



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS
BÁSICAS E INGENIERÍA

PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

M O N O G R A F Í A
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL
P R E S E N T A
P.D.I.I. LUZ VERÓNICA TOVAR ESCORZA

DIRECTOR ING. ATANACIO MUÑOZ NERI



Ciudad Universitaria, Mineral de la Reforma, Hgo; Octubre de 2007

AGRADECIMIENTOS

A MI MADRE

Por llevarme de la mano en cada una de las etapas de mi vida, por el apoyo brindado durante mi carrera, por su confianza y entrega absoluta, que representaron mi fortalece en los momentos más difíciles, en especial por su inmenso cariño que me motiva a superarme cada día como persona y profesionalista. Pero en especial por tan sublime amor, reconozco que no son suficientes las palabras para expresar todo lo que ha significado para mí en el transcurso de mi vida.

A MI PADRE

Por que sólo la superación de mis ideales, me han permitido comprender lo difícil que es la posición de ser padres, a ellos les agradezco todo su apoyo, las noches de desvelo que pasaron a mi lado. Nunca olvidaré sus consejos y los valores que me inculcaron ya que son la base de mis ideales de mi vida como profesionalista.

A MIS HERMANOS

Quienes han permanecido a mi lado en todos y cada uno de mis logros, porque como un gran roble me han sostenido cuando he flaqueado. Ellos siempre me han dado su cariño, amor, comprensión y fortaleza para seguir adelante hasta lograr esta obra que es un sueño más en mi vida.

A MIS PROFESORES

Por brindarme su amistad, respeto y enseñanzas, de hoy en adelante pondré todos los conocimientos que ustedes me brindaron todo este tiempo en cada labor que realice.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
Objetivo	1
Justificación	1
Introducción	2

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 El agua como fuente de vida en el mundo	5
1.2 Los contaminantes del agua	6
1.2.1 La contaminación que existe en el agua de lluvia	6
1.2.2 Aguas de riego y de lavado público	7
1.2.3 Aguas domésticas y su contaminación	7
1.3 Situación del problema y su gravedad	7
1.3.1 Efluentes urbanos y municipales	8
1.3.2 Efluentes municipales	8
1.3.3 Efluentes y contaminación agrícola	9
1.4 Características de las aguas residuales	9
1.4.1 Grasas y aceites	10
1.4.2 Detergentes	10
1.4.3 Parásitos y patógenos	10
1.4.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno	10
1.4.5 Oxígeno disuelto	10

CAPÍTULO 2 EL PAPEL Y TRABAJO DE LA COMISIÓN DE AGUA Y ALCANTARILLADO DE SISTEMAS INTERMUNICIPALES (CAASIM) COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO

2.1 La CAASIM como fuente de abastecimiento	12
2.2 El sistema de agua potable de la CAASIM	13
2.2.1 Función del sistema de alcantarillado y saneamiento	15
2.3 El uso y abasto de agua potable en Pachuca	17
2.4 Principales focos de infección en Pachuca por agua residual no tratada	19
2.5 Generación de agua residual	21
2.5.1 Características de las aguas residuales en Pachuca	22
2.5.2 Calidad de agua generada en la ciudad de Pachuca	22
2.6 Normativa mexicana en materia de aguas residuales	23

CAPÍTULO 3 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES

3.1 Clasificación de los métodos de tratamiento de agua residual	28
--	----

3.1.1	Procesos físicos unitarios	31
3.1.2	Procesos biológicos unitarios	31
3.1.3	Procesos químicos unitarios	32
3.2	Aplicación de los métodos de tratamiento	33
3.2.1	Pretratamiento de agua residual	34
3.2.2	Tratamiento primario	34
3.2.3	Tratamiento secundario	35
3.2.4	Tratamiento aeróbico de las aguas residuales	35
3.2.5	Procesos aerobios con biomasa suspendida	36
3.2.6	Procesos aerobios con biomasa fija	37
3.2.7	Tratamiento a través de lagunas estabilizadoras	37
3.3	Tratamiento terciario	38
3.4	Cómo se lleva a cabo el cribado y eliminación de arena dentro del tratamiento de aguas residuales	39
3.4.1	Eliminación de grasas y aceites	41
3.4.2	Dispositivos para extracción de lodos	42
3.5	Dos conceptos reciclaje y reuso	43

CAPÍTULO 4 PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1	Ubicación del predio donde se construirá la planta de 50 lps	46
4.2	Caudal del agua residual de la ciudad de Pachuca	47
4.3	Alternativas para el tratamiento del agua residual	54
4.4	Evaluación de las alternativas de tratamiento	55
4.4.1	Aireación extendida	55
4.4.2	Lodos activados	56
4.4.3	Filtros biológicos	56
4.5	Predimensionamiento de la planta de tratamiento	58
4.5.1	Costos del proyecto	59
4.6	Desarrollo de la propuesta seleccionada	60
4.6.1	Parámetros principales de diseño	60
4.6.2	Tecnología empleada	60
4.6.3	Pretratamiento del agua residual	61
4.6.4	Clarificación primaria	61
4.6.5	Tratamiento biológico	61
4.6.6	Clarificación secundaria	62
4.6.7	Acondicionamiento de lodos	62
4.6.8	Filtración	62
4.6.9	Desinfección	62
4.6.10	Sistema sencillo	62
4.7	Descripción del proceso	62

CAPÍTULO 5

BENEFICIOS DEL USO DEL AGUA TRATADA

5.1. Usos del agua tratada en los procesos productivos de industria	68
5.1.1 Precios y tarifas al tratar las aguas negras	68
5.1.2 La industria a favor de un menor costo	69
5.1.3 El tratamiento de las aguas negras es visto como un mercado activo	70
5.1.4 Falta de capacitación para consolidar plantas de tratamiento	71
5.1.5 Rentabilidad VS Ecología	72
5.2 El uso de agua tratada para riego agrícola	72
5.3 El agua y su uso residual en Pachuca	73
5.3.1 Requerimiento de agua para riego en invernadero	74
5.4 Planta de tratamiento de 100 lps y el riego de áreas verdes	75
5.5 Beneficios para construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de 100 lps	76
CONCLUSIONES	77
GLOSARIO DE TÉRMINOS	78
BIBLIOGRAFÍA	81

OBJETIVO

El objetivo general del presente proyecto es proponer el saneamiento de un caudal de 50 lps extraídos del colector de agua residual ubicado en Pachuca de Soto, Hidalgo, mediante la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, para ser utilizada en procesos de producción industria, en riego de áreas verdes de instituciones privadas o públicas, en la ciudad de Pachuca y su zona conurbada.

JUSTIFICACIÓN

El agua dulce es un recurso natural y escaso que puede verse afectado por las descargas de aguas residuales municipales, industriales y agrícolas. Preservar la calidad del agua es una de las preocupaciones de la sociedad. La forma de asegurar que las descargas municipales e industriales no deterioren la calidad del agua, es a través de la operación eficiente de los sistemas de alcantarillado y del tratamiento de las aguas residuales generadas.

En la ciudad de Pachuca existe en la actualidad una gran escasez de agua, por lo que una manera de contribuir al mejor uso del este recurso es tratarla y utilizarla en actividades que permitan la liberación de agua potable.

INTRODUCCIÓN

El hombre ha utilizado las aguas no sólo para su consumo, sino para su actividad y para su confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos.

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio tanto a corto, como a medio y largo plazo; por lo que la prevención y lucha contra ella constituye en la actualidad una necesidad de importancia prioritaria.

La contaminación de los cuerpos receptores superficiales y subterráneos (ríos, lagos, embalses, acuíferos, mar y cuerpos de agua) tiene su origen en: viviendas familiares, edificios públicos y pequeños establecimientos comerciales; sin embargo, hoy en día se presentan con mayor periodicidad la contaminación industrial.

Con el progresivo avance y desarrollo del urbanismo (aparcamientos, centros comerciales y de ocio, vías de comunicación deprimidas y subterráneas, galerías de servicios, etc.) las aguas del drenaje han ido cobrando una gran importancia creciente, especialmente por estar muy a menudo afectadas por la contaminación.

Este problema afecta a las grandes y pequeñas ciudades del país como Pachuca de Soto, considerada el municipio más importante del Hidalgo debido a que es la capital del estado, de acuerdo al II Censo de Población y Vivienda 2005, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) cuenta con 276 mil habitantes quienes a diario requieren de cientos de litros de agua, por ende es la sede de uno de los organismos reguladores del agua y su uso, como lo es la Comisión de Agua y Alcantarillado de Servicios Intermunicipales (CAASIM); este organismo, conciente del aumento en la generación de aguas residuales en los últimos años, por el crecimiento de la población y del sector comercial e industrial, se ha dado a la tarea de dar una mayor cobertura de alcantarillado a aquellas áreas que no cuentan con el servicio satisfaciendo las necesidades y ofreciendo una mejor calidad de vida para la población.

Derivada de esta situación la comisión cuenta con proyectos como la construcción de nuevas líneas de alcantarillado y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales que nos permiten prevenir la contaminación y a su vez obteniendo agua tratada con la calidad necesaria para su reuso. Su objetivo es prevenir y reducir la contaminación y sus molestias, prever el desarrollo urbano y asegurar una atención especial a los aspectos ambientales en la planificación del suelo y de la ciudad.

La información recabada en este trabajo es producto del trabajo realizado durante el año 2004, tanto por el personal de operación como el personal administrativo perteneciente a la Dirección de Saneamiento de la CAASIM.

El objeto es concentrar de esta manera las actividades llevadas a cabo por dicha dirección, para dar una panorámica de forma global de lo alcanzado en el año 2004, esto como parte de un proceso de mejora continua que se inició con la elaboración del primer manual efectuado en el año 2002, lo cual nos permitió ver los alcances y los motivos por los cuales algunas metas no se llegaron a concretar y de esta manera elaborar programas acordes a las necesidades, dándoles mayor prioridad a aquellas que lo requirieron.

Con esta información podemos establecer criterios para la toma de decisiones; además el conocer la calidad de las aguas residuales, nos permitió estimar que tipo de tratamiento se debe implementar para la disminución de contaminantes y así obtener aguas tratadas de mejor calidad que se encuentren dentro los límites máximos permisibles que establece la normatividad vigente.

En cuanto al sistema de alcantarillado los datos arrojados nos permitirán disminuir los mantenimientos correctivos por mejores mantenimientos preventivos.

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 El agua como fuente de vida en el mundo

El agua es una de las bases de la vida. Desde la creación del mundo todos los seres han necesitado de este elemento por formar parte de su composición, para su mantenimiento o bien como medio de vida.

La palabra fuente figura en los primeros escritos que se conocen y sugiere algo vivo y a lo que el prestó la atención correspondiente al ser uno de los pilares de su existencia.

El disfrute de este elemento se vio obstaculizado en la prehistoria por los vertidos de excrementos y residuos en los arroyos inmediatos a los lugares de habitación, sobre todo a partir del momento en que el hombre se transformó en agricultor, al agruparse en colectividades relativamente sedentarias que solamente disponían, como recursos líquidos, de aquellos causes inmediatamente próximos a su biotipo.¹

Desde el instante en que el hombre consideró la actividad agraria como una de las principales fuentes de su existencia, la necesidad del agua para el riego, el lavado, el arrastre de productos, fue aumentando progresivamente hasta la actualidad

Naturalmente, las regiones con bajo índice de pluviosidad son aquellas que han sufrido en mayor grado el problema y su dependencia del líquido elemento. Es precisamente en algunas de ellas en donde se desarrollaron las civilizaciones que fueron la base del mundo actual.

Estos pueblos buscaban la proximidad de uno o de varios grandes cursos de agua con objeto de atender a sus necesidades vitales por una parte y, por otra, para disponer del suficiente elemento para la irrigación de los cultivos de que dependía su existencia. Al no prever casi nunca el crecimiento de las poblaciones, sus disponibilidades ganaderas y sus necesidades crecientes de recursos agrícolas, el agua tuvo que ser valorada según su calidad, es decir, aquella a utilizar en el suministro directo de hombres y animales y aquella otra, "menos pura", a aprovechar en riegos y fertilización de campos de cultivo.²

Es de general conocimiento que las agua potables se tratan para eliminarlos gérmenes patógenos o sustancias nocivas para la salud, se habla, fundamentalmente desde principio de siglo, de la construcción de estaciones y de plantas de tratamiento de aguas. Cada día son mayores las necesidades y, un índice revelador de la creciente inquietud del pública, es la espectacular progresión geométrica del consumo de bebidas gaseosas y minerales, despreciándose en muchos casos el agua de abastecimiento doméstico.

¹Seoanez Calvo, M. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ed. 1995, página 125-136.

² Seoanez Calvo, M. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ed. 1995, página 125-136.

Si pasamos a tratar las aguas residuales, éstas plantean a nuestro juicio, el mayor problema con que se enfrentará la humanidad en los próximos años. En los países con escasa disponibilidad de agua dulce. Las aguas residuales, tanto las de origen doméstico como las de origen industrial, producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen y que los ríos son cada vez más escasos.³

1.2 Los contaminantes del agua

Por actividades, se pueden establecer numerosas clasificaciones, según su origen y su composición⁴:

- Contaminación por sales solubles
- Contaminación de origen natural
- Contaminación química
- Detergentes
- Fertilizantes
- Sales minerales
- Metales pesados
- Fenoles
- Productos fitosanitarios
- Contaminación orgánica de origen urbano
- Contaminación térmica
- Contaminación por residuos radiactivos

Para determinar los agentes extraños que contiene un agua contaminada, habrá que hacer una clasificación agrupándolos según sus características.

Los residuos líquidos y la contaminación del agua tienen como origen:

- Agua de lluvia procedente de escorrentía superficial de tejados, calles, patios, entre otros.
- Agua de riego y de lavado público.
- Aguas domésticas, en las que se incluyen las aguas de cocina, de limpieza y de lavado.

1.2.1 La contaminación que existe en el agua de lluvia

El agua de lluvia ha pasado por varias evaporaciones y precipitaciones antes de llegar definitivamente al suelo. Teóricamente debería ser pura, pero en la práctica presenta cierta cantidad de materiales en suspensión que ha arrastrado en su camino a través del aire, como son, entre otros, los plaguicidas.

Al tomar en contacto con el suelo se incorporan a ella más partículas en suspensión por una parte, y por otra, se le agregan elementos y compuestos disueltos.

³ E. Ronzano y J.L. Dapena. Tratamiento biológico de las aguas residuales. ed. 1995, página 86.

⁴ E. Ronzano y J.L. Dapena. Tratamiento biológico de las aguas residuales. ed. 1995, página 98-102.

Finalmente, debido al trayecto que recorre por los suelos, sobre todo, en los de carácter urbano, la contaminación bacteriológica que presenta, tampoco es de despreciar.

1.2.2 Aguas de riego y de lavado público

Estas aguas residuales llevarán incorporadas aproximadamente las mismas materias que las del apartado interior. Las aguas de riego contendrán, además, mayor número de partículas en suspensión por haber sido vertidas en chorro que golpea contra suelos o vegetales.

Las aguas de lavado público pueden llevar, a veces, detergentes o compuestos salinos si han sido utilizadas en zonas con problemas de nieve.

1.2.3 Aguas domésticas y su contaminación

Aguas de lavado locales contienen arenas, partículas orgánicas, partículas de cerámica, papel, detergentes, grasas minerales, hidrocarburos, entre otros componentes químicos.

Las Aguas de cocina conllevan toda clase de materia orgánica, tierra y arena procedentes del lavado de frutos y vegetales. Contienen asimismo residuos vegetales y animales, grasas, sales y detergentes. Las aguas de limpieza doméstica están inmersas en jabones, detergentes, sales diversas, espumas, y otros artículos de limpieza doméstica.

1.3 Situación del problema y su gravedad

La acumulación de las aguas residuales sin tratar, genera grandes cantidades de gases mal olientes debido a la descomposición de la materia orgánica que ésta contiene.⁵

En el agua residual también están presentes numerosos organismos patógenos, causantes de enfermedades en el ser humano, y nutrientes (como el nitrógeno y el fósforo) que estimula el crecimiento de las plantas acuáticas, además puede contener compuestos tóxicos.

De manera general la contaminación presente en los efluentes esta constituida por:

- Materiales orgánicos y minerales disueltos, biodegradables o no, ionizados o no, que pueden ser inhibitorios a la microflora y micro fauna del cuerpo receptor.
- Materiales coloidales o emulsiones (grasas, aceites solubles, etc.) o incluso asociados a películas superficiales (hidrocarburos) o de espumas (detergentes).
- Sustancias en suspensión decantables, minerales u orgánicas (microorganismo), algunas de las cuales pueden ser biodegradables.
- Contaminación térmica.

⁵ E. Ronzano y J.L. Dapena. Tratamiento biológico de las aguas residuales. ed. 1995, página 114.

Los efluentes se caracterizan por la variabilidad extrema del flujo en el tiempo y por su nivel de contaminación. De manera, para caracterizar las aguas residuales se utilizan los análisis globales, supone la definición de un equivalente de contaminación que sirva de unidad de medida común a todos los componentes del conjunto.

Con base en el origen de los contaminantes se pueden distinguir tres tipos de efluentes como a continuación se muestra:

- Efluentes urbanos o municipales
- Efluentes industriales
- Efluentes de origen agrícola

1.3.1 Efluentes urbanos o municipales

Agua de origen doméstico: Esta agua contienen compuestos como grasas, aceites y detergentes; utilizados en los hogares, sales disueltas, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y materiales fibrosos en suspensión, bacterias, huevos de helminto.⁶

Aguas de escurrimientos: esta agua son de lluvia o de escurrimientos de la carpeta asfáltica. Las aguas de lluvia se caracterizan por tener caudales extremadamente variables. Los contaminantes son, en la mayoría de los casos, sólidos en suspensión de origen mineral, aunque también se encuentran algunos hidrocarburos provenientes de la circulación de automóviles. De la atmósfera provienen el polvo, los óxidos de azufre y los compuestos orgánicos del plomo.

Aguas residuales resultantes de las actividades artesanales: agua de pequeñas empresas que son vertidas en colectores. Esta agua tiene un carácter variable en cuanto a su composición. Llegan a representar un problema para el tratamiento biológico, puesto que pueden acarrear:

Compuestos tóxicos o inhibitorios de la microflora, en particular metales pesados.

- Gran cantidad de detergentes
- Productos poco biodegradables
- Productos fuertemente ácidos o básicos

1.3.2 Efluentes industriales

Aguas con carácter mineral dominante: aguas provenientes de la mina, industria siderúrgica, fábricas químicas minerales. Aguas con carácter orgánico dominante: aguas de industrias agroalimentarias (rastros, criaderos industriales, industria láctica, industria de la conservaduría).⁷

⁶ <http://www.geocities.com/RainForest/Canopy/1285/> (Ayuda para proyectos Fin de Carrera en CC Ambientales).

⁷ <http://www.geocities.com/RainForest/Canopy/1285/> (Ayuda para proyectos Fin de Carrera en CC Ambientales).

Aguas con carácter mixto: pueden contener varios constituyentes en cantidades importantes (textiles, papeleras, refinerías, industrias farmacéuticas, química orgánica).

1.3.3 Efluentes y contaminación de origen agrícola

En este tipo de contaminación intervienen dos familias de compuestos: los pesticidas y los fertilizantes (herbicidas, fungicidas, insecticidas). La contaminación por fertilizantes comprende compuestos minerales como el nitrógeno y el fósforo.

1.4 Características de las aguas residuales

Previo a la selección y diseño de un tratamiento, se requiere conocer la composición del agua residual a tratar. La composición de ésta se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos que están presentes en ella. La tabla presenta datos sobre la composición típica de un agua residual doméstica.⁸

TABLA 1.1 Calidad de Agua tipo Municipal

CONTAMINANTES	UNIDAD	CONCENTRACIÓN VALOR PROMEDIO	VALOR EXTREMO
SÓLIDOS			
Sólidos Totales (ST)	mg/l	720	1200
Disueltos Totales	mg/l	500	850
Disueltos fijos	mg/l	300	525
Disueltos volátiles	mg/l	200	325
Sólidos suspendidos (SS)	mg/l	220	350
Suspendidos volátiles	mg/l	165	275
Sólidos sedimentables	Ml/l	10	20
MATERIA ORGÁNICA			
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ 20°C)	mg/l	220	400
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	500	1000
NUTRIENTES			
Nitrógeno (total como N)	mg/l	40	85
Orgánico (Norg)	mg/l	15	35
Nitritos (NO ₂)	mg/l	0	0
Nitratos (NO ₃)	mg/l	0	0
Fósforo (total como P)	mg/l	8	15
Orgánico	mg/l	3	5
Inorgánico	mg/l	5	10
MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes totales	No/100 ml	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
OTROS			
Grasas y Aceites	mg/l	100	150
Compuestos orgánicos volátiles	µg/l	100-400	>400

Fuente: Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Nivel Básico

⁸ Centro Mexicano de Capacitación de Agua y Saneamiento, A.C, Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Nivel Básico, pág 4.

