la misma marca, para llevar el control de los caudales del volumen descargado.

Descarga y reuso de las aguas tratadas: No se detectan olores, la descarga es libre en un predio inmediato a los terrenos de la planta, en donde se aprovechan las aguas tratadas en el riego de inundación de aproximadamente 2.5 ha de palmas decorativas, mismas que se venden en el mercado local en proyectos paisajísticos; debido a que el suelo tiene una textura arenosa, se infiltra en el subsuelo por lo que no se observan escurrimientos en todo el trayecto de un arroyo. El agua se entrega sin costo para este usuario. La planta se encuentra aproximadamente a 3 km de la orilla del mar con dirección este.

La tabla 19 muestra los resultados de la calidad de descarga y reuso del agua residual tratada en 2010 obtenidos de los análisis que realizó el laboratorio de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali de la PTAR “San Felipe”. En este cuadro comparativo se resaltan con un marco rojo los parámetro que excedieron los límites máximos permisibles para reuso de agua residual tratada para reuso con contacto directo requeridos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, además de contener los valores establecidos para reuso con contacto indirecto de la misma norma, por último los valores de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1997 para descarga de en aguas y bienes nacionales. En la Figura 15 se muestra el diagrama de flujo de la PTAR, el cual se observa la distribución del tren de tratamiento y sus características.

Tabla 19. Cuadro comparativo de análisis de laboratorio vs NOM-003-SEMARNAT-1997 de planta de tratamiento de agua residual San Felipe

Sistema: PTAR SAN FELIPE			Sitio de descarga: Suelo para riego de árreas Verdes. Coordenadas, Longitud 114° 50' 40.83"; Latitud 30° 57' 50.19"																
Capacidad de diseño: 120 lps			Tipo de Tratamiento: Lagunas Aireadas Mezcla Parcial																
Gasto promedio anual 2010: 71 LPS																			
			U-pH	°C		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	NMP/100 ml	Huevos/l
LMP NOM 001			6 A 10	40	Ausente	0.20	0.20	2.00	6.00	1.00	0.010	2	0.40	20	150	25	125	2000	5
FECHA	No. MUESTRA	Efluente General	pH	TEMP. AGUA Compuesta	MATERIA FLOTANTE	ARSENICO	CADMIO	CIANURO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC	DBO ₅	GRASAS Y ACEITES	S.S.T.	COLIFORMES FECAL _{ES} NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO
18 y 19-Ene-10	0033	Efluente General	8.21	17	Ausente	0.016	0.034	0.007	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.037	6.77	9.56	54	3.00	<1
15 y 16-Feb-10	0128	Efluente General	8.16	18.3	Ausente	0.013	0.02	0.013	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.022	21.02	4.67	64	3.00	<1
22 y 23-Marz-10	0308	Efluente General	8.06	20.6	Ausente	0.014	0.02	0.016	0.04	0.11	0.002	0.14	0.302	0.04	9.61	3.93	38	3.00	<1
26 y 27-Abr-10	0467	Efluente General	8.28	26	Ausente	0.010	0.02	0.020	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.01	46.69	5.17	72	6.23	<1
24 y 25-Mayo-10	0569	Efluente General	8.45	23.9	Ausente	NA	0.02	0.003	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.032	17.51	3.32	54	3.00	<1
21 y 22-Jun-10	0706	Efluente General	8.59	30.7	Ausente	NA	0.02	NA	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.029	19.79	11.09	44	3.00	<1
19 y 20-Jul-10	0827	Efluente General	7.94	34.5	Ausente	NA	0.02	0.004	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.015	15.23	3.46	28	787.27	<1
23 y 24-Ago-10	0972	Efluente General	8.00	35.1	Ausente	0.010	0.02	0.008	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.014	28.93	3.1	64	131.12	<1
20 y 21-Sep-10	1033	Efluente General	8.05	30.5	Ausente	0.011	0.02	0.018	0.04	0.11	0.002	0.14	0.08	0.033	32.04	4.25	112	787.70	<1
25 y 26-Oct-10	1243	Efluente General	8.37	22.2	Ausente	0.011	0.02	0.014	0.04	0.11	0.002	0.14	0.091	0.023	21.32	4.39	56	1121.73	<1
22 y 23-Nov-10	1380	Efluente General	8.13	15.3	Ausente	0.008	0.011	0.0003	0.024	0.101	0.0009	0.131	0.179	0.039	3.05	9	53	3.00	<1
13 y 14-Dic-10	1430	Efluente General	8.1	16.8	Ausente	0.01	0.011	0.017	0.024	0.101	0.0009	0.082	0.147	0.039	7.61	9	44	3.15	<1
Efluente		Maximo	8.59	35.10	0.00	0.02	0.03	0.02	0.04	0.11	0.00	0.14	0.30	0.04	46.69	11.09	112.00	1121.73	0.00
		Promedio	8.20	24.24	Ausente	0.01	0.02	0.01	0.04	0.11	0.0018	0.13	0.11	0.03	19.13	5.91	56.32	237.93	<1
		Minimo	7.94	15.30	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.10	0.00	0.08	0.08	0.01	3.05	3.10	28.00	3.00	0.00
NOM 003	C.DIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.1	0.1	1	4	0.5	0.005	2	0.2	20	20	15	20	240	<=1
	C. INDIRECTO		6 A 10	40	AUSENTE	0.2	0.2	2	6	1	0.01	4	0.4	20	30	15	30	1000	<=5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