1.4.1 Grasas y aceites

Las aguas residuales domésticas contienen grasa y aceites provenientes de las descargas de alimentos al drenaje. Estos contaminantes pueden ser perjudiciales para el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento biológico, pues inhiben a los microorganismos.

El contenido de grasas y aceites se determina por extracción de la muestra con un solvente en el cual es soluble la grasa, pero insoluble al agua.

1.4.2 Detergentes

Los detergentes provenientes de las actividades domésticas ocasionan la formación de espuma en las plantas de tratamiento. Durante la aereación en el proceso biológico generan espumas muy estables que perjudican al proceso.

La determinación de los detergentes se lleva a cabo por medio de una prueba conocida como sustancias activas al azul de metileno o SAAM.

1.4.3 Parásitos y patógenos

Uno de los principales problemas de las aguas residuales es el contenido de parásitos y patógenos, ya que afectan a la salud humana. Entre los microorganismos patógenos se encuentran los coniformes, que son bacterias causantes de diarrea y malestares estomacales. Los principales parásitos son los huevos de helminto (lombrices intestinales).

1.4.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO_5 es la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la degradación de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual, determinada a los cinco días de incubación. Es una medida importante que indica la cantidad de contaminación orgánica que hay en el agua.

1.4.5. Oxígeno Disuelto

Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

CAPÍTULO 2.
EL PAPEL Y TRABAJO DE LA CAASIM COMO FUENTE
DE ABASTECIMIENTO EN PACHUCA

2.1 Fuentes de abastecimiento de agua potable

La Comisión de Agua y Alcantarillado de Servicios Intermunicipales (CAASIM), atiende las necesidades de la población de 12 municipios como Mineral de la Reforma, Zapotlán, Mineral del Monte, Zempoala, Epazoyucan, Pachuca en los que hay más de 120 mil usuarios.

La demanda de agua en Pachuca es de dos mil litros por segundo, pero la capacidad apenas alcanza los mil 500 litros por segundo, pese a que hay cerca de 400 mil usuarios y con la creciente construcción de nuevos fraccionamientos, aumentará a dos mil litros por segundo, por lo que se ha buscado utilizar el agua de las minas (la de San Juan Pachuca y La Purísima) que ya no se explotan como tales, lo que permitirá atender a unas 32 mil personas.⁹

Pero el problema se agravará en virtud de que están en proceso de construcción 144 nuevos fraccionamientos que demandarán el servicio, lo que implica 500 litros por segundo más. De acuerdo con un estudio comparativo, realizado por el gobierno del estado de Hidalgo entre 1989 y 2002, que reportó un balance negativo entre el volumen de agua extraído en ese lapso y la recarga, con un porcentaje negativo de 1.71 por ciento.

El diagnóstico indica que en la entidad hay 23 acuíferos, 21 de manera directa y dos compartidos. El volumen de agua que se extrajo para 1989 fue de 659.8 millones de metros cúbicos, cantidad que corresponde al 98.29 por ciento estimado de recarga anual.

La sobreexplotación de los acuíferos es un problema latente, agrega el estudio. En 1989, existían seis acuíferos sobreexplotados, cifra que se redujo a tres en el 2002; lo que significó en volumen un incremento de 116.29 millones de metros cúbicos, lo cual muestra un balance positivo de 105.14 millones de metros cúbicos, con una recuperación en la disponibilidad media anual de agua subterránea en las unidades hidrológicas de Huichapan-Tecozautla, Ixmiquilpan, Tecocomulco y Apan.

Del tratamiento de aguas, en materia de infraestructura para este fin, el número de plantas tratadoras de agua se elevó un 32 por ciento, de 31 existentes en 1999 para el 2002 pasó a 41.

Con la operación de estas plantas, en 2002, se trataron 34.44 millones de metros cúbicos, lo que equivale a un aumento porcentual de 13.24 por ciento respecto a 1999 (29.53 millones de metros cúbicos). Esto en términos de eficiencia representa el 63.55 por ciento, con base en la capacidad instalada de 1,618.98 litros por segundo.¹⁰

⁹ Revista Vía Libre, "Crisis Financiera en CAASIM: Escasez de agua y contaminación, publicada el 26 de agosto de 2007, página 8 y 9.

¹⁰ Revista Vía Libre, "Crisis Financiera en CAASIM: Escasez de agua y contaminación, publicada el 26 de agosto de 2007, página 10.

De la demanda total de agua para el sector privado en 2002 (117.4 millones de metros cúbicos), la industria reporta que el 27.14 por ciento recibe tratamiento y solamente el uno por ciento de esta agua tratada se reutiliza en alguna etapa del proceso industrial.

En el caso de la infraestructura para el servicio público, cerca del uno por ciento de la extracción total para el uso público urbano (159.23 millones de metros cúbicos) recibe tratamiento, el resto es colectado en el alcantarillado y/o descargado a algún cuerpo de agua.

Por lo anterior se concluye que el tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales en términos generales es bajo (12.08 %).

2.2 El Sistema de agua potable de los municipios de Pachuca y Mineral de la Reforma, Hidalgo

Actualmente Pachuca se abastece principalmente de 36 pozos profundos de tres baterías al sur y suroeste de la ciudad, con sus respectivos acueductos: Ramal-Téllez, Matilde, Providencia, Laguna y Tizayuca-Pachuca. El gasto total manejado por la CAASIM es de 1,440 litros (l/s), y el suministro para la ciudad de Pachuca de Soto, área de influencia de la planta, es de 1,264 (litros por segundo) lps, es decir el 88 por ciento.¹¹

Existe una pequeña aportación de 17 lps de agua proveniente de las presas Jaramillo y Estanzuela. Con esta producción y la infraestructura de regulación y almacenamiento así como de distribución existente, se logra dar una cobertura del 95 por ciento en el servicio de agua potable. Es importante indicar que un alto porcentaje de la población es atendida a través del método de tandeo (se distribuye el agua por horas) y que en determinadas épocas del año el tandeo llega al 100% de la población abastecida.

Para efectos de operación, el departamento de distribución ha dividido la ciudad en dos sectores:

- a) Sector Poniente
- b) Sector Oriente

Para brindar el servicio de agua potable, la CAASIM opera la siguiente infraestructura:

- a) 36 Pozos profundos
- b) 2 Presas de almacenamiento (Presa El Jaramillo y Presa La Estanzuela)
- c) 1 Planta potabilizadora
- d) 139 Kilómetros de red primaria
- e) 867 Kilómetros de red secundaria
- f) 26 Cárcamos de bombeo

¹¹ Informe anual de actividades presentado por Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales, presentado en enero de 2005, páginas de la 18 a la 23.

g) 52 Tanques de regulación

El volumen total extraído para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Pachuca de Soto y su zona conurbada, es de 39.86 millones de metros cúbicos (m³) al año, de los cuales el 98.67 por ciento provienen de las fuentes de abastecimiento subterráneas y el 1.33 de las fuentes de origen superficial. Adicionalmente, la CAASIM extrae un gasto de casi 6.0 millones de m³, para el abastecimiento de los municipios a los que les brinda el servicio, lo que en total da un volumen de extracción de 46 millones de m³ (1,444.49 lps).¹²

Actualmente la Subdirección de Alcantarillado en conjunto con la Dirección de Saneamiento tiene la tarea de llevar a cabo las siguientes actividades de manera general:

a) Alcantarillado

- Instalación de descargas domiciliarias
- Mantenimiento preventivo del sistema de alcantarillado

b) Revisión de líneas y estructuras del sistema

- Desazolve de líneas y estructuras del sistema
- Mantenimiento correctivo del sistema de alcantarillado
- Desazolve de líneas y estructuras del sistema por reportes de usuarios
- Desazolve del sistema en época de lluvias
- Reparación del sistema

c) Aguas residuales

- Visitas a empresas para controlar las descargas a drenaje municipal
- Visitas de inspección
- Visitas de verificación
- Visitas extraordinarias

d) Elaboración de padrón de empresas

- Dictamen y análisis de calidad de descargas de agua residual
- Emisor general el venado
- Colectores de la ciudad
- Empresas
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Proyecto de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de 500 lps

¹² Informe anual de actividades presentado por Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales, presentado en enero de 2005, páginas de la 18 a la 23.

- Proyecto de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de 100 lps.

Tabla 2.1 Extracción de agua potable

FUENTE DE ABASTECIMIENTO	GASTO MEDIO DIARIO GENERAL	VOLUMEN HM ³ /AÑO	GASTO MEDIO DIARIO PARTICULAR
<i>Subterránea</i>			
Pozos Profundos a Pachuca	1,237.23	39.01	1,237.23
Pozos Profundos a Otros Municipios	188.1	5.93	
<i>Suma Subterránea</i>	<i>1,425.33</i>	<i>44.94</i>	<i>1,237.23</i>
<i>Superficial</i>			
Presa Jaramillo a Pachuca	1.47	0.05	1.47
Presa Jaramillo a Otros Municipios	2.22	0.07	
Estanzuela a Pachuca	15.48	0.49	15.48
<i>Suma Superficial</i>	<i>19.17</i>	<i>0.61</i>	<i>16.95</i>
<i>Total</i>	<i>1,444.5</i>	<i>45.55</i>	<i>1,254.18</i>

Fuente: Estadísticas de la extracción de agua potable realizada en 2005 por CAASIM.

2.2.1 Función del sistema de alcantarillado y saneamiento

La red de alcantarillado de la ciudad está diseñada para conducir sólo aguas negras y debido a que no cuenta con red para drenaje pluvial, el sistema de alcantarillado actual se considera mixto pues conducen aguas residuales y aguas pluviales.

La cobertura del servicio de alcantarillado es de 85%, mientras que en el rubro de saneamiento como es sabido no se realiza ningún tratamiento a las aguas residuales generadas por las localidades que descargan sus aguas al sistema de alcantarillado perteneciente a la CAASIM.

La infraestructura de atarjeas y colectores con que cuenta la ciudad de Pachuca se encuentra virtualmente dividida en 7 sectores o zonas de servicio de acuerdo con la topografía, pendientes e hidrografía por cuencas de aportación del área urbana de la ciudad.¹³

- En el Sector Poniente de la Ciudad, las colonias Parque de Poblamiento, El Palmar, Piracantos, San Cayetano, parte de Ampliación Santa Julia y Santa Julia, Colosio, San Pedro Nopalcalco, Infonavit Venta Prieta, Venta Prieta, ISSSTE, El Tezontle, Real de la Plata, Carlos Rovirosa, San Carlos y Club de Golf, entre otras, descargan sus aguas residuales al Colector ISSSTE (Cuenca El Venado).

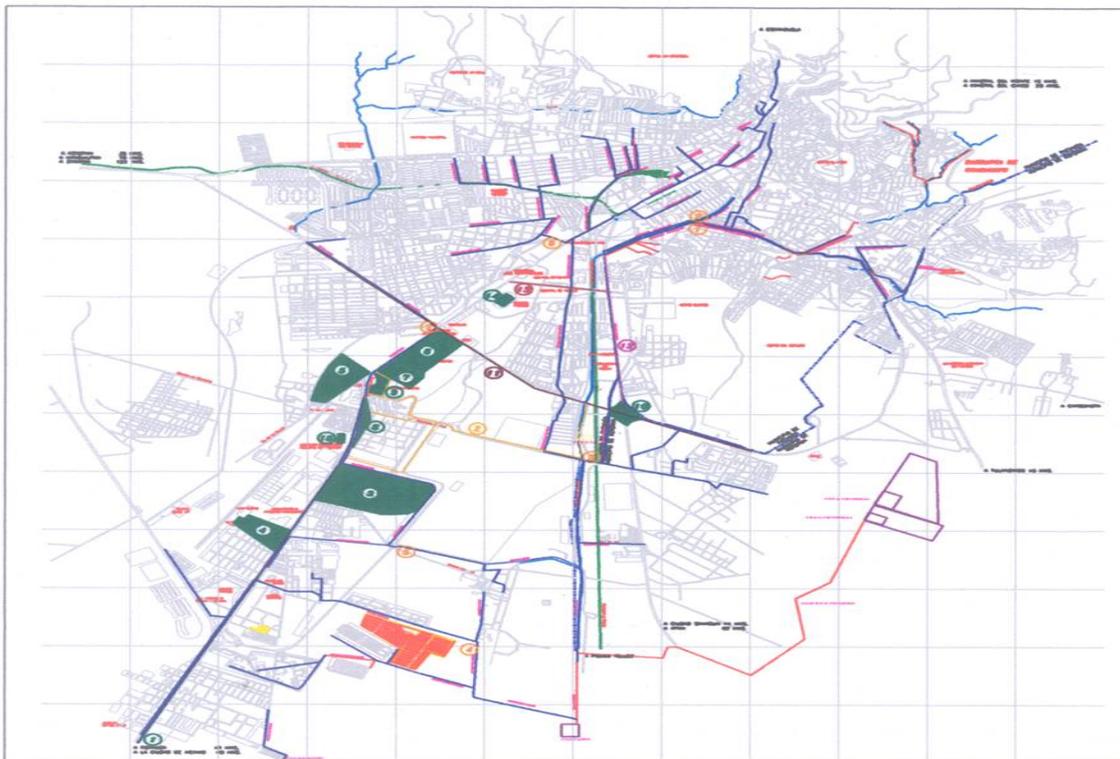
¹³ Entrevista Publicada en el periódico Síntesis de Hidalgo, "Sin agua 100 mil pachuqueños por obra del Río de las Avenidas", martes 25 de septiembre 2007, página región 5.

- b) En el Sector Norte-Centro de la Ciudad las colonias Centro, Plutarco Elías Calles 1ª y 2ª sección, Santa Julia, parte de Ampliación Santa Julia, Cuauhtemoc, Javier Rojo Gómez, José María Morelos y Pavón, El Arbolito, Antonio del Castillo, Aquiles Serdán, Maestranza, Venustiano Carranza, Lomas de Vista Hermosa, Constitución, Los Cedros, San Bartola, Nueva Estrella, Infonavit Santa Julia, La Palma, Valle de San Javier, Hilaturas Pachuca y Real del Valle, entre otras, descargan sus aguas residuales a una amplia red de subcolectores que confluyen a un punto donde inicia el Colector Cuesco San Javier, el cual termina en la afluencia con el Colector Petróleos, en el sitio denominado Columbia, donde descargan sus aguas respectivamente al Colector General El Venado a la altura de la Avenida 1º de Mayo, en la Colonia El Venado (Cuenca Cuesco-San Javier)
- c) En el Sector Centro-Oriente las colonias Campestre Villas del Álamo, Villas del Álamo, Minerva, La Militar, Manuel Ávila Camacho, Privadas de San Javier, Taxistas, Unidad Minera, Unidad Habitación 11 de Julio, Céspedes, Felipe Ángeles, Ampliación Felipe Ángeles, La Raza, Real de Oriente, Ciudad de los Niños, Buenos Aires, El Lobo, Anáhuac, entre otras, descargan sus aguas residuales a un sistema de subcolectores denominados Subcolector Universidad Calabazas Margen Derecha y Subcolector Universidad Calabazas Margen Izquierda. Sin embargo, debido a que están inconclusos se vierten las aguas residuales al Arroyo Calabazas y al Río Sosa, que posteriormente se unen y se convierte en un conducto cerrado con sección rectangular de 5 x 2 m. De igual forma las colonias Nueva Francisco I. Madero, La Surtidora, Doctores, Real de Minas, parte del Centro, Periodistas, Cruz de los Ciegos, Las Lajas, La Alcantarilla, San Clemente y Cabañitas, entre otras, descargan sus aguas residuales a un sistema de subcolectores que afluyen al Subcolector Universidad Calabazas Margen Derecha (Cuenca Columbia).
- d) En el Sector Sur-Poniente de la Ciudad, las colonias Forjadores de Pachuca, Haciendas de Hidalgo, Juan C. Doria, Pachoacán, Los Tulipanes, Magisterio, Paseo de Tulipanes, Geo Villas, Hacienda de Pitahayas, Los Primas, Rinconada del Venado, El Venado, SPAUAH, Rinconada de San Francisco, Valle Dorado y Los Cipreses, entre otras, descargan sus aguas al Colector Tulipanes. Las colonias Villas de Pachuca y Lomas de Nueva Airosa, descargan sus efluentes en canales a cielo abierto que posteriormente son utilizadas para riego agrícola (Cuenca Tulipanes).
- e) Más al Sur de la Ciudad se localizan las colonias San Antonio El Desmonte y Parque Urbano San Antonio que descargan sus aguas residuales al Colector San Antonio, el cual llega a una pequeña Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con capacidad original de 4 lps, pero que actualmente recibe 10 lps (Cuenca San Antonio).
- f) En el Sector Sur-Oriente de la Ciudad, las aguas residuales provenientes de las colonias La Providencia y San Cristóbal se

descargan a un canal de tierra que llega a unos depósitos construidos por lo fraccionadores para utilizar esta agua para la construcción (Cuenca Providencia).

- g) En el Sector Sur-Oriente de la Ciudad también se localiza una Zona Industrial conocida con el nombre de Parque Industrial CANACINTRA que al igual que las colonias Nuevo Centro de Población Chacón y La Reforma, descargan sus aguas residuales al Colector La Reforma (Cuenca La Reforma).

Figura 2.1 Cuencas de aportación de aguas residuales de los municipios de Pachuca y Mineral de la Reforma, Hidalgo



Fuente: Dirección de Alcantarillado de la CAASIM 2005.

2.3 El uso y abasto del agua potable en Pachuca

El agua es un elemento vital que permite aprovechar otros elementos necesarios para el bienestar de la sociedad. Al dotar de los servicios básicos a la población contribuye a elevar su calidad de vida; sin embargo, el alto costo de la infraestructura convencional para dotar de los servicios de agua potable y saneamiento, la mala distribución en espacio y tiempo del vital líquido y la dispersión de las comunidades han sido las causas principales de que la cobertura de estos servicios en las poblaciones sean muy baja y se originan

serios problemas de salud relacionados con la calidad del agua y la disposición inadecuada de las aguas residuales generadas.¹⁴

La CAASIM es el organismo que en los últimos años es el responsable directo, de la constante, casi permanente escasez de agua, no solo en la capital hidalguense, sino en diversos municipios donde constantemente se presentan fugas.

La infraestructura hidráulica que sirve a Pachuca, es toda una red de tuberías que lo menos que se puede decir de ella es que ya es de la tercera edad, en muchos de sus tramos la antigüedad de las instalaciones rebasan los 80 años, principalmente en el primer cuadro de la ciudad y el tiempo promedio de uso entre lo más antiguo y lo nuevo en las recientes colonias, es de entre 40 y 50 años.

A pesar de ello, la CAASIM asumiendo una actitud negligente, no hace más que reparar las fugas que se presentan, no se cambia la infraestructura, ni siquiera por secciones y el desperdicio de agua sigue siendo una constante en casi todas las colonias de la capital y digo casi todas, porque para nadie es desconocido que en fraccionamientos como Arboledas de San Javier, La Moraleja, Valle de San Javier o el Club de Golf, ni siquiera por equivocación saben lo que es no tener agua.¹⁵

Pero en otros sectores como la Providencia, Tulipanes, Magisterio o Los Tuzos que son colonias relativamente de reciente creación, la escasez de agua es más que notable, un problema grave para la población, a cuyos usuarios a pesar de que no tengan líquido en sus casas o comercios durante varias semanas, en cambio si les llega de manera puntual el recibo, para cobrarles un consumo inexistente, porque las tuberías están secas y de las llaves no sale más que aire.