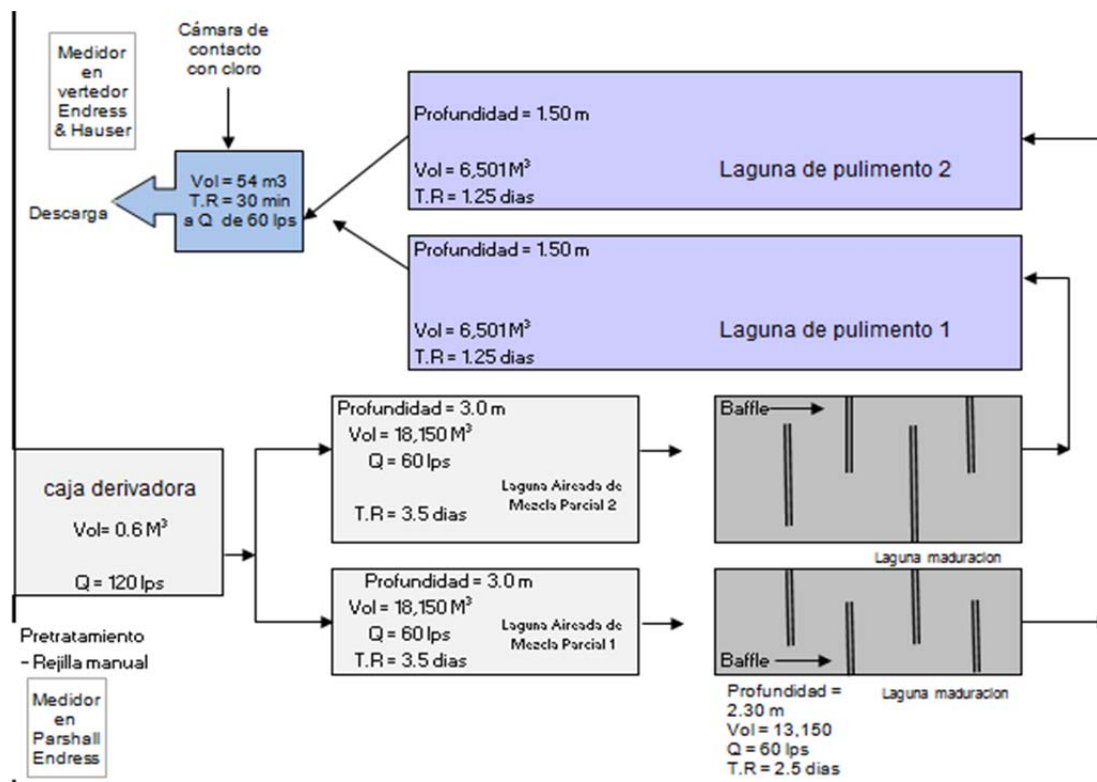


Figura 15. Diagrama de flujo de planta de tratamiento de agua residual San Felipe

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. 2010

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

En la actualidad, la reutilización del agua residual es una práctica mundialmente extendida. Esto gracias a la nueva tendencia de concientizar y cambiara nuestras actitudes así como los recursos naturales que nos rodean y de lo que nos servimos cada día. El cuidado del agua se relaciona con todo aquello que nos ayude a protegerla y la reutilizarla de manera responsable es una de las principales estrategias actuales (Rivera, 2007). Tratar el agua residual con calidad para reuso y reaprovecharla sin que presente riesgos para la humanidad ya es una necesidad por la escasez de agua que existe.

En muchos de países del mundo existe esta escasez y México no es la excepción, actualmente está entre los países que reutiliza el agua residual tratada principalmente para riego en las actividades agrícolas, además de otros reusos. Regar con agua residual tratada de buena calidad puede ayudar a que los suelos mejoren, pero por el contrario si la calidad no es buena, puede llegar a dañar la tierra de cultivo y volverla inerte. Es por eso que hacemos un énfasis en que la reutilización del agua residual tratada debe ser de buena calidad y no reutilizarla sin que ésta se certifique como tal, tanto para uso de riego de parcelas como para aprovecharla en áreas verdes o en los demás sectores en los que esta práctica pueda representar un riesgo para los usuarios. Actualmente Mexicali cuenta con 7 plantas de tratamiento de agua residual doméstica de las cuales la PTAR Zaragoza y Arenitas son las más importantes debido a su volumen tratado, la cercanía a la zona urbana y sobre todo porque son las que reutilizan el agua en los sectores industriales, ecológicos, riego de áreas verdes, línea morada para hidrantes contra incendios, recarga de ríos con actividad recreativa y en la actividad agrícola.

El reto de los organismos operadores de estas PTAR's es conseguir que las plantas cumplan constantemente con la calidad para reuso y la normatividad aplicable para llegar al grado de confiabilidad en que el agua pueda ser aprovechada al máximo en cumplimiento con el más exigente estándar para reuso el cual es reuso con contacto directo.

La información analizada muestra como la calidad del agua tratada fluctúa a lo largo del año, poniendo en duda que la calidad de los efluentes de las PTAR's puedan certificarse como un agua de calidad para reuso, sin embargo se realiza la práctica.

De los resultados de la evaluación de la calidad de los efluentes en las Plantas de Tratamiento de agua residual doméstica en Mexicali, observamos como los límites máximos permisibles en descargas para reuso con contacto directo e indirecto que establece la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, es rebasada en repetidas ocasiones con rangos mayores al 100%.

Los cuadros comparativos de esta investigación fueron en base a los parámetros con contacto directo establecidos en las tablas de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, ya que parte del agua de algunas PTAR's descargan a cuerpos de agua que tienen actividades con contacto directo.

De la revisión de los resultados de los análisis del laboratorio, pudimos observar que se destacaron los parámetros que se muestran en la Tabla 20 como los más frecuentes en incumplimiento. Se presentan resultados por planta y el número de meses los análisis arrojaron resultados arriba de los límites que se establecen en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997

Tabla 20. Parámetros con los que incumplió cada PTAR en 2010

PTAR	DBO5	Grasas y Aceites	S.S.T.	Coliformes Fecales	Reuso
Zaragoza	8 meses		12 meses		Riego de parcelas, camellones, áreas verdes. Línea morada con hidrantes contra incendio
Las Arenitas (humedal)	11 meses	1 mes	12 meses	7 meses	Riego de parcelas, recarga ecológica
Estación Coahuila	5 meses	1 mes	1 mes		Riego de áreas verdes de la PTAR
Algodones	7 meses	1 mes	12 meses	2 meses	Riego de áreas verdes de la PTAR
Cd. Morelos	9 veces		11 meses		Riego de áreas verdes de la PTAR
Cd. Victoria km .43	6 meses		9 meses	1 mes	Riego de áreas verdes de la PTAR
San Felipe	5 meses		12 meses	3 meses	Riego de siembra de palmeras y recarga por infiltración

5.1 Usuarios potenciales en el Valle de Mexicali

El valle de Mexicali forma parte del Distrito de Riego No. 14 y tiene una superficie bruta de 207,000 has: 80,000 en el Municipio de Mexicali, en Baja California, y 27,000 en el Municipio de San Luis Río Colorado, en Sonora. 136,000 se riegan por gravedad y 44,000 has por bombeo de 500 pozos. En el Distrito de Riego No. 14, llamado Distrito de Desarrollo Rural 002 Río Colorado a partir del acuerdo del 8 de agosto de 1988, se tienen registrados 13,000 usuarios.