A pesar de la gravedad del problema y de lo obsoleto e inservible que se ha vuelto el sistema hidráulico de Pachuca, la CAASIM no parece estar interesada en resolver el problema, los accidentes y fracturas en los ductos se repiten ya de manera cotidiana y ni aún así se realizan las inversiones necesarias para resolver esta situación que conforme avanza el tiempo se vuelve más complicada.

Pueden alegar los dirigentes de la CAASIM, que no se cuenta con los recursos económicos suficientes para reponer las tuberías inservibles, pero esa situación más que justificar su incapacidad, revela la existencia de actitudes negligentes en el cobro del servicio.

¹⁴ La columna de los lunes. "CAASIM: la negligencia", jueves 10 de agosto 2006.
http://72.14.205.104/search?q=cache:81R53_VWhLEJ:lacolumnade.blogspot.com/2006/08/caasim-la-negligencia.html+caasim&hl=es&ct=clnk&cd=5&gl=mx

¹⁵ La columna de los lunes. "CAASIM: la negligencia", jueves 10 de agosto 2006.
http://72.14.205.104/search?q=cache:81R53_VWhLEJ:lacolumnade.blogspot.com/2006/08/caasim-la-negligencia.html+caasim&hl=es&ct=clnk&cd=5&gl=mx

Para resolver el problema de abasto, la CAASIM no hace más que poner “curitas” al sistema hidráulico, es decir “mejoralitos” para una gran enferma que es la red de tubería, ofrece llevar agua a las diferentes colonias afectadas a través de pipas distribuidoras cuya labor, en teoría es de manera gratuita, pero que en la práctica no son más que una pesada carga para la economía de miles de familias que tienen que pagar a los operadores por el suministro.

Es urgente que la CAASIM cumpla con su obligación de proporcionar a la población, el agua potable que se requiere para la subsistencia, al menos para las actividades más elementales, pero para ello, lo primero que tiene que hacer es erradicar la negligencia de sus funcionarios y aplicar al mejoramiento de la infraestructura, al menos los recursos, que son muchos, los que se encuentran en cartera vencida del organismo que es una entidad pública, además es importante que ante los problemas de abasto de agua, el organismo operador de agua se preocupe por el destino de las aguas negras.

2.4 Principales focos de contaminación en Pachuca por agua residual no tratada

El saneamiento básico tiene por objeto prevenir y controlar estas enfermedades mediante la rehabilitación y construcción de infraestructura sanitaria.

En la ciudad de Pachuca de Soto existe un foco de contaminación eminente para la población que ahí habita, principalmente para aquellos que viven en las inmediaciones del mismo, nos referimos sin duda alguna al río de las Avenidas, que al pasar de los años este cuerpo de agua que originalmente sólo transportaba agua pluvial ahora también hace lo propio con las aguas residuales generadas por la urbe.

Figura 2.2 El río de Las Avenidas cuerpo receptor de las aguas residuales



Fuente: Dirección de Saneamiento de la CAASIM

Los efluentes principales son el Río Sosa que aporta hasta 140 Ips de agua, siendo por ello con mucho mayor caudal que incide en el Río de las Avenidas y simultáneamente el que aporta la principal contaminación, producto de la zona hospitalaria más importante de la ciudad de Pachuca, para transitar a su vez a la presa El Manantial en el municipio de Tizayuca y derivar hacia el Río El Salado en el municipio de Zumpango, Estado de México.

La Dirección de Saneamiento mediante el área de Aguas Residuales llevan a cabo un historial de la calidad fisicoquímica de las aguas residuales vertidas a los sistemas de alcantarillado para dar cobertura a toda la zona metropolitana, lo cual permite determinar en que parte de esta zona existe un mayor índice de contaminación, dichos análisis son representativos de los principales colectores de la ciudad y una descarga general, las cuales mediante un programa anual de muestreo quincenal se determinan los puntos con mayor índice de contaminación que se va presentado durante el año para así, al finalizar un año, realizar gráficos representativos de dicho periodo para evaluar en que épocas del año se presenta un mayor índice de contaminación y sus posibles causas.

Actualmente se tienen once puntos de monitoreo los cuales son 10 colectores principales y una descarga general y los cuales son:¹⁶

- a) Colector 11 de Julio (c-1)
- b) Colector Loreto (c-2)
- c) Colector Columbia (c-3)
- d) Colector Tulipanes (c-4)
- e) Colector Venado-Canacintra (c-5)
- f) Colector 5 de Mayo (c-6)
- g) Colector Providencia (c-7)
- h) Colector Reforma (c-8)
- i) Colector Pitahayas (c-9)
- j) Colector San Antonio (c-10)
- k) Descarga Emisor General el Venado

El Río de las Avenidas esta sufriendo modificaciones y el pasado 14 de agosto de 2007, gobierno del estado de Hidalgo inauguró la tercera etapa de la modernización del Río de las Avenidas, en la que se invirtieron recursos por 120 millones de pesos que beneficiarán a 500 mil habitantes de Pachuca y zona metropolitana, el objetivo principal es reducir los niveles de contaminación puesto que gran parte de las aguas estarán tapadas.¹⁷

La segunda y tercera etapa abarca el funcionamiento de la vialidad del puente Everardo Márquez al entronque con la calle Jaime Nunó, se construyeron dos pasos a desnivel (deprimidos) con una capacidad de dos carriles por lado; así como el encauzamiento del río hasta el estadio

¹⁶ Datos presentados por la dirección de Saneamiento de la CAASIM, durante el Segundo Informe de Actividades del organismo operador, marzo de 2007, página 8.

¹⁷ Periódico El Reloj de Hidalgo. "El gobernador Osorio puso en marcha una etapa más de la Río de las Avenidas, miércoles 15 de agosto de 2007, página uno.

Revolución, en una longitud de 760 metros, que permitirán conducir demandas extraordinarias de agua pluvial.

Desde el 15 de agosto se iniciaron los trabajos de la siguiente etapa que consiste en la demolición y restitución del puente Jaime Nunó, y seguirá el encauzamiento del río hasta llegar a la Avenida Madero, así como en la ampliación de las vialidades a cuatro carriles en ambos sentidos, mismos que darán solución a los entronques del Viaducto Rojo Gómez y Avenida Ramírez Ulloa.¹⁸

Esta obra inició en septiembre de 2005 y se tiene prevista que estará lista en 2009, pero aún así la CAASIM no ha determinado que proyecto implementará para tratar las aguas que ahí son desechadas, por ello la importancia de incluir un proyecto que contemple su reuso.

Figura 2.3 Obras realizadas en el Río de Las Avenidas



Fuente: Dirección de Saneamiento CAASIM, 2007

2.5 Generación de aguas residuales

Durante siglos, el agua se consideró un recurso natural renovable e inagotable. No obstante, con el paso del tiempo nos hemos dado cuenta de que en las zonas de alta densidad poblacional, esta afirmación no es siempre válida. Lo anterior se debe a que mientras más personas vivamos en el mismo lugar, más agua se requiere para cubrir las necesidades de sus habitantes y más contaminantes se vierten al agua.

La actividad humana puede contaminar el agua de manera directa o indirecta: la primera consiste en verter sustancias nocivas directamente para ella y la segunda, cuando los desechos que depositamos en el suelo se filtran y afectan así la pureza del líquido.

¹⁸ Periódico El Reloj de Hidalgo. “El gobernador Osorio puso en marcha una etapa más de la Río de las Avenidas, miércoles 15 de agosto de 2007, página uno.

Las actividades domésticas representan una de las principales fuentes de contaminación de los mantos acuíferos. En los hogares es donde se produce la mayor cantidad de desperdicios que van a directamente al drenaje o a los cuerpos de agua. Esto se debe a que generalmente abusamos del uso de los detergentes, blanqueadores, suavizantes, jabones, entre otros artículos.

2.5.1 Características de las aguas residuales en Pachuca

Las aguas residuales generadas por la población de Pachuca de Soto, Hidalgo y sus zonas conurbadas, tienen su destino final el Río de las Avenidas, todo esto a través de los diferentes colectores que en la ciudad existen.

Es por ello que la Dirección de Saneamiento mediante el área aguas residuales dan seguimiento a las normatividades antes mencionadas.

Se evalúa la calidad fisicoquímica obtenida del emisor general El Venado (descarga final donde se vierten el 90% de las aguas residuales generadas por la Ciudad de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma antes de verterse al Río de Las Avenidas) esto con la finalidad de conocer en que parámetros se encuentran más altos, para de esta manera poder establecer criterios de seguimiento, evaluación y control.¹⁹

También se realiza una evaluación del comportamiento fisicoquímico de las aguas residuales vertidas en los sistemas de alcantarillado de los diferentes colectores de la ciudad, esto con la finalidad de saber que zona de la ciudad se generan mayor índices de contaminantes y poder verificar si en el área cercana existen algunas empresas que puedan estar generando dicha contaminación y evitar así algún tipo de riesgo latente dando a dicho generador de contaminantes condiciones particulares de descarga para dar cumplimiento a la NOM-002- SEMARNAT-1996.²⁰

Para seguir con el programa de padrón de empresas conforme a la NOM-002-SEMARNAT-1996, en el año 2004 se llevaron a cabo visitas de inspección y de verificación esto con la finalidad de que al realizar las visitas dependiendo de la naturaleza de la empresa, del tipo de proceso y de los usos proyectados para el agua de desecho, algunos constituyentes que se encuentran en el agua residual deben ser removidos de la corriente antes de la descarga esto con la ayuda de los análisis fisicoquímicos realizados.

2.5.2 Calidad del agua residual generada en la ciudad de Pachuca

La corriente de agua que pasa por diversas colonias de Pachuca arrastra desde el líquido que se desecha en la tina de más de 276 mil habitantes de diversas colonias, los desechos de los drenajes sanitarios, el cauce natural pluvial y cientos de litros de aguas residuales.

¹⁹ Dirección de Saneamiento de CAASIM, Proyecto técnico para el reuso de las aguas negras de Pachuca, elaborado el 23 de marzo de 2006, página 23.

²⁰ Dirección de Saneamiento de CAASIM, Proyecto técnico para el reuso de las aguas negras de Pachuca, elaborado el 23 de marzo de 2006, página 24.

El uso del agua potable en Pachuca es de tipo doméstico, comercial, industrial y agrícola, éste último muy pequeño, por lo que la concentración y clase de contaminantes reportados son típicos de aguas con características municipales, ya que algunas de las industrias cuentan con plantas propias para realizar un pretratamiento a las aguas antes de ser vertidas en el alcantarillado municipal.

La Ciudad de Pachuca además de ser la capital del Estado por ser una localidad con alto potencial de desarrollos habitacionales e industriales, es de suma importancia a nivel estatal; se clasifica dentro de las ciudades de tamaño medio, por lo que requiere de atención prioritaria en todos los aspectos, con el fin de promover su crecimiento integral.

El atraso que presenta en su infraestructura de saneamiento es motivo de alerta, debido a los impactos negativos en el aspecto sanitario que provoca la generación de aguas residuales estimada en 450 l/s, producto de una población estimada para el 2008 de 326,543 habitantes.²¹

Las aguas residuales generadas en la ciudad de Pachuca y Mineral de la Reforma, no cuentan con tratamiento alguno, por lo que son vertidas en forma cruda al Río de Las Avenidas, repercutiendo en aspectos, tales como el incremento de la contaminación y perjuicio a las condiciones de la salud de la población aguas abajo de los puntos de descarga.

2.6 Normatividad mexicana en materia de aguas residuales

En México la entidad encargada de regular lo relacionado a las aguas, tanto de abastecimiento como residuales es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), mediante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que es uno de los organismos descentralizados junto con la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y el Instituto Nacional de Ecología (INE).

En materia de aguas podemos enlistar las siguientes herramientas normativas:

- a) Ley de Aguas Nacionales
- b) Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- c) Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
- d) Ley Estatal y su Reglamento
- e) Reglamento de la Ley Estatal de Agua y Alcantarillado
- f) Normas Mexicanas de Métodos de Pruebas

- a) Ley de Aguas Nacionales

Esta fundamentada en el artículo 127 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, tiene por objeto regular la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución, control y preservación; con el fin de lograr un desarrollo industrial sustentable.

²¹ Secretaría de Salud del Estado de Hidalgo. “Estudio de sanidad para evitar enfermedades gastrointestinales en Pachuca”, ponencia del Dr. Alberto Jonguitud Falcón, enero de 2007.

b) Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Lo dispuesto en esta ley en materia de agua, se restringe a las aguas residuales para el ámbito estatal y municipal en sus artículos 117 al 133, establece los criterios para prevenir y controlar la contaminación del agua y la coordinación entre la autoridad federal, los estados y los municipios.

c) Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

Regula temas como la administración del agua, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos incluyendo las concesiones y asignaciones, los derechos y las obligaciones de los concesionarios, usos de las aguas, la prevención y control de la contaminación del agua.

En este reglamento se establecen de manera más específica los siguientes puntos.

- Los requerimientos para los registros de las concesiones de uso.
- La obligatoriedad de los registros de las descargas de agua residual.
- La obligatoriedad de contar con dispositivos de aforo y muestreo de las aguas residuales.
- La obligatoriedad de operar sistemas de tratamiento de las aguas residuales cuanto así se requiera.
- Realizar los monitoreos de calidad de agua.
- El establecimiento de condiciones particulares de descarga.

d) Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Aguas Residuales

Hasta la fecha se tienen vigentes dos normas en Materia de Aguas Residuales que establecen los límites máximos permisibles de los parámetros de descarga y las cuales son.

- NOM-001-SEMARNAT-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria de los responsables de dichas descargas. La Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

La norma clasifica los límites máximos en función de los tipos de cuerpo receptor: superficiales continentales, marino interiores y territoriales; y suelo. Fija los límites máximos permisibles (LMP) para contaminantes básicos, parásitos, patógenos, metales pesados y cianuro. La norma se complementa mediante condiciones particulares de descarga, las cuales pueden comprender parámetros adicionales y su aplicación está en función de los usos del agua y la capacidad de asimilación y dilución del cuerpo receptor.

- 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; es de observancia obligatoria para los responsables de de dichas descargas.

Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las aguas sanitarias generadas por la industria, siempre y cuando se viertan a drenajes separados.

- NOM-003-SEMARNAT-1997

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

- NOM-004-SEMARNAT-2002

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes de los Desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Es de observancia obligatoria para todas las personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos provenientes del Desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- e) Ley Estatal y su Reglamento

La presente Ley es de orden público e interés social y regulan en el estado de Hidalgo, la participación de autoridades estatales y municipales en el ámbito de su competencia, en la realización de acciones inherentes a la explotación, uso y prestación de los servicios públicos de agua.

- g) Reglamento de la Ley Estatal de Agua y Alcantarillado

Artículo 74.- Las plantas de tratamiento instaladas o que se pretendan instalar en el estado deberán contar con autorización de impacto ambiente expedido por la autoridad competente.

Artículo 75.- El tratamiento de las aguas de origen municipal e industrial que se viertan a los cuerpos receptores municipales, se llevara a cabo observando las disposiciones que para tal actividad regulan las Normas Oficiales Mexicanas.

Artículo 76.- Para efectos del Art.87 de la ley, el agua que suministren los prestadores, para su uso o tratamiento deberá aprovecharse conforme al siguiente orden de prelación.

- Uso industrial
- Riego de áreas verdes
- Ramo de la construcción
- De drenaje y alcantarillado que administren
- Uso público urbano
- Uso agrícola
- Otros usos permitidos

CAPÍTULO 3
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1 Clasificación de los métodos de tratamiento de aguas residuales

Históricamente el agua residual generada por la ciudad de Pachuca, concentrada en el cauce del Río de Las Avenidas, tiene una demanda concesionada (250 l/s aproximadamente) por parte de pequeños propietarios, que se encuentran en ambas márgenes del río y que se dedican a la agricultura.

Actualmente las aguas residuales generadas en la Ciudad de Pachuca y zona conurbada, se utiliza para el riego de los cultivos de los terrenos aledaños al Río de Las Avenidas.

Para establecer la dotación de Pachuca se requiere, determinar los consumos por usuarios, así como los consumos comercial, público e industrial, la CAASIM proporcionó el número de tomas registradas por tipo de usuario y los volúmenes consumidos durante el año 2005. Con esta información se establecieron los diferentes consumos por tipo de usuario, así como los volúmenes anuales consumidos, el número de toma domiciliaria, la población servida y el agua no contabilizada, la dotación de agua potable y finalmente, la aportación de aguas negras

Considerando que el gasto de agua potable suministrada para la ciudad de Pachuca y zona conurbada es de mil 264 litros (l/s), área de estudio y un porcentaje del 43% de desperdicio por fugas, el agua distribuida real es de 707 l/s, por lo que la generación de agua residual, considerando una aportación del 80% del agua potable es de 450 l/s, las cuales son captadas por los siguientes subcolectores y colectores: Río de las Avenidas, México-Pachuca, Av. Juárez, Froylán Jiménez, PEMEX, Chacón, El Palmar, San Cayetano, Plutarco Elías Calles y Cuesco-San Javier, y posteriormente encauzadas en el Río de Las Avenidas para ser desalojadas de la localidad hacia el sur.²²

Cabe mencionar que la descarga de aguas residuales no cuenta con medidores totalizadores o de registro continuo en la descarga de agua residual por lo que se estableció programas de aforo, monitoreo y análisis de las descargas del agua residual a partir de 1999, con la finalidad de establecer el caudal y las características físico-químicas y biológicas del agua residual que será conducida al sistema de tratamiento, mediante la determinación en campo de los parámetros siguientes: gasto, temperatura ambiental, temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, color, olor y materia flotante, a su vez en laboratorio se determinó pH, conductividad eléctrica, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos totales fijos, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos fijos, alcalinidad total, grasas y aceites, DBO total, DBO soluble, DQO total, DQO soluble, SAAM, fosfatos totales, fósforo total, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, coliformes totales, coliformes fecales, plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, aluminio y zinc.

²² Estudio del Diagnóstico Integral de la CAASIM elaborado por la empresa MAV, S.A. de C.V. para la CAASIM en 2005.

Tabla 2.1 Sitios de Aforo y muestreo de Pachuca de Soto, Hidalgo

SITIO	UBICACIÓN
Colector No. 1	11 de Julio
Colector No. 2	Loreto
Colector No. 3	Columbia
Colector No. 4	Tulipanes
Colector No. 5	Venado-Canacintra
Colector No. 6	5 de Mayo
Colector No. 7	24 Horas
Colector No. 8	Providencia

Fuente: Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma, Hidalgo, CAASIM 2003.

Los resultados obtenidos en la calidad fisicoquímica y bacteriológica, así como los caudales de las aguas vertidas al cuerpo federal del Río de Las Avenidas, nos permitieron establecer los criterios y las condiciones para evaluar los tipos de tratamiento que posibilitarán tratar las aguas de una forma más eficiente y económica posible, para dar cumplimiento a la normatividad NOM-001-SEMARNAT-1996 y a las Condiciones Particulares de Descarga (CPD) para la ciudad de Pachuca fijadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en donde los parámetros más importantes, que corresponden a DBO y SST, deben tener como concentración promedio 50 y 50 mg/l y como Concentración Máxima Instantánea 75 y 75 mg/l.²³

El gasto determinado de las aguas residuales que son captadas por los diferentes colectores concluidos (Venado-Canacintra, Tulipanes, Columbia y Reforma), así como por los colectores que aún no se concluyen (11 de Julio, Magnolia-Universidad Márgenes Derecha e Izquierda, Guadalupe, Palmitas, Villas de Pachuca y Lomas de Nueva Airosa) es de 450 l/s aproximadamente.

Los resultados de los aforos y muestreo de las descargas de agua residual de esta población, de acuerdo al trazo existente de la red y su funcionamiento (áreas de aportación), se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.2 Parámetros que definen las características de las descargas en los sitios de aforo

²³ Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma 2003. CAASIM

CONCENTRACIÓN PROMEDIO MENSUAL, MG/L							
SITIOS	pH	TEMPERATURA	OXÍGENO DISUELTO	DBO	DQO	SST	GRASAS Y ACEITES
11 DE JULIO	7.7	22.8	0.0	303.8	928.0	260.0	22.2
5 DE MAYO	8.1	25.2	0.2	1126.0	2480.0	560.0	6.6
TULIPANES	7.8	21.6	0.3	352.0	944.0	185.0	31.0
COLUMBIA	7.9	22.9	0.4	209.5	912.0	200.0	68.8
REFORMA	7.6	23.6	0.0	130.5	424.0	150.0	19.0
PROVIDENCIA	7.4	25.2	0.3	150.5	448.0	160.0	9.1
VENADO EMISOR FINAL	7.8	24.1	0.3	273.5	704.0	275.0	18.9

Fuente: Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma, Hidalgo, CAASIM 2003.