El distrito de riego está constituido por 22 módulos de riego de los cuales 3 están ubicados en San Luis Rio Colorado, Sonora. (Delgado, 2012). En el Valle de Mexicali se siembra algodón, sorgo, maíz , ajonjolí, calabacita, cebollín, chile, melón, pepino, perejil, sandía, tomate, cártamo, cebada, trigo, acelga, ajo, betabel, brócoli, cebolla, coliflor, chícharo, nabo, ejote, espinaca, lechuga, rábano, repollo, zanahoria, alfalfa, vid y espárrago.

Se exporta el 20% de la producción hortícola y el 90% de la cosecha de algodón; abastece a la población de alimentos, especialmente de trigo y ha contribuido a desarrollar la industria. En la Tabla 21 se muestran los volúmenes tratados por PTAR y los usuarios potenciales de agua tratada de acuerdo a las actividades y vocación de la zona.

Tabla 21. Posibles usuarios potenciales

PTAR	Vol. Tratado en 2010 (m ³)	Usuario potencial
Zaragoza	25,448,039	Plantas termoeléctricas Riego agrícola en Módulo 20
Las Arenitas (humedal)	23,459,783	Riego agrícola, recarga del río Hardy, recarga de acuíferos.
Estación Coahuila	280,240	Riego agrícola, riego de camellones y/o jardines Riego agrícola
Algodones	227,501	Riego agrícola, riego de camellones y/o jardines, recarga de acuíferos.
Cd. Morelos	475,424	Riego agrícola, riego de camellones y/o jardines
Ciudad Victoria (km .43)	826,410	Riego agrícola, riego de camellones y/o jardines
San Felipe	2,227,132	Riego agrícola, riego de jardines, campos de golf, recarga de acuíferos

5.2 Plan de propuestas para un mejor aprovechamiento del agua residual tratada.

La agricultura requiere mayor cantidad de agua que otros usos, como el doméstico o el industrial; sin embargo, para el uso de aguas residuales debe considerarse aspectos de calidad con el fin de evitar riesgos a la salud pública, principalmente en lo que se refiere a sus características microbiológicas. Esta es considerada la principal razón para el establecimiento de guías y regulaciones para el reuso seguro de estas aguas en diferentes aplicaciones.

En la Tabla 22, se presentan los principales aspectos que se identificaron, tomando en cuenta cada uno de los factores que intervienen para hacer un reuso responsable del agua residual tratada de las PTAR's de Mexicali, que incluye el cuidado de la calidad de los cultivos, la calidad del ecosistema y la salud pública. Así mismo se presentan las propuestas para mejorar el reuso del agua.

Tabla 22. Propuestas para un mejor aprovechamiento del agua residual tratada

Aspecto	Propuestas
Incumplimiento con la calidad para reuso de la NOM-003-SEMARNAT-1997	Hacer los ajustes necesarios en cada planta para optimizar los procesos de tratamiento. Capacitación continua de los operadores de cada planta. Para la PTAR Arenitas se hacen las propuestas adicionales a las anteriores: Hacer las gestiones financieras para la construcción de la segunda etapa de tratamiento, procurando que sea un sistema de tratamiento de lodos activados o un sistema similar que permita obtener un efluente con calidad de reuso en cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Aspecto	Propuestas
Falta de líneas moradas:	Construir líneas moradas para la conducción del efluente de Arenitas hacia las áreas de riego. PTAR Arenitas: En la zona de la PTAR Arenitas: Actividad agrícola: se cuenta con 19 módulos de riego en el Valle de Mexicali como usuarios potenciales para las PTAR's ubicadas en éste. Recarga del cuerpo de agua del Río Hardy. PTAR Zaragoza: Revisar la línea existente y darle mantenimiento y señalizarla para riego de cultivos en el módulo correspondiente al área Ampliar la línea morada para riego de área verdes y camellones
Difusión y sensibilización de los usuarios	Ventajas del reuso con agua residual tratada y para cambiar el paradigma en el reuso de agua, una vez que ésta tiene la calidad de la NOM-003-SEMARNAT-1997 de forma constante.
Salud pública	Capacitar a los usuarios de agua residual y a los regadores en medidas de protección para el manejo seguro del agua residual Proporcionar el equipo de protección necesario para los usuarios y/o regadores con agua residual.

Aspecto	Propuestas
Preservación del ecosistema	Que la flora y la fauna no se vea afectados por la mala calidad de los efluentes de la PTAR's deteriorando su estado natural.
Inspección	Aumentar el número de visitas de inspecciones de las PTAR's, que considere la revisión de cada uno de los procesos. Considerar y verificar a todos los beneficiados o afectados según el caso, de la descarga del efluente de la PTAR.
Calidad del efluente inconstante	Establecer un programa de monitoreo periódico de calidad de los efluentes de las PTAR's considerando el reuso específico que tenga cada efluente, por parte de CONAGUA como autoridad normativa y reguladora en materia de agua. Y contar con un monitoreo por parte de un laboratorio externo y certificado. "los que riegan con aguas residuales tratadas o sin tratar requieren llevar a cabo algunos muestreos preliminares para evaluar el impacto que tendrán las mismas en el entorno" (EPA Guidelines, 2009)
Certificación del agua para reuso	Que la CONAGUA establezca un programa de certificación periódica de agua para reuso. La certificación podría ser anual, además de dar seguimiento a este programa para que sea confiable.
Disponibilidad de línea morada.	Buscar aumentar la línea mora existente hacia las comunidades en la que se pueda aprovechar y sea más viable: Áreas verdes, camellones, riego de parcelas, etc. siempre cumpliendo con la normatividad requerida para el tipo de reuso. Y considerar esta línea en las nuevas construcciones o en las zonas aledañas a las PTAR's.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

En base a los resultados de esta investigación es evidente que las PTAR's de Mexicali no cuentan con la calidad constante para reutilizar el agua. Hoy por hoy, es necesario considerar los principales aspectos significativos que presentamos en el plan de estrategias que se preparó como parte de esta investigación para el mejor aprovechamiento del agua residual doméstica tratada en Mexicali. Es necesaria la participación de todos y cada uno de los involucrados como son las organizaciones del gobierno federal, estatal y municipal, así como la comunidad en general si pretendemos aprovechar de manera eficiente y eficaz nuestro recurso hídrico.

Los efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual no cuentan con la calidad que indican las normas para poder reutilizarla con seguridad, sin embargo, los efluentes son aprovechados para el riego de cultivos y pueden representar un riesgo de salud para los usuarios, el suelo y los ecosistemas. Los regadores y las personas que directa o indirectamente tienen contacto con el agua tratada de mala calidad pueden tener problemas de salud debido a la presencia de coliformes fecales. Para el caso del suelo, por la presencia de sólidos suspendidos en la muestras del laboratorio puede llegar a afectar la permeabilidad del terreno. El reuso en riego de camellones y línea morada para incendio, se debe difundir a la población que conozcan acerca de lo que representan las líneas moradas, además de señalizarlas para que las personas que directamente o indirectamente trabajan o están en contacto con este tipo de agua tratada puedan tomar la precauciones necesarias para su manejo. Concientizar y capacitar al personal que esta en contacto con este tipo de agua para que den un manejo seguro.

Los organismos trabajan arduamente para lograr la calidad constante del agua residual doméstica tratada para reuso, pero aún falta por hacer, la intención de reutilizar el agua tratada es muy bien vista pero será mejor cuando ésta sea segura para todos. Sustentabilidad es buscar un equilibrio de los ecosistemas de tal manera que nuestras generaciones futuras puedan seguir disfrutando de la naturaleza y sus bienes que en la actualidad tenemos.