Actualmente el Organismo cuenta con dos proyectos de construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, para lo cual se han efectuado las proyecciones de las aportaciones de las aguas residuales hacia las 2 plantas, tomándose las siguientes consideraciones. En primer lugar, se supone que el consumo permanece constante en el periodo de análisis del proyecto, tomando en cuenta que si bien, el consumo puede variar en forma descendente debido a la aplicación de medidas de uso eficiente del agua por parte del Organismo Operador, por otro lado también puede aumentar, ya que toda la ciudad tiende a mejorar en su calidad de vida. En segundo lugar, se considera que las aportaciones aumentan por efecto del incremento de la población pretendiente seguir estableciendo una cobertura de alcantarillado del mayor al 85 por ciento.²⁴

Para definir los procesos de tratamiento en las alternativas que se estudiaron, se tomó en cuenta los análisis de calidad de las aguas crudas, los aforos, las condiciones particulares de descarga, información bibliográfica y documental disponible.

Las alternativas que se contemplaron para el tratamiento de las aguas residuales para la ciudad de Pachuca fueron:

1. Lodos activados convencional
2. Aireación extendida
3. Filtros rociadores

Para determinar cual de los procesos estudiados podría ser la mejor opción, se evaluaron las condiciones tanto técnicas, económicas y operativas.

En lo que se refiere a dificultades de operación la planta de la propuesta de Aireación Extendida es la de operación más simple, ya que no tiene sedimentadotes primarios, haciendo que las operaciones sean menores. Presentando menores riesgos de malos olores.

La alternativa de Filtros Rociadores es la que presenta menores costos de operación debido a que no utiliza mucha energía eléctrica dentro de los

²⁴ Aportación de aguas residuales en el horizonte del proyecto, Pachuca de Soto, Hgo. CAASIM 2005.

procesos, sin embargo es la que presenta mayores riesgos de malos olores. Otro problema que presentan es la mayor dificultad de operación lo que ocasiona que algunas veces se salgan de su correcto funcionamiento, con el consecuente aumento de la DBO y SST en el efluente.

Considerando los tamaños de la plantas y que en la zona se cuenta con personal calificado para cualquier tipo de tecnología, se considera que cualquier tipo de planta que se seleccione puede ser correctamente operada.

Tabla 3.3 Comparativo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL	ALTERNATIVAS		
	LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL	AEREACIÓN EXTENDIDA	FILTROS ROCIADORES
VENTAJAS	*Menor inversión inicial y de operación *No requiere de una superficie extensa *Tratamiento con tarifas bajas	*El costo es menor para personal de operación *Operación simple de captar *Menores riesgos de malos olores	*El Consumo de energía eléctrica es inferior a la de las otras dos alternativas *Costos de operación más bajos
DESVENTAJAS		-Requiere mayor tiempo de retención -Mayor consumo de energía eléctrica	*Es la alternativa más desfavorable desde el punto de vista más favorable *Mayores riesgos de malos olores Mayor dificultad de operación

Fuente: Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Nivel Intermedio.

3.1.1 Procesos físicos unitarios

Los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de las fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias. Dado que la mayoría de estos métodos han evolucionado directamente de las primeras observaciones de la naturaleza efectuadas por el hombre, fueron los primeros en ser utilizados en el tratamiento del agua residual.

La desarenación, el mezclado, la floculación, la sedimentación, la flotación, la adsorción, y la filtración, son operaciones físicas unitarias típicas.²⁵

3.1.2 Procesos biológicos unitarios

Son los métodos de tratamiento en los que la remoción de los contaminantes se lleva a cabo por la actividad biológica de los microorganismos. La remoción de la materia orgánica biodegradable tanto

²⁵ Tratamiento de Aguas residuales en México. Procesos Físicos y Químicos.
<http://www.monografias.com/trabajos12/tratag/tratag.shtml#PROCESOS>.

coloidal como disuelta por acción biológica, constituye la principal aplicación de este tipo de procesos.²⁶

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. A menudo, la eliminación de compuestos a nivel de traza que puedan resultar tóxicos, también constituye un objetivo de tratamiento importante. En el caso de las aguas de retorno de usos agrícolas, el principal objetivo es la eliminación de los nutrientes que puedan favorecer el crecimiento de plantas acuáticas, como el nitrógeno y el fósforo.

En el caso de aguas residuales industriales, el principal objetivo es la reducción de la concentración de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. A menudo, puede ser necesario llevar a cabo un pretratamiento previo, debido a la potencial toxicidad de estos compuestos para los microorganismos. El principal objetivo de la mayoría de los procesos de tratamiento biológico es la reducción del contenido de materia orgánica (DBO carbonosa) del agua residual. Para conseguir este objetivo, son de gran importancia los organismos quimioheterótrofos, pues además de energía y carbono, también necesitan compuestos orgánicos. Cuando los objetivos del tratamiento incluyan la conversión de amoníaco en nitrato, son de gran importancia las bacterias nitrificantes quimioheterótrofas.

Las aguas residuales municipales suelen contener cantidades de nutrientes (tanto orgánicos como inorgánicos) adecuadas para permitir el tratamiento biológico para la eliminación de la DBO carbonosa. No obstante, en aguas residuales de origen industrial, puede ocurrir que no exista suficiente presencia de nutrientes. En tales casos, es necesario añadir nutrientes para permitir el adecuado crecimiento bacteriano y la consiguiente degradación de los residuos orgánicos.

2.1.3 Procesos químicos unitarios

Los procesos empleados en el tratamiento de las aguas residuales en los que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas reciben el nombre de procesos químicos unitarios. Con el fin de alcanzar los objetivos de tratamiento del agua residual, los procesos químicos unitarios se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas unitarias.²⁷

La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por

²⁶ Tratamiento de Aguas residuales en México. Procesos Físicos y Químicos.
<http://www.monografias.com/trabajos12/tratag/tratag.shtml#PROCESOS>.

²⁷ Tratamiento de Aguas residuales en México. Procesos Físicos y Químicos.
<http://www.monografias.com/trabajos12/tratag/tratag.shtml#PROCESOS>.

sedimentación. En algunos casos, la alteración es pequeña, y la eliminación se logra al quedar atrapados dentro de un precipitado voluminoso constituido, principalmente, por el propio coagulante. Otra consecuencia de la adición de productos químicos es el incremento neto en los constituyentes disueltos del agua residual.

Los procesos químicos, junto con algunas de las operaciones físicas unitarias, se han desarrollado para proporcionar un tratamiento secundario completo a las aguas residuales no tratadas, incluyendo la eliminación del nitrógeno, del fósforo, o de ambos a la vez [4, 19]. También se han desarrollado otros procesos químicos para la eliminación del fósforo por precipitación química, y están pensados para su utilización en combinación con procesos de tratamiento biológicos.

El objetivo de esta sección es identificar y discutir los siguientes aspectos:

- Reacciones de precipitación que tienen lugar cuando se añaden diversos productos químicos para mejorar el comportamiento y el rendimiento de las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales.
- Reacciones químicas que intervienen en el proceso de precipitación del fósforo en el agua residual.
- Algunos de los aspectos teóricos más importantes de la precipitación química. Los cálculos que se realizan para determinar la cantidad de fango producida como resultado de la adición de los diversos productos químicos.

A lo largo de los años, se han empleado muchas sustancias y de diversa naturaleza, como agentes de precipitación. El grado de clarificación resultante depende tanto de la cantidad de productos químicos que se añade como del nivel de control de los procesos. Mediante precipitación química, es posible conseguir efluentes clarificados básicamente libres de materia en suspensión o en estado coloidal y se puede llegar a eliminar del 80 al 90 por 100 de la materia total suspendida.

3.2. Aplicación de los métodos de tratamiento

Como se está tratando de un proyecto de establecimiento de saneamiento en una ciudad donde no existe dicho servicio, no existen medidas de optimización que puedan implementarse para no atribuir beneficios al proyecto, vale la pena comentar que dichas medidas se han realizado desde el punto de vista técnico, con la exclusión de ciertos colectores de proyecto.

Tabla 3.4 Operaciones y procesos unitarios usados en tratamiento de aguas para remover los principales contaminantes

Contaminantes	Proceso unitario, operación unitaria o sistema de tratamiento
Sólidos suspendidos y parásitos (huevos de helminto)	Cribado, desarenación, sedimentación, filtración, flotación, adición de polímeros químicos, coagulación/floculación, sistemas naturales (tratamiento por el suelo)
Grasa y aceites	Trampas de grasa, separadores API, flotación.
Compuestos orgánicos biodegradables	Lodos activados y sus variantes, reactores con biomasa fija, filtros percoladores, biodiscos, lagunas y sus variante, filtración por arena, sistemas fisicoquímicos, sistemas naturales.

Compuestos orgánicos volátiles	Tratamiento de los gases en la salida, adsorción con carbono activado.
Patógenos	Desinfección con cloro, ozono, hipoclorito, bromo, yodo o radiación ultravioleta, lagunas.
Nutrientes nitrógeno	Nitrificación y desnitrificación biológicas, tanto con biomasa fija como suspendida; intercambio iónico, cloración, sistemas naturales.
Nutrientes fósforo	Adición de sales metálicas, coagulación con cal/sedimentación, eliminación biológica de fósforo, remoción biológica y química del fósforo, sistemas naturales.
Compuestos orgánicos tóxicos	Adsorción con carbón activado, ozonación terciaria, sistemas biológicos adaptados.
Metales pesados	Precipitación química, intercambio iónico, sistemas naturales.
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico, ósmosis inversa, electro diálisis
Parásitos	Sedimentación y flotación.

Fuente: Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Nivel Intermedio.

3.2.1 Pretratamiento de aguas residuales

El pretratamiento de aguas residuales sirve para depurar los elementos contaminados que contiene el líquido, ahí se eliminan los sólidos visibles mediante una labor de filtrado y desgaste, después de la depuración primaria en la que se elimina la materia no orgánica mediante el aporte de algún agente químico que provoca la decantación física de la materia no orgánica contenida en el agua, se efectúa la depuración secundaria, que actúa por reacciones y procesos biológicos sobre el agua contaminada, objeto de la depuración.²⁸

En la etapa del pretratamiento no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual; en este proceso el objetivo es eliminar las materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las maquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora.

En el pretratamiento se efectúa la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual así como elementos flotantes.

3.2.2 Tratamiento primario

En este proceso se tratan de retener las partículas disueltas o en suspensión en las aguas residuales que no han podido retenerse por razón de su finura o densidad en el pretratamiento. Se consigue la decantación, llamada primaria, dejando sedimentar estas partículas en decantadores diseñados para tal efecto.

²⁸ Rigola Peña Miguel, Tratamiento de aguas industriales: El proceso de las aguas residuales, Boixareu editores, página 56-63.

El proceso principal del tratamiento primario es la decantación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más pesadas que el agua se separen sedimentándose. Normalmente, en decantadores denominados dinámicos, los fangos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, inmensos, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los fangos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.²⁹

Otros procesos de tratamiento primario incluyen el mecanismo de flotación con aire, en donde se eliminan sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas, produciendo unas burbujas de aire muy finas que arrastran las partículas a la superficie para su posterior eliminación.

El tratamiento primario permite eliminar en un agua residual urbana aproximadamente el 90% de las materias decantables y el 65% de las materias en suspensión. Se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35%.

3.2.3. Tratamiento Secundario

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento secundario más comúnmente empleado para las aguas residuales urbanas consiste en un proceso biológico aerobio seguido por una decantación, denominada secundaria.³⁰

El proceso biológico puede llevarse a cabo por distintos procedimientos. Los más usuales son el proceso denominado fangos activos y el denominado de lechos bacterianos o percoladores. Existen otros procesos de depuración aerobia de aguas residuales empleados principalmente en pequeñas poblaciones: sistema de lagunaje, filtros verdes, lechos de turba o contractores biológicos rotativos. Son las llamadas tecnologías blandas, pero nosotros nos vamos a centrar en los dos primeros.

3.2.4 Tratamiento aeróbico de las aguas residuales

Este proceso es usado casi exclusivamente por las grandes ciudades, fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett y fue llamado así por la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un

²⁹ Seoanez Calvo, M. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Editorial Grijalbo 1995, página 89.

³⁰ Seoanez Calvo, M. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Editorial Grijalbo 1995, página 90.

residuo por vía aeróbica. En la actualidad se usan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales.³¹

En el proceso de fangos activados un residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le llama líquido mezcla. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada puesto que si no fuera así la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más.

3.2.5 Procesos aerobios con biomasa suspendida

Para proyectar correctamente el sistema de lodos activados es ver la importancia de los microorganismos dentro del sistema. En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es el de descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que estos son la causa de descomposición de la materia orgánica del efluente. En el reactor parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias aeróbicas con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.³²

Otro tipo de microorganismos igualmente importantes son los protozoos y rotíferos que actúan como depurificadores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han flocculado y los rotíferos consumen partículas biológicas que no hallan sedimentado.

En realidad solo parte del residuo original es verdaderamente oxidado a compuestos de bajo contenido energético tales como el NO_3^- , SO_4^{2-} y CO_2 ; el resto es sintetizado en materia celular.

Además de la materia orgánica, existen también compuestos inorgánicos que producen DBO. El compuesto más importante es el amoníaco, ya que su presencia en el efluente de la planta puede estimular el descenso del oxígeno disuelto en la corriente receptora través del proceso biológico de nitrificación. El amoníaco se oxida biológicamente a nitrito y este es seguidamente oxidado por otro grupo de microorganismos a nitrato, que es el estado de oxidación final de los compuestos de nitrógeno y como tal representa su producto estabilizado.

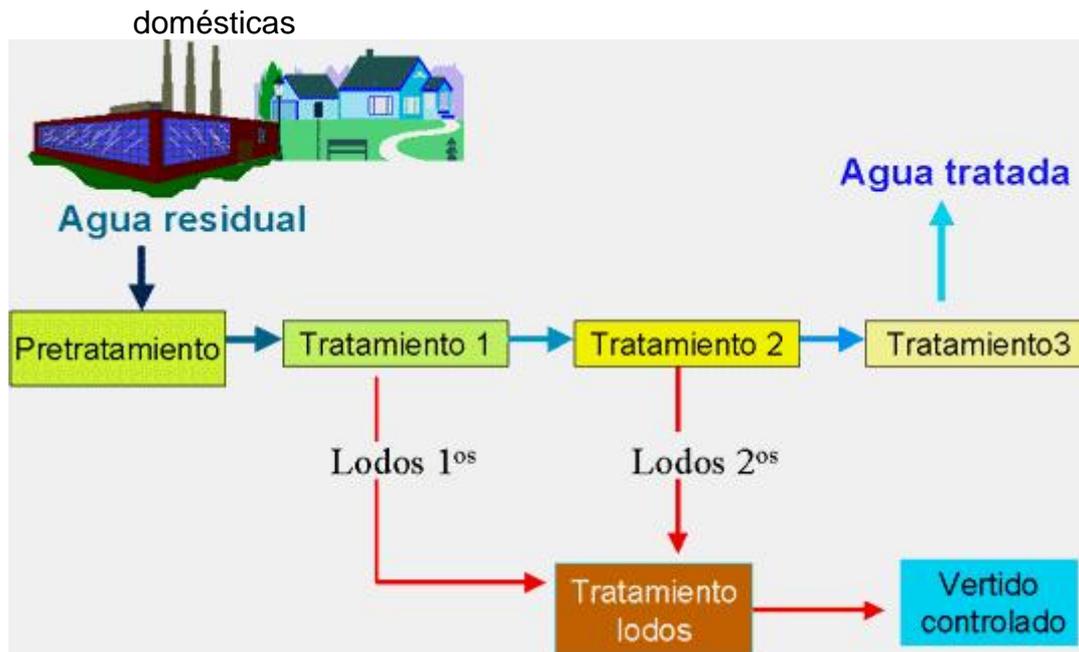
Figura 3.1 Ejemplo de tratamiento secundario aeróbico de aguas residuales

³¹ Tratamiento de aguas residuales.

suspendidas, <http://209.85.165.104/search?q=cache:8Mnb6jL7ZEMJ:www.puc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm+Procesos+aerobios+con+biomasa+suspendida+aguas+negras&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=mx>

³² Tratamiento de aguas residuales.

suspendidas, <http://209.85.165.104/search?q=cache:8Mnb6jL7ZEMJ:www.puc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm+Procesos+aerobios+con+biomasa+suspendida+aguas+negras&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=mx>



Fuente: ww.puc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm+Procesos+aerobios+con+biomasa+suspendida+aguas+negras&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=mx

3.2.6 Procesos aerobios con biomasa fija

El proceso consiste en un reactor biopelícula que trabaja en régimen transitorio de crecimiento de biomasa; provocando artificialmente, la purga de exceso de biomasa por extracción directa desde el reactor. Así, puede ser eliminado el proceso complementario de separación sólido / líquido, normalmente necesario aguas abajo de los reactores biopelícula. El fango, extraído en su propio soporte, es dejado escurrir y evaporar. Consiguiendo una deshidratación primero y una defecación después, que permite la reutilización o evaluación directa del fango. El sistema es aplicable a diferentes procesos biopelícula, como: Contactores Biológicos Rotativos (R.B.C.), Lechos Bacterianos, Lechos Fluidificados, Lechos Expandidos, Biofiltros aireados y lechosos sumergidos aireados (B.L.A.S.). Se presenta como ejemplo la solución para R.B.C. y algunos resultados de explotación.³³

3.2.7 Tratamiento a través de lagunas estabilizadoras

En los países desarrollados el principal objetivo del tratamiento es la remoción de materia orgánica y nutriente, pues una tifoidea o un caso de parasitismo son excepcionales. En cambio, en los países en desarrollo, el objetivo prioritario de tratamiento de las aguas residuales debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos que ocasionan enfermedades endémicas. La opción tecnológica mediante la cual se alcanza plenamente el objetivo de "no patógenos", corresponde a las lagunas de estabilización.

³³ Tejero Monzón Juan Ignacio, Amiela del Val Juan José, Proceso integrado y optimizado de depuración de aguas residuales y de los fangos producidos mediante procesos de biopelícula extraíble, editorial Trillas 1999, página 86.

Los efluentes de las lagunas de estabilización, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta la forestación. La dimensión de estos sistemas estará ligada a la calidad de los efluentes requerida para cada tipo de uso.³⁴

Si el único objetivo fuese descontaminar el recurso hídrico, todos los proyectos serían inviables financieramente. Sin embargo, si se aprovecha la excelente calidad bacteriológica y la riqueza en nutrientes que ofrecen las aguas tratadas mediante lagunas de estabilización, es posible obtener otros beneficios como la producción agropecuaria próxima a los centros de consumo. Así, la pronta recuperación de nuestro limitado recurso hídrico en la Región sería una realidad.

El uso de las aguas residuales también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, además de incrementar la frontera agrícola en zonas desérticas.

3.3 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario es el procedimiento más completo para tratar el contenido de las aguas residuales, pero no ha sido ampliamente adoptado por ser muy caro. Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y/o la cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final. El agua residual que recibe un tratamiento terciario adecuado no permite un desarrollo microbiano considerable. Algunos de estos tratamientos son los siguientes³⁵:

- Adsorción: Propiedad de algunos materiales de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida en la que se encuentran.
- Cambio iónico: Consiste en la sustitución de uno o varios iones presentes en el agua a tratar por otros que forman parte de una fase sólida finamente dividida (cambiador), sin alterar su estructura física. Suelen utilizarse resinas y existen cambiadores de cationes y de aniones. Debido a su alto precio, el proceso de intercambio iónico se utiliza únicamente en aquellos casos en los que la eliminación del contaminante venga impuesta por su toxicidad o que se recupere un producto de alto valor (eliminación de isótopos radiactivos, descontaminación de aguas con mercurio, eliminación de cromatos y cianuros, recuperación de oro, etc.)

³⁴Moscoso Julio Moscoso, Asesor CEPIS en Reuso de Aguas Residuales de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), estudio realizado en 1995.