El reaprovechamiento del agua residual tratada deber hacerse con todas las precauciones necesarias, ya que de hacerse en forma equivocada o con mala calidad, en lugar de tener una solución al problema de escasez de agua, se presentarían otros problemas ambientales. Cuidemos el agua y considerémosle como un bien importante, vital y finito en nuestra vida, sólo así podremos seguir desarrollando estrategias y acciones que nos lleven a conservar con calidad de este recurso natural y todos los demás.

En conclusión las plantas de tratamiento, están reutilizando el agua residual tratada pero no cuentan con un tratamiento eficaz que pueda garantizar la calidad constante del agua para reuso que cumpla con la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas de reuso. Es importante tomar medidas al respecto para evitar problemas futuros. Por ello como parte de esta investigación se preparó un plan de estrategias para mejorar la calidad o el aprovechamiento correcto del agua residual tratada sin riesgos mayores para la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Acosta, R. d. (2005).** *Economía del Agua en Baja California, Reuso de aguas residuales tratadas*. Baja California: Universidad Autónoma de Baja California.
2. **Aguirre, V. A. (2009).** *Reporte técnico de PTAR's*. Mexicali, Dirección de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de CONAGUA.
3. **Arana, V., (2009).** *Guía para la toma de decisiones en la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencionales*, Foro Ciudades para la Vida, Diciembre 2009
4. **Baori, I.M. Mancini, E. Trulli, (2007).** *Tecnologías para el tratamiento de agua y agua residual*. Universidad de la Basílica. Departamento de Ingeniería Ambiental, Potenza, Italia página 262.
5. **Block, S. S. (2001).** *Desinfection, sterilization, and preservation*. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.
6. **Castillo, E., Solís, L., Méndez, N., García, S., Espadas, S., Canul, P., (2011).** *Tratamiento de efluentes de fosas sépticas por el proceso de lodos activados*. 21 de diciembre de 2011
7. **CEA. (2010).** *Cierre Informativo*. Mexicali: Comisión Estatal del Agua.
8. **CESPM. (2010).** *Cierre Técnico-Informativo a diciembre*. Mexicali: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali.
9. **CIDEA. (2002).** *Alternativas para el Aprovechamiento económico de las aguas residuales*. Cuba.
10. **Colima, M. (2009).** *Reporte Meteorológico*. Mexicali: Comisión Nacional del Agua.
11. **CONAGUA. (2010).** *Estadísticas. Situación del subsector de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Mexicali: Comisión Nacional del Agua.
12. **CONAGUA. (2009).** *Estrés Hidráulico*. Mexico, Baja California, Mexicali.
13. **CONAGUA. (2008).** *Programa Nacional Hidráulico*. Mexicali: Comisión Nacional del Agua.
14. **EPA GUIDELINES, (2009).** *Wastewater irrigation management plan (WIMP) - a drafting guide for wastewater irrigators*. June 2009
15. **Fernández, A., (2010).** *Beber aguas residuales recicladas, es una alternativa a la escasez de agua que ya se utiliza en diversas poblaciones de todo el mundo, con garantías sanitarias*, septiembre 2010, disponible en: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2010/09/01/195497.php