³⁵Depuración de aguas residuales. <http://dgpea2.comadrid.es/agua/calidad.html> (Información sobre el Plan Integral de Aguas de Madrid, PIAM).

- Procesos de separación por membranas: tanto mediante membranas semipermeables (procesos de ultra filtración y ósmosis inversa) como mediante membranas de electrodiálisis.

De todas formas, en la mayoría de los casos el tratamiento terciario de aguas residuales urbanas queda limitado a una desinfección para eliminar patógenos, normalmente mediante la adición de cloro gas, en las grandes instalaciones, e hipoclorito, en las de menor tamaño. La cloración sólo se utiliza si hay peligro de infección. Cada vez más se está utilizando la desinfección con ozono que evita la formación de órganos clorados que pueden ser cancerígenos.

Tabla 3.5 Clasificación de los métodos de tratamiento de acuerdo con el orden de aparición en la planta

Tipo de tratamiento	Características
Preliminar	Remueve del agua residual lo constituyentes que pueden causar problemas de operación y mantenimiento en los procesos y equipos auxiliares (botellas de plásticos, piedras, grava, estopas, latas y arena) La concentración de los compuestos tóxicos presentes en las aguas residuales industriales es controlada por sistemas de pretratamiento previos a las descargas en los colectores de agua municipales (metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, contaminantes específicos).
Primario	En el tratamiento primario se elimina parte de la materia orgánica e inorgánica que llega en forma de sólidos suspendidos, grasas y aceites, se lleva a cabo la igualación y el control del Ph
Secundario	El objeto del tratamiento secundario es la eliminación de la materia orgánica biodegradable y los sólidos suspendidos. La desinfección se incluye usualmente en los tratamientos secundarios.
Terciario	En el tratamiento terciario se eliminan los nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo presentes en las aguas residuales.
Tratamiento avanzado de aguas residuales	El tratamiento avanzado es usado en varias aplicaciones de reuso donde se requiere un agua de alta calidad: como por ejemplo para uso en las torres de enfriamiento o para la recarga de acuíferos.
Tratamiento de lodos	El objetivo es estabilizar los lodos purgados de los sistemas para evitar malos olores y generación de fauna nociva. Algunos lodos tratados (biosólidos) pueden ser utilizados como abono.

Fuente: Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Nivel Intermedio.

3.4 Como se lleva a cabo el cribado y eliminación de arena dentro del tratamiento de aguas residuales

Las rejillas son utilizadas para eliminar materiales en suspensión de grandes dimensiones, antes de cualquier otro proceso de tratamiento. En las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, las rejillas se colocan al inicio de la planta de tratamiento para retener los materiales gruesos, como ramas, hojas, cáscaras, papeles y cartones.³⁶

³⁶ Rigola Miguel, Boixareu Lapeña. Tratamiento de aguas industriales: aguas en proceso y uso de las aguas residuales. Editorial Grijalbo 2001, página 123.

Existen varios tipos de rejillas, entre los que se encuentran:

- Rejillas de limpieza manual o mecánica
- Tamices estáticos
- Tamices rotativos
- Tamices vibrantes

Las rejillas son el tamiz más frecuentemente utilizado para las plantas de tratamiento urbanas; generalmente están constituidas por barras metálicas colocadas en el canal de acceso del agua. El espacio entre los barrotes determina la cantidad de materiales retenidos, y varía entre 0.5 y 10 cm.

Los tanques desarenadores forman parte del tratamiento preliminar o primario y se diseñan para eliminar la arena. Aquí el término arena incluye, además, cáscaras de huevo, pedazos de huesos, semillas, residuos de café molido y otros sólidos, cuya gravedad específica es mayor que la de las partículas putrescibles presentes en las aguas residuales.

Es importante eliminar estos materiales para:

- Proteger el equipo mecánico y las bombas de la abrasión y del desgaste excesivo.
- Prevenir el taponamiento de tuberías y reducir el depósito de este material en los canales.
- Prevenir el efecto de cementación en el fondo de los tanques digestores y de sedimentación primaria.
- Reducir el efecto de acumulación en los tanques de aireación y en los digestores de lodos, lo que puede reducir su volumen útil,

Normalmente estas unidades se colocan antes del bombeo de las aguas residuales crudas. Sin embargo, en algunas ocasiones los colectores de llegada se encuentran a tal profundidad que resulta impráctico y poco económico la instalación de los desarenadores antes del bombeo. En esa situación se puede optar por un mayor mantenimiento al equipo de bombeo, o por un pozo arenoso en los cárcamos.

La cantidad de arena puede variar enormemente de una localidad a otra, dependiendo del tipo de sistema de alcantarillado, características de la zona drenada, el estado en que se encuentran las alcantarillas, el tipo de descargas industriales y la proximidad de las playas arenosas. Como valor típico se señala 15 litros por 1,000 m³ de agua.

Posiblemente el método más común de disposición o eliminación de arenas sea el relleno sanitario, para evitar condiciones desagradables. Es recomendable; sin embargo, lavar las arenas antes de su disposición.

Las características de la arena normalmente recolectadas en los desarenadores de flujo horizontal varía ampliamente, desde lo que podría considerarse arena limpia, hasta la que contiene gran proporción de materia

orgánica putrescible. La arena sin lavar puede contener hasta el 50% o más de materia orgánica.³⁷

Este material, a menos que se elimine rápidamente, puede atraer insectos y roedores, además de tener olor desagradable. El lavado de la arena se puede realizar con el efluente del cimentador secundario, utilizando tamices y retornando el agua de lavado.

El objetivo de los tanques de igualación es compensar y controlar las variaciones de caudal y características del agua, para situarla en las condiciones óptimas en los subsecuentes procesos de tratamiento.

Las funciones de estos tanques son:

- Impedir cambios fuertes de carga y de concentración sobre los procesos biológicos.
- Generar la neutralización del influente cuando existan descargas esporádicas de agua residual con variaciones hacia arriba y por debajo del pH 7. En ocasiones también sirven como tanques de neutralización, en donde se agrega sosa o ácido al agua para llevarlas a valores cercanos a la neutralidad (pH=7), o a rangos aceptados por el proceso.
- Impedir los cambios fuertes de gasto.
- Asegurar la alimentación continua.
- Disminuir el riesgo de enviar a los tratamientos biológicos elevadas concentraciones de compuestos tóxicos.

Para evitar la acumulación de los sólidos suspendidos en los tanques de igualación, están previstos de un sistema de agitación.

3.4.1 Eliminación de grasas y aceites

Es necesario eliminar las grasas y aceites cuando se encuentran en gran cantidad, para evitar problemas con los procesos, ya sean biológicos o fisicoquímicos. Los aceites y materias grasas pueden ser eliminados del agua residual por separación gravitacional. Los aceites tienen densidad inferior a la del agua, por lo que flotan en su superficie. Esto generalmente se realiza en el sedimentador primario; si se trata de aguas residuales municipales una rastra flotante remueve las natas resultantes.³⁸

Cuando se tienen concentraciones muy altas de grasas y aceites (por ejemplo, aguas residuales industriales) es necesario introducir coagulantes para formar agregados densos para que las grasas y aceites floten en la superficie de un separador, llamado tanque de flotación.

La sedimentación es una operación unitaria de separación de sólidos y líquidos que se utiliza para remover sólidos suspendidos por asentamiento

³⁷ Rigola Miguel, Boixareu Lapeña. Tratamiento de aguas industriales: aguas en proceso y uso de las aguas residuales. Editorial Grijalbo 2001, página 129.

³⁸ Rigola Miguel, Boixareu Lapeña. Tratamiento de aguas industriales: aguas en proceso y uso de las aguas residuales. Editorial Grijalbo 2001, página 130-136.

gravitacional. En la práctica, se emplean otros términos para denominar algunos procesos particulares, por ejemplo:

- Clarificación: obtención de un líquido completamente, o casi, libre de partículas sólidas.
- Espesamiento: obtención de un lodo con la mínima cantidad posible de líquido; la clarificación y el espesamiento ocurren simultáneamente; en la práctica, los términos que se emplean son función del producto deseado.
- Clasificación: separación de una parte de los sólidos de una suspensión, para obtener dos o más categorías de sólidos de densidad diferente.
- Se han propuesto que las partículas presentes en el agua pueden presentar cuatro tipos de sedimentación.

Tabla 3.6 Características y tipos de sedimentación

Tipo	Características
Tipo I o de partículas discretas	Es la sedimentación de partículas separadas y no floculantes en una suspensión diluida. Ejemplo de este tipo son las sedimentaciones de arena y arcilla en los desarenadores.
Tipo II o de partículas floculantes	Es la sedimentación de partículas floculantes en una suspensión diluida. Ejemplos de este tipo se presentan en los sedimentarios primarios.
Tipo III o de partículas que se obstruyen	Es la sedimentación de las partículas de una concentración intermedia. Un ejemplo de este tipo se presenta en un clarificador secundario para el proceso de lodos activados.
Tipo IV o de partículas en compresión	En éste caso, la concentración de las partículas es tan alta que estas se tocan entre sí y la sedimentación ocurre por compresión o comparación de la masa. Un ejemplo de este tipo ocurre en el fondo de los clarificadores usados en los procesos por lodos activados.

Fuente: Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Nivel Intermedio.

3.4.2 Dispositivos para extracción de lodos

En los sedimentadores se puede efectuar la extracción de lodos mediante un dispositivo de purga que funcione en forma continua o intermitente. La frecuencia y la duración de las purgas se regulan manualmente, o bien con aparatos de relojería. Los accesorios para llevar a cabo la extracción pueden ser válvulas automáticas, elevadores de aire comprimidos, sifones o bombas; las primeras generalmente son válvulas de membrana cuyo cierre se consigue aplicando presión de agua o aire al exterior de la membrana. Por otro lado, la extracción de lodos muy concentrados se realiza por medio de bombas de desplazamiento positivo.

La flotación es la operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas o sólidos de fases líquidas. La separación se lleva a cabo introduciendo burbujas finas de gas (normalmente aire) entre la fase líquida.

Las burbujas se adhieren a la materia particulada; así, la fuerza de flotación se vuelve suficientemente grande para causar que la partícula se eleve hacia la superficie. De esta manera, las partículas con densidad superior a la del líquido

puede elevarse y el ascenso de partículas con densidad inferior a la del líquido es facilitado.

Entre más pequeño sea el tamaño de las burbujas, menor es la velocidad de ascenso. El tamaño de las burbujas puede ir desde 40 micras (10-6 m) hasta dos milímetros.

La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras que sedimentan lentamente pueden ser removidas totalmente por flotación y con un tiempo más corto.

Los productos químicos que se adicionan al proceso de flotación, tienen como función crear una superficie sobre la cual se adhieran fácilmente las burbujas. Los productos más utilizados son las sales de aluminio y férricas o sílica activada.

Todos estos son procesos de tratamiento planteados para reusar las aguas negras de Pachuca, algunos de ellos ya se han manejado dentro de la CAASIM, pero debido a la falta de presupuesto no han sido aplicados; sin embargo es un hecho que son necesarios para mejorar la vida de los habitantes y también es muestra de que gobierno del estado está dispuesto a hacerse cargo del agua que desechan los habitantes.

3.5 Dos conceptos: reciclaje y reuso

Primero debemos diferenciar entre reciclaje y reuso, el reciclaje se entiende como la actividad que las industrias llevan a cabo internamente con el fin de reducir su consumo de agua mediante sistemas de recuperación y tratamientos. Así, por ejemplo, una industria papelera que recupera sus aguas y las trata para su uso nuevamente está reciclando esas aguas.³⁹

El reuso consiste en tomar aguas residuales de alguna fuente externa a la industria y tratarla para ser reutilizada en ésta. Por ejemplo, esto se cumple al tomar agua residual de origen municipal y tratarla con el fin de usarla en la industria para torres de enfriamiento.

Los beneficios de tratar el agua son, entre otros, económicos, pues al disminuir el consumo de la potable y descargar dentro de los parámetros establecidos, se evita el pago de derechos por consumo y por descargas fuera de la norma. Un segundo beneficio es la sustentación y permanencia de la empresa. En un entorno en donde el agua es un bien escaso como en Pachuca, Torreón, Monterrey o Puebla, la industria debe garantizar su futuro recuperando parte de ellas y recurrir al uso de aguas tratadas en donde sea disponible.

Son muchas las cifras a tomar en cuenta antes de valorar el mercado de plantas de tratamiento el caudal recaudado por la industria es de

³⁹ Gutiérrez Duarte Alfonso, director comercial de Aguas Residuales de Servicios Filtermex, S.A. de C.V., filial en México de United States Filter Corporation. Ponencia sobre la importancia del reuso de las aguas negras, realizada en México en 2001.

aproximadamente 100 m³ por segundo. Las descargas que registra la industria son de 77 m³ por segundo, y se trata sólo de 7% de las mismas, y así, la perspectiva del tratamiento para fines ecológicos es muy vasta, aunque entre otros factores depende de que las autoridades realmente apliquen la normatividad vigente. Aunque esto ha progresado en el país, aún faltan muchas plantas de tratamiento por construir.

Con el reuso la situación es diferente. Las industrias deberán recurrir cada vez más a las aguas tratadas, pues los recursos hidráulicos son más escasos y por lo tanto se le debe de dar prioridad a las necesidades de la población. El reciclaje dentro de la industria constituye una buena parte de la solución, tanto desde el punto de vista ecológico, como para facilitar el cumplimiento de la normatividad y para obtener una mayor rentabilidad en las industrias".

El problema en México y en Hidalgo es que falta una mayor aplicación de las leyes. Si se hicieran efectivas las normas, la mayoría de las descargas deberían tratarse. En segundo lugar, para que el reuso sea atractivo deberá tomarse en cuenta el costo del agua potable contra el agua tratada. Por último, urge una mayor conciencia entre los industriales para prevenir la contaminación. Los ecosistemas no soportan la carga de contaminantes y debemos actuar a favor de las futuras generaciones.⁴⁰

⁴⁰ Carvajal Alfonso. "Qué pasa con el tratamiento de aguas en México", editorial Grijalbo 2003, página 69.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA SU REÚSO EN EL RIEGO DE ÁREAS VERDES DE INSTITUCIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS EN PACHUCA DE SOTO, HIDALGO

4.1 Ubicación del predio donde se construirá la planta de 50 lps

Se propone construir una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con capacidad de 50 Litros por segundo (lps) en un predio localizado al sur de la ciudad de Pachuca de Soto a una distancia aproximada de 1.0 kilómetros con respecto a los límites de crecimiento de la ciudad, ocupando una superficie aproximada de 1.5 hectáreas.⁴¹

Figura 4.1 Croquis de ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de 50 lps



Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

⁴¹ Informe anual de actividades presentado por Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales, presentado en enero de 2005, páginas 122-125.

La obra de toma del agua residual cruda se hará de uno de los colectores donde se recibe la mayor parte del agua residual generada por los municipios Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma, Hidalgo.

Para la selección del terreno se tomaron en consideración los siguientes puntos:

- Distancia existente con respecto al límite de población de la ciudad
- Características físicas del predio
- Accesibilidad al predio
- Distancia con respecto a las vías de comunicación
- Impacto social
- Economía
- Punto toma del agua residual.

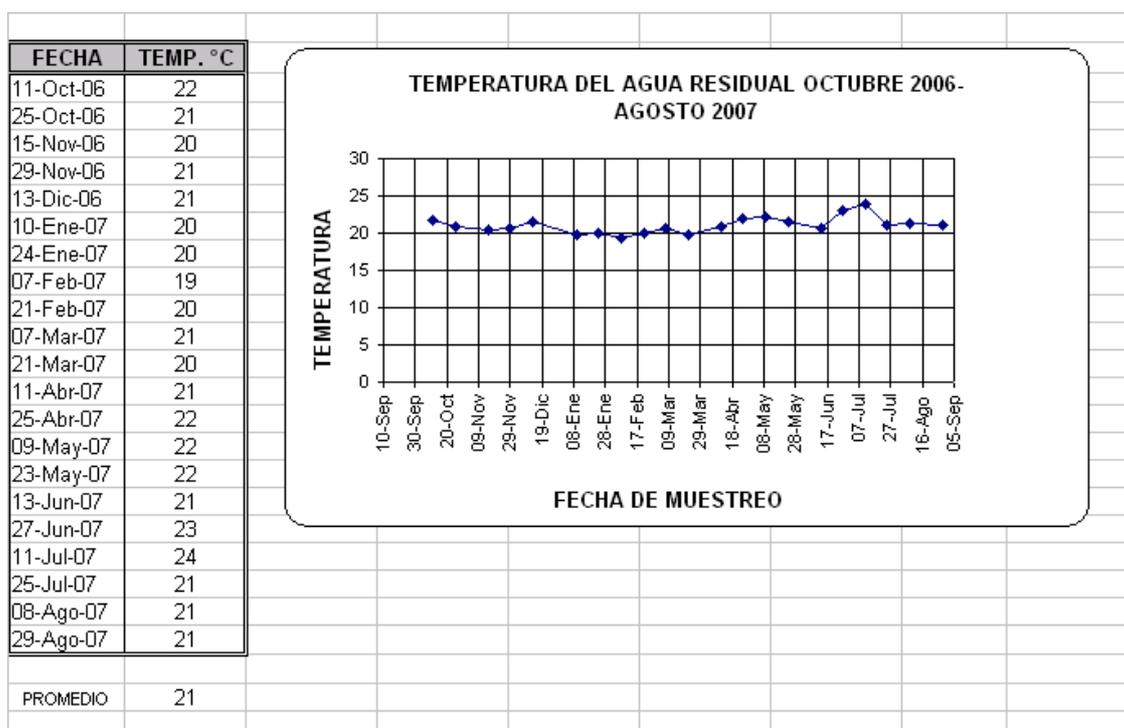
El terreno es relativamente plano, hacia el oriente colinda con jales (residuos de la mina), hacia el poniente existen casas habitación, al igual que hacia el norte y a una distancia de aproximadamente 500 metros una escuela, al sur encontramos dos industrias considerablemente grandes.

4.2 Caudal y características del agua residual

El caudal de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales será de 50 litros por segundo. El uso del agua potable es de tipo doméstico, comercial, industrial y agrícola, por lo que la concentración y clase de contaminantes reportados son típicos de aguas con características municipales, ya que algunas de las industrias cuentan con infraestructura propia para realizar un pretratamiento en las aguas antes de ser vertidas en el alcantarillado municipal.

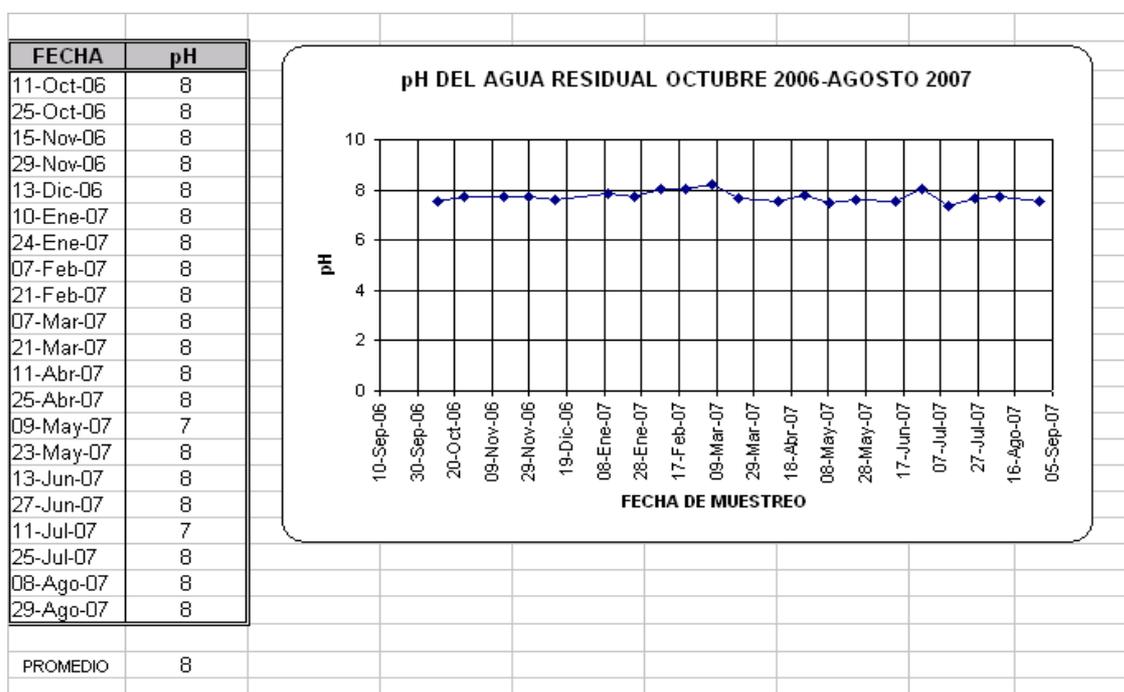
A continuación se presentan las tablas y gráficos de los resultados de los análisis de aguas residuales realizados a la descarga Emisor General el Venado del mes de octubre de 2006 al mes de agosto de 2007 con la finalidad de tener el historial de comportamiento de los contaminantes del agua residual que se genera en la ciudad de Pachuca y zona conurbada. Se optó por realizar dos muestreos y análisis por mes para tener una muestra representativa y tener resultados confiables. Cabe mencionar que dichos análisis fueron realizados por personal del área de Laboratorio de la CAASIM.

Tabla 4.1 Temperatura de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



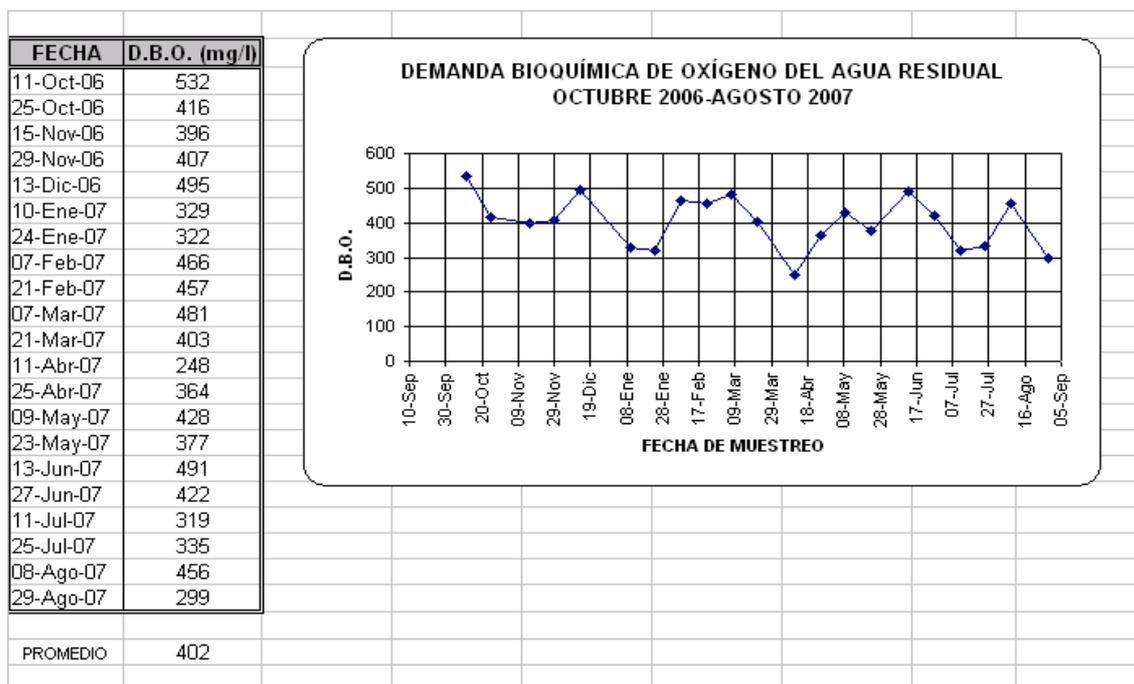
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.2 pH de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo.



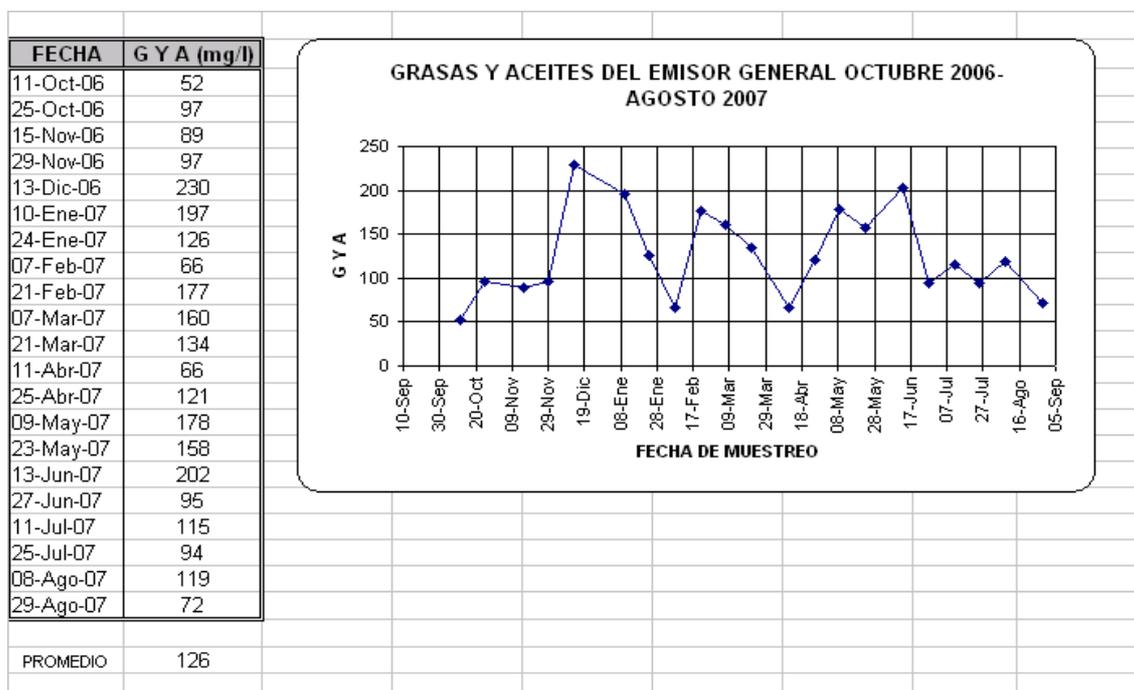
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.3 Demanda Bioquímica Oxígeno de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



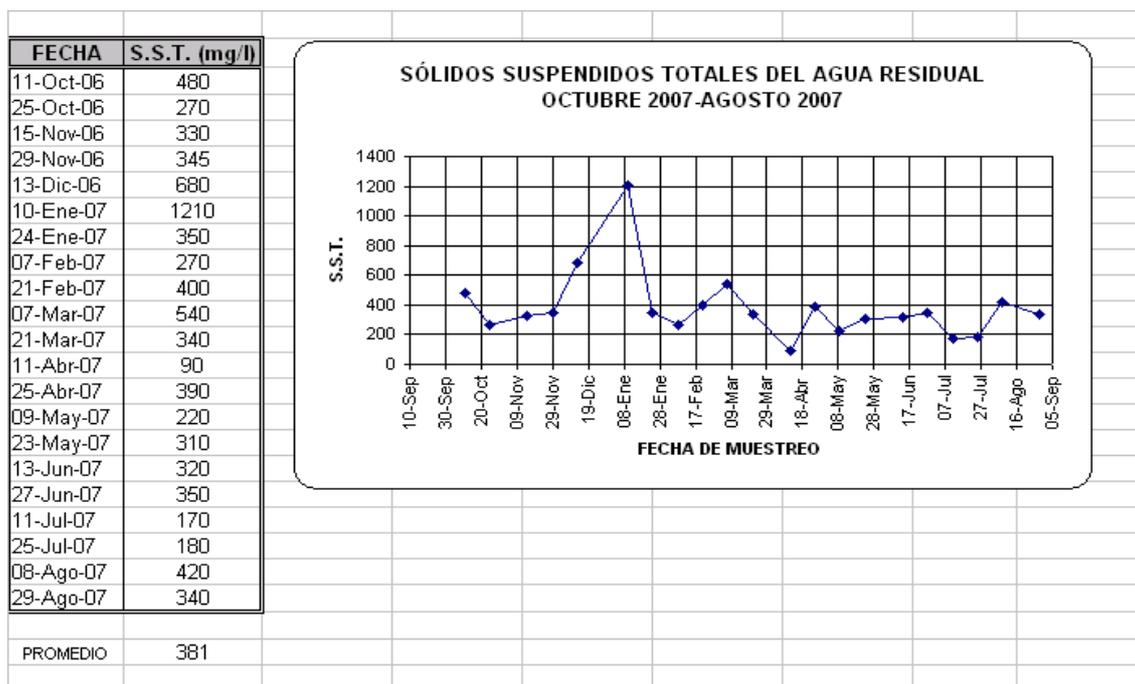
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.4 Grasas y Aceites de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



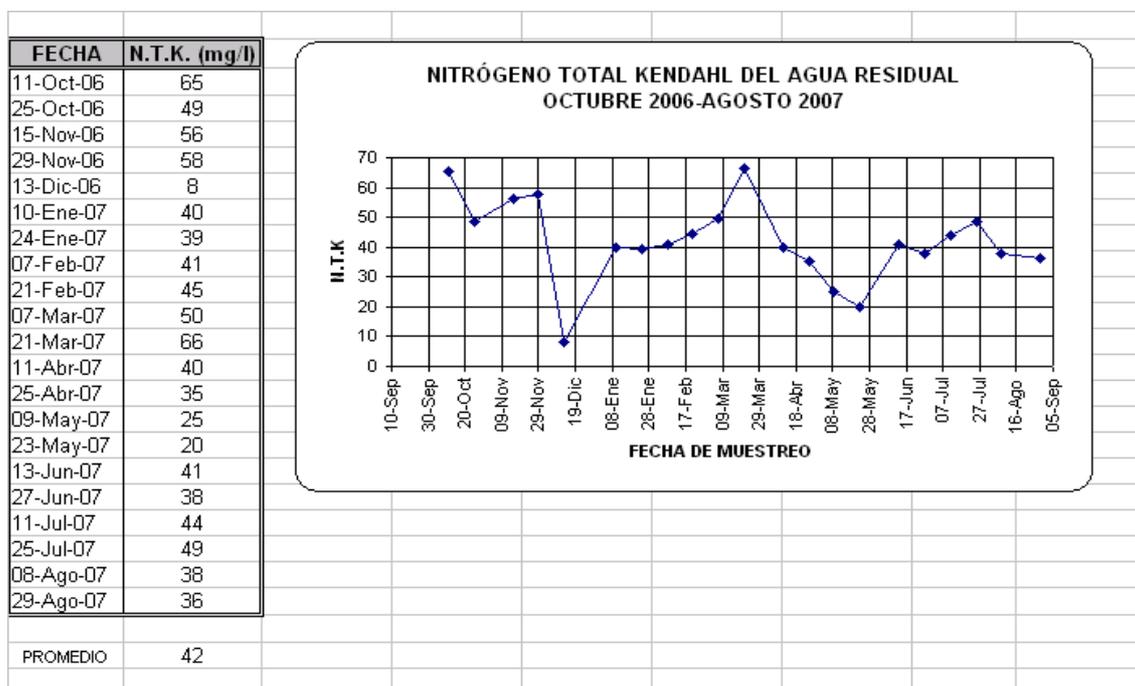
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.5 Sólidos Suspendedos Totales de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



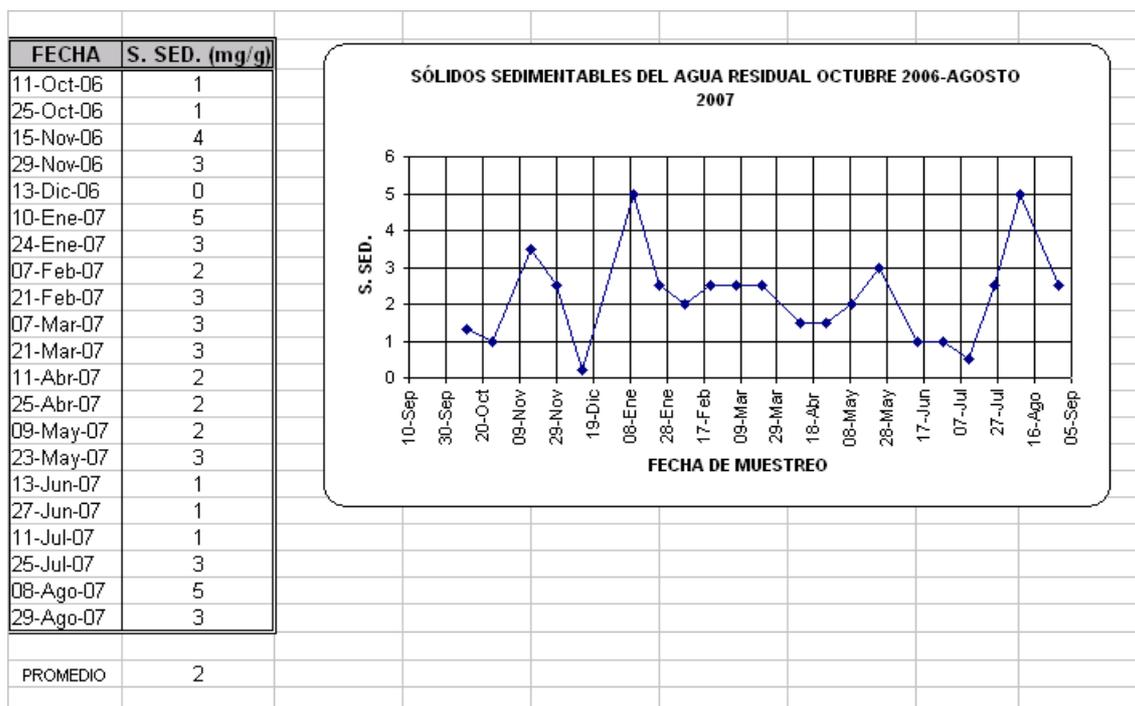
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.6 Nitrógeno Total de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo.



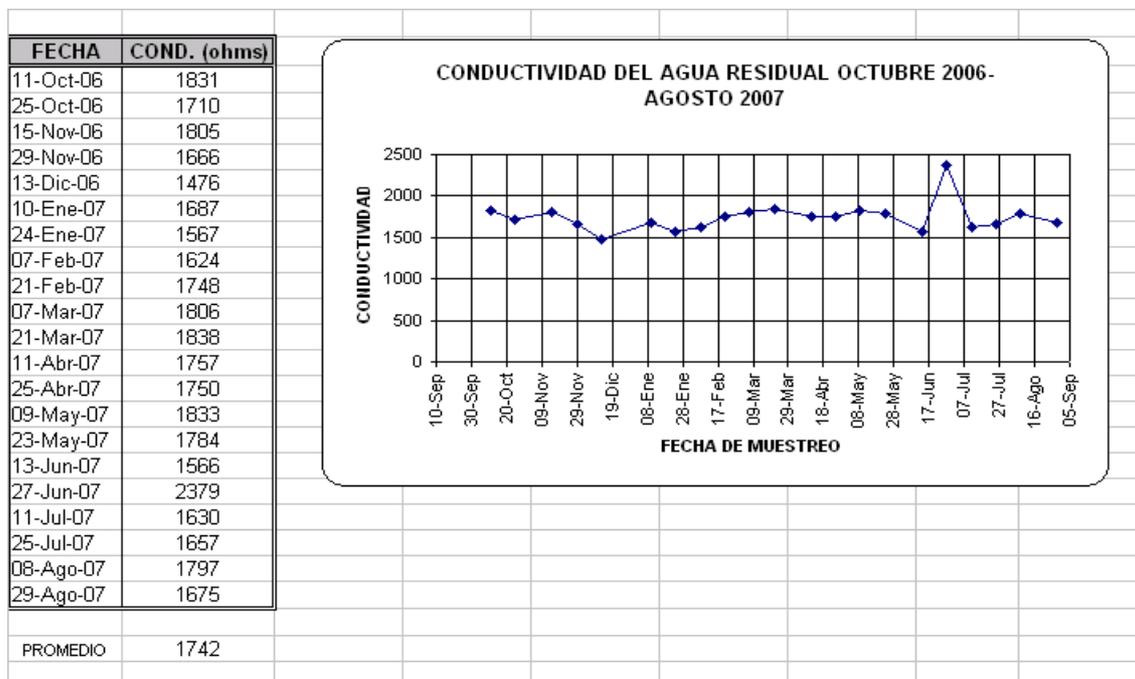
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.7 Sólidos Sedimentables de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



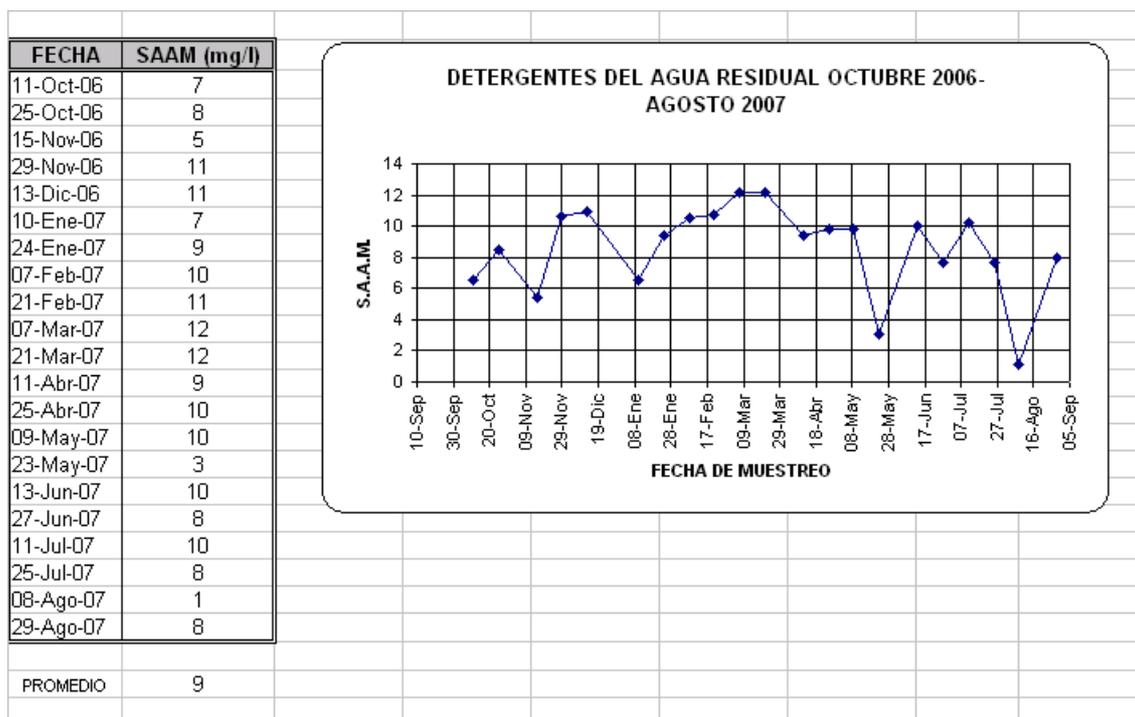
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.8 Conductividad de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