16. **Fonfria, R. S. (1990).** *Ingeniería Ambiental, contaminación y Tratamiento*. Barcelona: Ed. Marcombo.
17. **Grisola, C., Barros, A., Helder, B. (2005).** *Genotoxicity evaluation of domestic sewage in municipal wastewater treatment plants*. University of Brazil, Biology Institute, Department of Genetics, Brazil. Received August 9 2004/Accepted February 4 2005.
18. **Hermógenes, J. y Pabón, S., (2009).** *Arranque y operación a escala de un sistema de tratamiento de lodos activados para aguas residuales de matadero*. Revista Ingeniería e Investigación Volumen 29, Número 2, Agosto 2009. Recibido Septiembre 29, 2008/Aceptado Junio 16 2009.
19. **Hernández, R., Zamora, J., Murrieta, F., Lugo, R., (2008).** *Análisis y reconfiguración óptima de líneas de efluentes a una unidad de tratamiento multicontaminante*. Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Procesos y Reactores, Instituto Mexicano del Petróleo, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Recibido 8 de Octubre 2007/Aceptado 6 de Junio 2008
20. **INEGI (2010).** *Censo de población y vivienda*. Mexico: INEGI
21. **Kerri (2008).** *Operation of Wastewater Treatment Plants Vol. I*. Sacramento, CA.: OWP
22. **Loaiza, N., Jimmy, L., Fall, CH., (2010).** *Modelación del proceso de lodos activados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Noreste, Apodaca, N.L.* Ciencia UANL, Vol. XIII, Núm. 1, enero-marzo, 2010, pp. 46-54 Universidad Autónoma de Nuevo León México
23. **Mara, C. (1989).** *Environmental Clasification Excreted Organisms*.
24. **Mara Duncan and Horan Nigel, (2008).** *The Handbook of Water and Wastewater Microbiology*. Prefacio.
25. **Marx, C., Schmidt, M., (2010).** *Advance Activated Sludge Study Guide*. Wisconsin Department of Natural Resources. Waste Water Operator Certification. Page 7. December 2010.
26. **Mara, D. D. (1976).** *Sewage Treatment in hot Climates*. Londres: John Wiley and Sons.
27. **Mendonca, S. (2000).** *Sistema de Lagunas de Estabilizacion*. McGraw-Hill Interamericana
28. **Metcalf y Eddy, (1997).** *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA Editores S.A. de C.V, México, 752 páginas. Página 410-537.
29. **Montoya, C., (2012).** *Modelo matemático que permita evaluar el cambio de la DBO₅ soluble debido a agentes inhibitorios en un proceso de lodos activados* universidad nacional de Colombia facultad de minas sede Medellín 2012.
30. **SEMARNAT (1996).** *NOM-SEMARNAT-001-1996*. MEXICO.

31. **Plan, d. d. (2010).** *Plana de Desarrollo Sustentable 2006-2013*. Mexicali: GObierno del Estado de Baja California.
32. **PNUMA. (2007).** Primera edición realizada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente . Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
33. **Ramalho, R. S., y Jiménez, D. (2003).** *Introduction to the wastewater processes, version española*. Barcelona: Academic Press INC.
34. **Rivera R., Oscar L., Jesús CH., Marco B., (2007).** *Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca del valle de México* revista internacional de contaminación ambiental, 23(2) 69-77, 2007.
35. **Romero, J., (2009).** *Calidad del Agua*, Editorial ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, Colombia, 112-212 páginas.
36. **Salgot, M. (1994).** *Preveención de riesgos derivados de la reutilización de aguas residuales depuradas*. Cataluya: Departamento de sanidad y seguridad social
37. **Suárez, S., Lerma, J., y Omil, f. (2009).** coagulation- flocculation of wastewaters plants . *Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation* , 2138-2146 .
38. **Delgado, J. (11 de junio de 2012).** Distrito de Riego No. 14, Entrevista personal al director del Distrito de Riego No. 14. CONAGA. Entrevistador, A. Villagomez,
39. **SEMARNAT, (1997).** **Norma Oficial Mexicana, NOM-003-SEMARNAT-1997.** *Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicio público.*
40. **Silva,Jorge; Patricia Torres y Carlos Madera.2008. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura.** Domestic wastewater reuse in agriculture. A review . Revista Agronomía 26-2 -PROFE194).indd 347 06/10/2008 19:41:40
41. **Stovall, H., (2007).** *Natural Alternatives to Conventional Wastewater Treatment*. June 2007 Entrevistador)
42. **Watanabe, K., Miyashita, M., Harayama, S., (2000).** Starvation improves survival of bacteria in activated sludge. Marine Biotechnology Institute, Kamaishi Laboratories, Heita, Kamaishi City, Iwate 026-001, Japan. Received March 13 2000/Accepted June 21 2000.
43. **Zhang, E., Wang, B., Ning, S., Sun, H., Yang, B., Mei J. and Lin H., (2012).** *Ammonia-nitrogen and orthophosphate removal by immobilized Chlorella sp. isolated from municipal wastewater for potential use in tertiary treatment*. African Journal of Biotechnology Vol. 11(24), pp. 6529-6534, 22 March, 2012. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJB>.