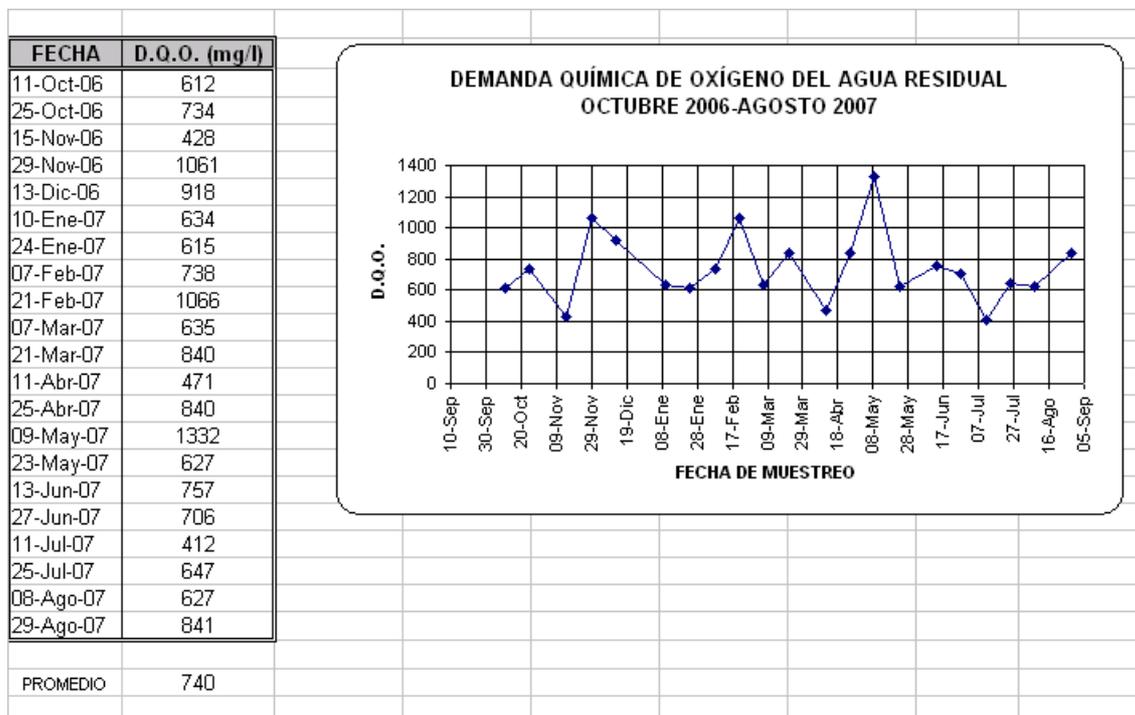
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.9 Detergentes de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



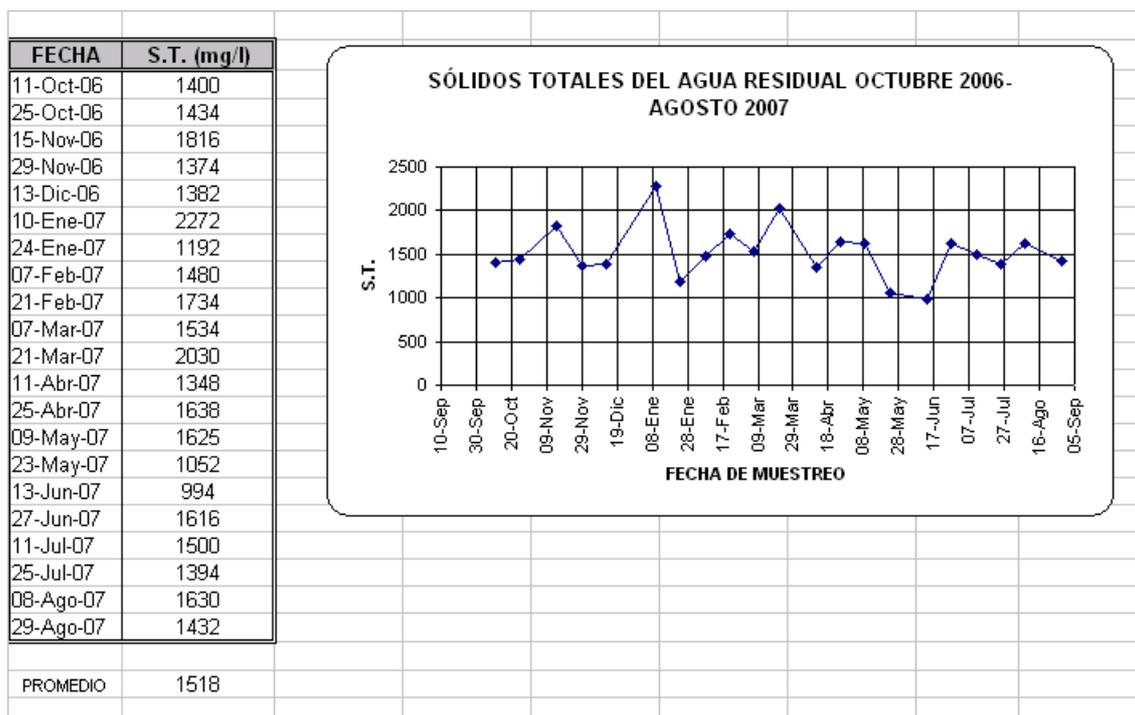
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.10 Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



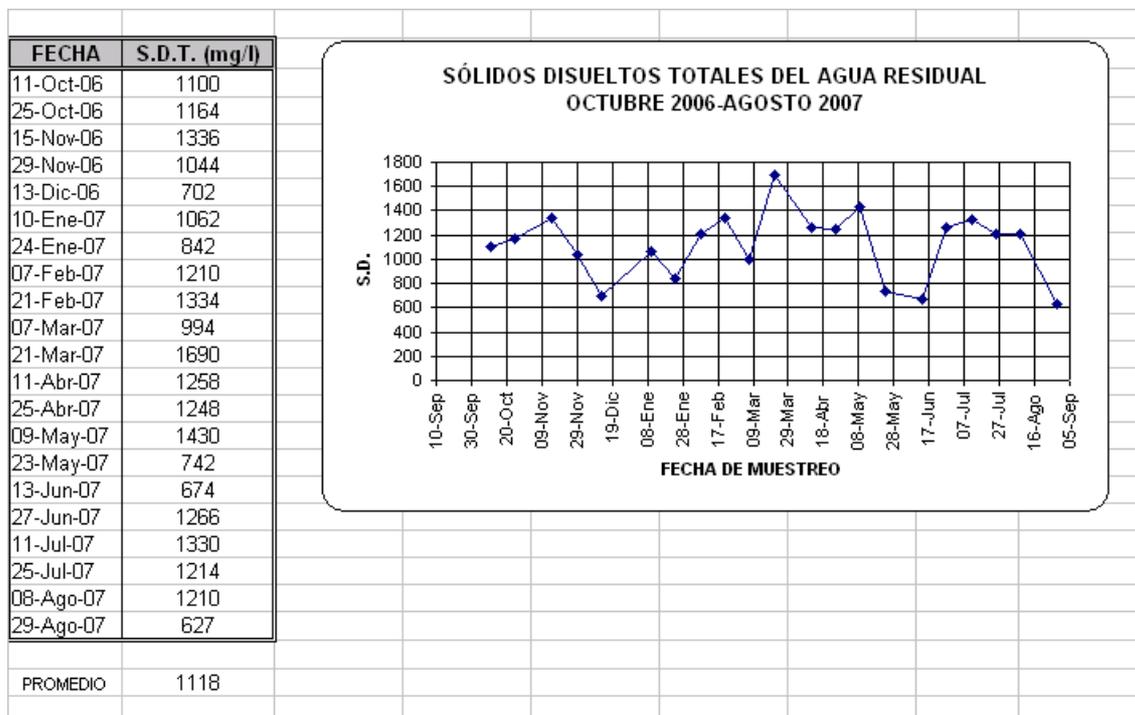
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007.

Tabla 4.11 Sólidos Totales de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



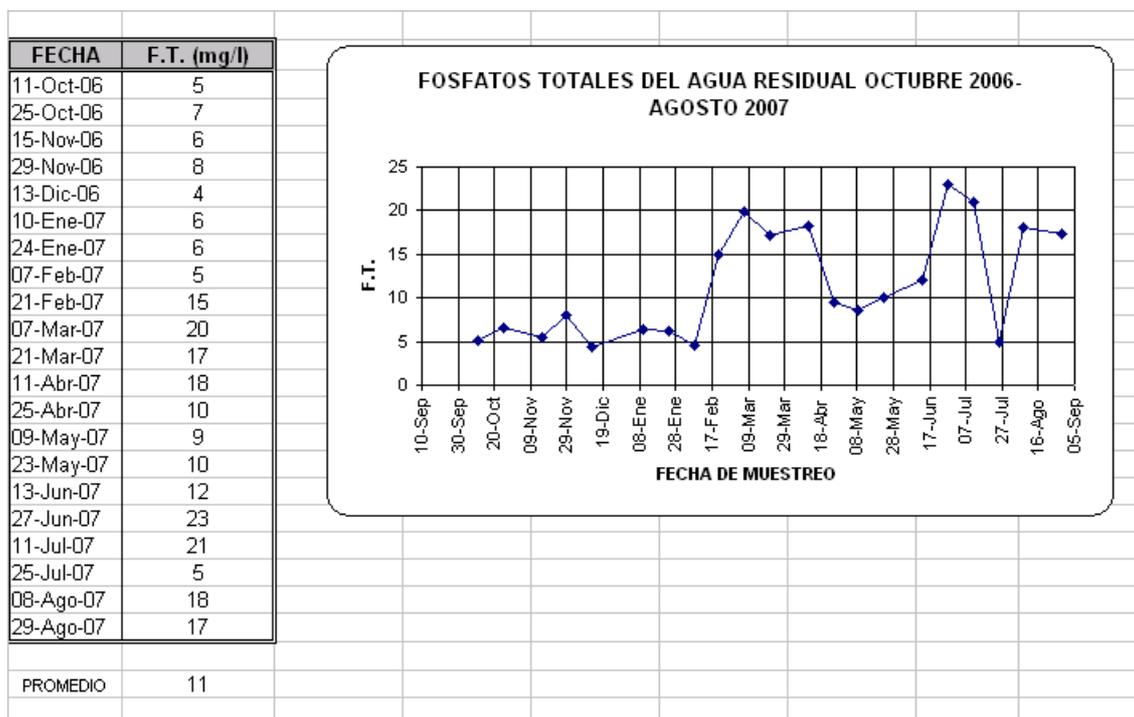
Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007

Tabla 4.12 Sólidos Disueltos Totales de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007

Tabla 4.13 Fosfatos Totales de las aguas residuales generadas por la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo



Fuente: Subdirección de Laboratorio CAASIM 2006-2007

Los resultados obtenidos en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua residual cruda permiten establecer los criterios para evaluar los tipos de tratamiento que posibilitarán tratar las aguas de una forma eficiente y económica, con la finalidad de dar cumplimiento a la normatividad NOM-003-SEMARNAT-1997 (establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público).

4.3 Alternativas para el tratamiento del agua residual

Una vez definido el marco general de la planta de tratamiento de Pachuca, se analizaron una serie de alternativas de procesos factibles para tratar las aguas residuales que se generan en esta localidad. Para definir los procesos de tratamiento se recopiló información de campo y laboratorio, además de tomar en cuenta las recomendaciones de referencias técnicas especializadas. Con base en lo anterior, se definieron tres alternativas de sistemas de tratamiento factibles para llevar a cabo el saneamiento de las aguas residuales, en función de estas alternativas seleccionadas se establecieron los trenes de tratamiento completos, incluyendo manejo y tratamiento de lodos.

Para la selección de los sistemas de tratamiento se consideraron los siguientes factores:

- Caudal de diseño de aguas residuales

- Calidad de las aguas residuales por tratar y calidad requerida de las aguas tratadas.
- Restricciones topográficas, físicas y geotécnicas del predio considerado para ubicar la planta de tratamiento.
- Requerimientos de personal de operación.
- Impacto ambiental del sistema de tratamiento.
- Posibilidades de diseño y construcción modular para las ampliaciones futuras requeridas de la infraestructura de tratamiento.
- Facilidad de operación.
- Impacto ambiental.
- Cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Costos de inversión, operación y mantenimiento.
- Eficiencias de remoción.
- Condiciones climatológicas.
- Requerimiento de energía.

Las alternativas de sistemas mecanizados del tipo biológico, que presentan las mejores eficiencias de tratamiento son:

- Lodos activados convencional
- Aireación extendida
- Filtros rociadores

4.4 Evaluación de las alternativas de tratamiento

Tomando en cuenta la información generada, se seleccionaron los siguientes procesos para ser evaluados técnica y económicamente: lodos activados convencionales, aireación extendida y filtros biológicos, procesos que permiten dar cumplimiento a la calidad requerida.

4.4.1 Aireación extendida

Este proceso consiste en un tanque, equipado generalmente con aireadores mecánicos superficiales de baja velocidad. El agua residual pretratada se alimenta al reactor y se aérea. Este proceso opera típicamente como un proceso de lodos activados, con largos tiempos de retención y de sólidos.

El flujo del agua en este proceso es tipo pistón y como se mencionó, generalmente utilizan aireación mecánica. La eficiencia de remoción que proporcionan varía de 80 a 95 por ciento.

Estos sistemas tiene tiempos de retención hidráulicos que varían de 20 a 30 horas; las tasas de recirculación del lodo activo va de 0.50 a 1.50 (Q_r/Q); y los tiempos de retención celular son de 20 a 40 días, con lo que se obtiene un lodo biológico más estabilizado, con lo que se reducen los requerimientos de digestión. En el dimensionamiento de este reactor se incluye la remoción de nitrógeno total al valor especificado en la calidad del agua tratada solicitada. Para remover el nitrógeno se incluye un selector o reactor atóxico antes de

entrar al reactor biológico, este selector tiene un tiempo de retención de 1-2 horas, con mezclado para mantener en suspensión los sólidos de recirculación.

4.4.2. Lodos activados

Este proceso de lodos activados su régimen es de flujo continuo con agitación mecánica en el reactor. El agua residual se mezcla con los lodos activados de recirculación y se alimentan al inicio del reactor biológico. La carga orgánica en el tanque y la demanda de oxígeno son uniformes en el reactor.

El flujo es continuo y la agitación se puede llevar a cabo por medio de aereadores superficiales o con difusión de aire con sopladores. La eficiencia media de remoción es del 85%, aunque puede aumentar hasta el 95%, dependiendo de los criterios de diseño empleados. El tiempo de retención hidráulica varía de 4 a 8 horas; la tasa de recirculación (Q_r/Q) va de 0.25 a 1.0 y el tiempo de retención celular es de 5 a 10 días. Para remover el nitrógeno se incluye un selector o reactor atóxico antes de entrar al reactor biológico, este selector tiene un tiempo de retención de 1-2 horas, con mezclado para mantener en suspensión los sólidos de recirculación.

4.4.3 Filtros biológicos

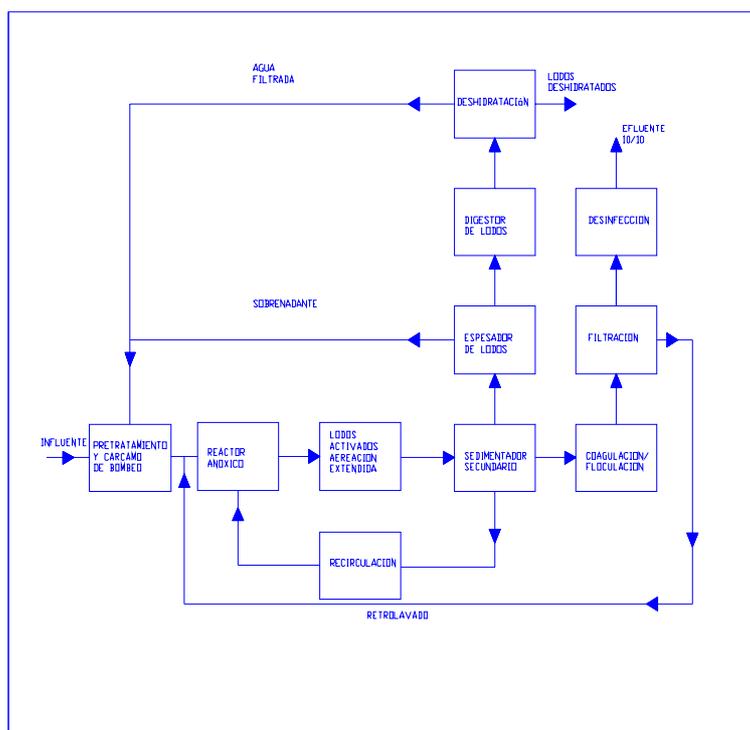
Los filtros percoladores propuestos tienen medio de empaque sintético; la altura del empaque varía de 3 a 12 metros; sin recirculación y la eficiencia de remoción de contaminantes varía de 6 al 90%.

Un aspecto de importancia es el hecho de que estas unidades pueden aceptar altas cargas orgánicas, de acuerdo con la variabilidad en la calidad del agua residual de alimentación, puede ser absorbida. En este proceso se calcula también el volumen de empaque adicional para remover el nitrógeno al valor solicitado.

El tren propuesto para el proceso de lodos activados convencional incluye: pretratamiento y cárcamo de bombeo de agua cruda, cribado, éste último de limpieza mecánica, y desarenación mecanizada; selector, reactor biológico; sedimentador secundario; cárcamo de recirculación de lodos; coagulación; filtración y tanque de contacto con cloro. Para la línea de lodos, se incorporó: espesador de gravedad o mecánico; digestor aerobio; y deshidratación por medio de filtros prensa de banda.

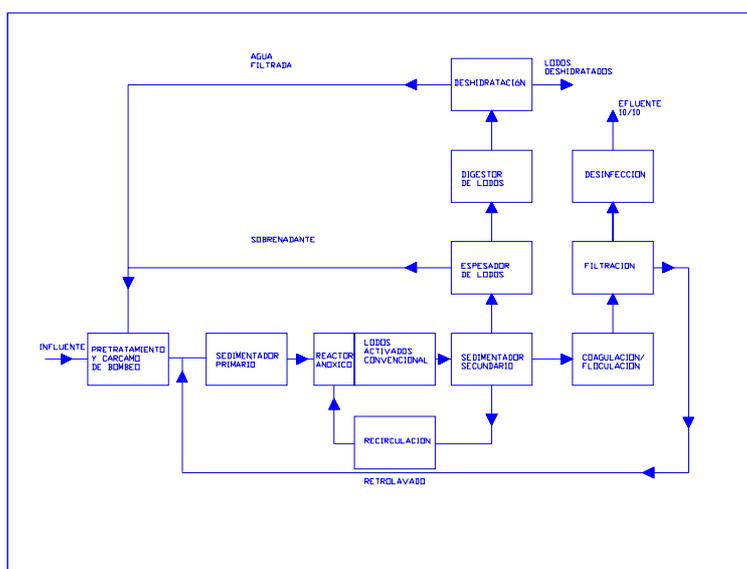
Para el sistema a base de filtros biológicos o percoladores se tiene el siguiente tren: pretratamiento, cárcamo de bombeo de agua cruda, cribado medio, éste último de limpieza mecánica, y desarenación mecanizada; sedimentación primaria; filtro percolador con medio de empaque sintético; sedimentador secundario; coagulación; filtración y tanque de contacto con cloro, para la línea de agua. Para la línea de lodos, se incorporó: espesador de gravedad, digestor aerobio; y deshidratación por medio de filtros prensa de banda. Se incluyen cárcamos de bombeo de lodos.

Figura 4.2 Diagrama de los procesos de tratamiento



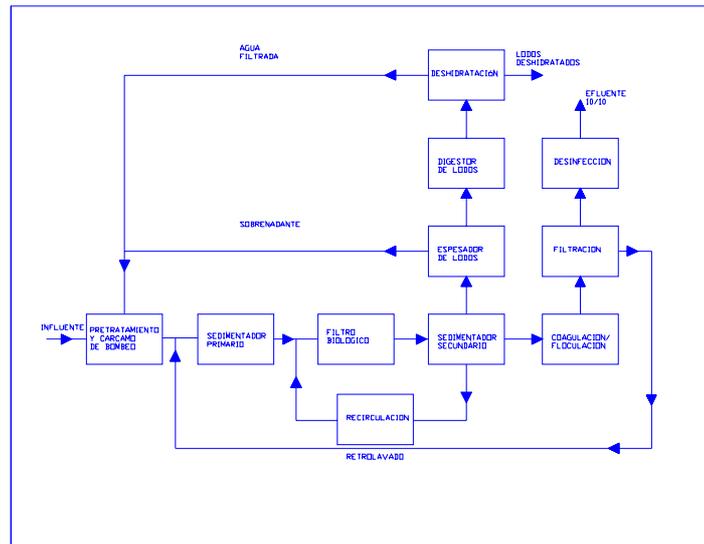
Fuente: Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma 2003, CAASIM.

Figura 4.3 Diagrama de flujo del proceso de lodos activados convencional



Fuente: Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma 2003, CAASIM.

Figura 4.4 Diagrama de flujo del proceso de filtros biológicos



Fuente: Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma 2003, CAASIM.

4.5 Predimensionamiento de la planta de tratamiento

Para el predimensionamiento de las unidades de tratamiento se definieron las dimensiones de cada una de las unidades en función del tren de tratamiento seleccionado. Con los datos de gasto y calidad de las aguas residuales tratadas, se proporcionaron los costos de inversión de obra civil y equipamiento, costos de energía eléctrica, químicos, operación y mantenimiento.

Para el análisis técnico y económico se predimensionaron las unidades, para cada uno de los trenes de tratamiento establecidos. Para este predimensionamiento se utilizaron los parámetros y datos de diseño obtenidos a través de los trabajos de campo y laboratorio.

Como se puede observar, la tabla “Resumen de Costos Unitarios de Agua Tratada” presenta los valores obtenidos para cada una de las alternativas evaluadas. Al costo total de inversión se le adicionaron los costos indirectos y de administración y laboratorio, se obtuvo la anualidad, considerando 20 años y 12 por ciento de tasa de interés.

Para la estimación total de los costos anuales de operación y mantenimiento, se obtuvieron los costos parciales por mano de obra de operación y mantenimiento, energía eléctrica, materiales y químicos, incluyendo los costos por la disposición de los lodos generados. Con la suma de los costos de inversión anualizados y de operación y mantenimiento se obtuvieron los unitarios de tratamiento.

4.5.1 Costos unitarios del proyecto

En la siguiente tabla se presenta el resumen con los costos de inversión y de operación y mantenimiento para cada uno de los procesos evaluados. También, se incluyen los costos anuales y los costos parciales por inversión y por operación y mantenimiento. Finalmente la suma de los costos parciales nos proporciona el costo por metro cúbico.

Los costos por metro cúbico varían de 2.30 \$/m³ hasta 2.37 \$/m³. Como se observa los menores costos unitarios de operación y mantenimiento corresponden a los sistema filtros biológicos, que se debe básicamente a los consumos de energía eléctrica menores, sin embargo se incrementan los costos por consumo de reactivos químicos, por lo que al final los costos son prácticamente similares. Por lo que, el proceso de lodos activados tiene mayores ventajas con respecto a los otros procesos teniendo un costo por metro cúbico tratado 2.30 \$/m³. Con base en el análisis realizado se puede observar que el proceso de menor costo de inversión y de costo unitario por metro cúbico es el de lodos activados.

Tabla 4.14 Resumen de costos unitarios de inversión de agua tratada

ALTERNATIVA	GASTO (LPS)	INVERSIÓN (PESOS)				TOTAL
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIR.	
LODOS ACTIVADOS	50	6'183,228	8'440,335	76,436	5'118,247	19'818,246
LODOS ACT. AIREACION EXT.	50	6'252,911	8'734,852	76,436	5'245,717	20'309,916
FILTROS BIOLOGICOS	50	6'481,294	9'010,357	76,436	5'422,078	20'990,167
TASA DE INTERES = 12 %						
VIDA UTIL = 20 AÑOS						

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.15 Resumen de costos unitarios de operación y mantenimiento de agua tratada

ALTERNATIVA	OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					TOTAL
	ENERGIA ELEC.	REAC.	MAT.	MANO DE OBRA	ADMINIST. Y LAB	
LODOS ACTIVADOS	446,335	146,768	111,044	183,511	79,383	9,670,434
LODOS ACT. AIREACION EXT.	399,429	187,987	121,722	191,168	99,228	9,995,358
FILTROS BIOLOGICOS	262,991	262,097	124,841	177,744	99,228	9,269,039
TASA DE INTERES = 12 %						
VIDA UTIL = 20 AÑOS						

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

4.6 Desarrollo de la propuesta seleccionada

Para cumplir con los objetivos planteados en la contribución al mejoramiento del medio ambiente de la ciudad, liberar agua potable y cumplir con la legislación vigente se ha decidido construir una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que permita reusar el agua tratada en el riego de áreas verdes de instituciones públicas y privadas de los municipios de Pachuca y Mineral de la Reforma. El proyecto beneficiará a los habitantes de esos dos municipios al realizar el saneamiento de las aguas residuales.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se construirá para una capacidad media de 50 lps, tratados en dos módulos de 25 lps cada uno. La planta producirá una calidad de agua tratada de 20 mg/l de SST y 20 mg/l de DBO. El proyecto contempla la remoción y disposición final de los lodos que se generen en la planta. El agua a tratar en la PTAR como ya se especificó es de origen municipal proveniente tanto de la mancha urbana como de las localidades aledañas, captadas y conducidas por el colector.

4.6.1 Parámetros principales de diseño

La Planta de Tratamiento de Aguas residuales será diseñada para cumplir con el flujo medio de diseño de 50 lps, con picos de 75 lps, estará integrada por un pretratamiento para el flujo total consistente en cribado grueso y desarenado. Estará compuesto de una clarificación primaria, tratamiento biológico de lodos activados con nitrificación y desnitrificación y de nitrógeno amoniacal, seguida de una clarificación secundaria.

El efluente clarificado será desinfectado con cloro gas para posteriormente pasar el agua por un tratamiento adicional para dar cumplimiento a la NOM-003-SEMARNAT-1997. El agua pasará por filtros de tipo retrolavado continuo de lecho profundo de arena y posteriormente será desinfectado con cloro gas.

Los lodos producidos en los clarificadores serán tratados mediante digestión anaerobia para su disposición final en el terreno dispuesto para tal fin.

4.6.2. Tecnología empleada

La tecnología que se empleará en la PTAR sigue los estándares en diseño y calidad. El tratamiento que se dará al agua residual será aplicando un pretratamiento y después un tratamiento biológico para la reducción de la DBO₅ soluble y dar cumplimiento en los requerimientos del efluente. Se incluye el tratamiento de lodos por medio de digestión anaerobia.

Los procesos incluidos en el diseño de la PTAR son:

- Pretratamiento: cribado grueso y desarenado del agua residual.
- Clarificación primaria: remoción parcial de los sólidos suspendidos totales y parte de la DBO₅ así como la remoción de grasas y aceites.

- Tratamiento biológico: tratamiento de lodos activados con remoción parcial de fósforo integrada en el propio reactor, así como nitrificación y desnitrificación del agua para la remoción de nitrógeno amoniacal.
- Clarificación secundaria: clarificación total al efluente del tratamiento de lodos activados.
- Filtración terciaria: incluirá la filtración de lecho profundo de arena para pulimento de agua, reduciendo los residuales de SST y DBO₅, así como permitiendo controlar el contenido de huevos de helmintos.
- Desinfección: el efluente será desinfectado con cloro antes de su descarga para eliminación de organismos patógenos.
- Acondicionamiento de lodos: consistente en espesador de lodos, digestión anaerobia, desaguado de lodos y disposición final de los mismos.

4.6.3 Pretratamiento del agua residual

Se tendrá una criba de barras, que se colocará en la obra de toma para recibir el agua proveniente del emisor para pasar posteriormente a un cárcamo de bombeo de donde será bombeada el agua a los desarenadores con sistema automático de remoción de arenas.

4.6.4 Clarificación primaria

Para la remoción parcial de sólidos suspendidos totales se contará con un clarificador primario para efectuar la remoción parcial de los sólidos suspendidos totales y de la DBO₅. Aquí mismo se llevará a cabo la eliminación de grasas y aceites que contiene el agua.

4.6.5 Tratamiento biológico

Se contará con un reactor de lodos activados, el cual tendrá una zona para la remoción parcial de fósforo, seguida de la zona de aireación extendida por medio de paneles de alta difusión de aire, donde su F/M de diseño usado permite la remoción de DBO₅, la nitrificación y la desnitrificación para la remoción de nitrógeno amoniacal.

El aire se introduce bajo la superficie del agua por medio de paneles fijos que producen una aireación uniforme en todo el reactor permitiendo un mezclado completo. Para el suministro de aire se tendrán sopladores que operarán de acuerdo a las necesidades de oxígeno y así mantener un nivel adecuado de oxígeno disuelto en el reactor. Esto quiere decir que solo se proporcionará el aire requerido por los microorganismos para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica y los compuestos nitrogenados, por lo que se hace evidente que no habrá un desperdicio de energía sino por el contrario, un ahorro de energía en comparación a otras formas de operar los sopladores.

4.6.6 Clarificación secundaria

Una vez efectuado el proceso de lodos activados, se tendrá enseguida la clarificación total del agua en un clarificador secundario, provisto de sistema de rastras para llevar a cabo el proceso.

4.6.7 Acondicionamiento de lodos

Los lodos producidos en el clarificador primario, junto con la purga de los excedentes de los clarificadores secundarios serán enviados a un espesador de lodos donde se concentrarán y posteriormente pasarán a un digestor anaerobio para su estabilización completa y posteriormente serán desaguados y retirados hasta su disposición final.

4.6.8 Filtración

Para tener una mejor calidad así como para tener el control de los huevos de helminto en el agua tratada, el efluente pasará por un batería de filtros de lecho profundo de arena con retrolavado continuo. El lecho de arena retendrá partículas suspendidas incluyendo los huevos de helminto.

4.6.9 Desinfección

El efluente será desinfectado con una solución de cloro preparada a partir de cloro gas. Tendrá un tanque de cloración que proporciona un tiempo de contacto de 30 minutos para cada uno de los efluentes.

4.6.10 Sistema sencillo

Como resultado de la aplicación de las características mencionadas anteriormente se obtiene un proceso muy simple para el tratamiento del agua residual municipal de la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo.

- Tiene bajo costo
- Proporciona la calidad del efluente requerido
- Posee paneles de aireación que requiere poco aire
- Posee un clarificador secundario
- Posee una etapa de filtración para el control de los huevos de helminto
- La operación es continúa

4.7 Descripción del proceso

Un gasto medio de diseño de 50 lps de aguas residuales, proveniente del colector será conducido hasta el área donde se construirá la PTAR. Se tendrá la obra de toma que contará con un aliviadero o by-pass, para las excedencias del flujo máximo 75 lps que manejará el pretratamiento de la propia planta. Las excedencias se regresarán al colector de donde se tomará el agua residual cruda.

El agua residual será recibida en un cárcamo de bombeo y estará equipado con bombas sumergibles que bombeará el agua al pretratamiento y posteriormente por gravedad al tratamiento básico consistente en un tratamiento biológico.

La obra de toma poseerá una criba de barras para interceptar los sólidos gruesos, el pretratamiento consistirá con un desarenador para la eliminación de partículas muy densas como las arenas. Las arenas se separan de la materia orgánica y se mantiene en suspensión. Las arenas asentadas son llevadas a una tolva central donde por medio de air-lift son transferidas al exterior a través de un transportador y ser retiradas posteriormente del área.

La corriente será recibida en un clarificador primario equipado con un sistema de rastras, operado por medio de un sistema motriz.

El efluente del clarificador pasará por gravedad al reactor de lodos activados, donde se tendrá al inicio una zona equipada con mezcladores hiperboloides, para llevar a cabo la eliminación parcial de fósforo que contiene el agua residual y pasar posteriormente al sistema de lodos activados equipado con paneles de aireación para distribución uniforme de aire requerido para llevar a cabo el proceso biológico de la eliminación de DBO_5 del agua, hasta los requerimientos de salida. En el mismo reactor se llevará a cabo la desnitrificación del agua para la eliminación parcial de nitrógeno amoniacal. El aire requerido para el proceso será suministrado por medio de sopladores centrífugos con una descarga a un cabezal común.

Los paneles de aireación serán equipados con válvula de aislamiento y un sistema de levantamiento de los mismos para el mantenimiento. Esto representa una ventaja adicional en la operación continua del sistema sin tener que parar el proceso o vaciar el reactor para su mantenimiento.

El reactor de lodos activados descargará a un canal colector y de éste pasará al clarificador secundario equipado con un sistema de rastras operado por un sistema motriz y que succiona los lodos desde el fondo por medio de una bomba, para recircularlos a la entrada del reactor de lodos activados para mantener una concentración determinada de lodos en el sistema. El excedente de lodos se purgará y controlará mediante una válvula controladora de flujo de cada clarificador y se enviará a un espesador de lodos.

El agua tratada y clarificada por el clarificador secundario pasará por gravedad al tanque de contacto de cloro que proporcionará un tiempo de contacto de 30 minutos bajo condiciones de diseño. El efluente desinfectado pasará por un filtrado, en filtros tipo retrolavado continuo, con lecho profundo para garantizar menos de un huevo de helminto en el requerimiento de calidad de agua a la salida.

Descargando dicho flujo a un tanque de contacto de cloro que proporcionará un tiempo de contacto de 30 minutos bajo condiciones de diseño. El flujo será medido a la salida del tanque de contacto de cloro y que tendrá también un muestreado que recolectar automáticamente y de forma

proporcional al flujo, muestras representativas del agua tratada basándose en la señal emitida por el propio medidor de flujo. Esta agua descargará por gravedad a un cárcamo de bombeo, para que el agua tratada sea bombeada a al punto de entrega (garzas) donde se cargaran las pipas de agua tratada para ser llevada hacia los lugares para su reuso.

Los lodos primario sedimentados en los clarificadores se succionarán desde el fondo de los mismos por medio de un sistema de bombeo que los enviarán a un espesador de lodos. De igual forma los lodos biológicos purgados de los clarificadores secundarios, se enviarán al espesador de lodos para su espesado, donde la mezcla alcanzará una concentración aproximada de 5% base seca.

Los lodos espesos serán bombeados a un digestor anaerobio con capacidad para 21.5 días, para su estabilización en donde se tendrá una reducción de 38 a 48% de sólidos suspendidos volátiles.

En el digestor de lodos se espera tener una concentración de 3.25% base seca. Los lodos del digestor serán bombeados al sistema de desaguado de lodos consistente en un filtro banda. En la alimentación de los lodos se contará con un sistema de dosificación de polímero. Del filtro banda se espera obtener una concentración de sólidos entre 20 y 22% base seca. El filtrado pasará por gravedad a un cárcamo de bombeo inicial y los lodos desaguados serán enviados a un contenedor para su transporte y disposición final.

A continuación presentamos los esquemas y diagramas para ilustrar el proceso tecnológico que se utilizará en la construcción de la planta de tratamiento.

Figura 4.5 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento

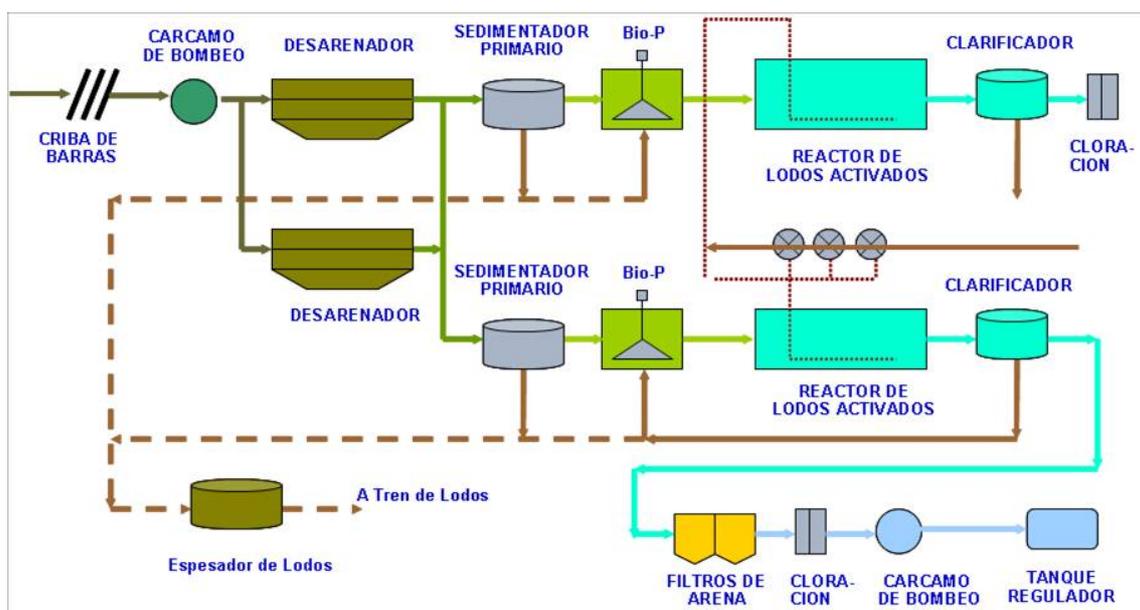


Tabla 4.16 Memoria de cálculo

INFLUENTE A TRATAR	
Flujo medio de diseño	4,320 m3/día
Flujo máximo pico	6,480 m3/día
DBO ₅ normal	250 mg/l
DBO ₅ máximo	300 mg/l
DQO	630 mg/l
Nitrógeno amoniacal	20 mg/l
NTK	32.5 mg/l
SST	325 mg/l
Pinorgánico	10.5 mg/l
Grasas y Aceites	10.5 mg/l
pH	72 mg/l
Coniformes fecales	8X106 NMP/100ml
Huevos de helminto	3 a 4 U/l

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.17 Descarga requerida

Flujo medio	21,600 m3/día
DBO ₅	20 mg/l
SST	20 mg/l
Grasas y Aceites	10 mg/
Nitrógeno amoniacal	10 mg/l
NTK	30 mg/l
Pinorgánico	6 mg/l
pH	6.5-8.5 unidades
Huevos de helminto	1U/l

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.18 Parámetros de diseño para clarificador primario

Tiempo de retención	3.2 hrs
Volumen	2,880 m3
Remoción de SST	60%
Remoción de DBO ₅	35%

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.19 Parámetros de diseño para la zona de remoción de fósforo (bio-P)

Tiempo de retención	1.75 hrs
Volumen	1,575 m ³

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.20 Parámetros de diseño para el reactor de lodos activados

F/M (relación de alimento a biomasa)	0.075
SSLM (sólidos suspendidos en el Licor Mezclado)	5.0 g/l
Volumen del reactor	9,470 m ³
Tiempo de retención hidráulico	10.5 hrs

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.21 Parámetros de diseño para el reactor de lodos activados

Requerimientos de oxígeno Real (AOR)	374.3 Kg/h
Pies cúbicos por minutos estándares requeridos	6,576 scfm
BHP's requeridos	355.3

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.22 Parámetros de diseño para clarificación secundaria

Flujo superficial	15.0 m ³ /m ² -día
Área requerida	1440 m ²
Área propuesta	1470 m ²
Flujo superficial de trabajo	14.7 m ³ /m ² -

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

Tabla 4.23 Parámetros de diseño para espesador de lodos

Carga superficial	60 Kg.
Área requerida	185.12 m ²
Diámetro requerido y ofrecido	15.40 m

Fuente: Aportación de la monografista, 2007.

CAPÍTULO 5

BENEFICIOS DEL AGUA TRATADA

5.1 Uso de aguas tratadas en los procesos productivos de la industria

El reuso del agua mediante distintos niveles de tratamiento resulta conveniente para propiciar un mayor aprovechamiento de este recurso vital, varios especialistas y empresarios vinculados a los procesos de tratamientos de agua para obtener han explicado sus criterios sobre los avances en dicho sector, así como el camino que aún falta por recorrer.

En México los ambientalistas y biólogos se plantean tres preguntas. La primera apuntaba hacia los beneficios esenciales del reciclaje de agua para el medio empresarial, tanto en rentabilidad, como en su aporte a la sociedad. La segunda cuestionaba sobre las perspectivas del mercado de plantas de tratamiento en nuestro y acerca del monto invertido en este sentido durante el último lustro, y por último, se abordaron las limitantes a sortear:

5.1.1 Precios y tarifas al tratar las aguas negras

El reciclaje de agua proporciona beneficios económicos casi para cualquier empresa, en general, el promedio de costos de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, de tipo biológica o fisicoquímica, está en un rango aproximado de 0.70 a 4.50 pesos por m³ de agua residual tratada, con un promedio general de 2.50 pesos por m³, en dependencia del grado de sofisticación del proceso de tratamiento, así como del flujo y de las características del agua a tratar.⁴²

Por ejemplo, los costos anteriores se pueden comparar con las tarifas de agua potable para usuarios industriales, que rigen actualmente en ciudades como Monterrey, en las que el precio por m³ es de 5.122 pesos para usuarios que consumen entre 50 y 99 m³ mensuales, con una cuota por m³ excedente de 7.814 pesos; para usuarios que consumen más de 200 m³ mensuales la tarifa llega hasta 10.159 pesos por m³, sin recargos por m³ adicional consumido. A los costos anteriores hay que agregarles 25% por concepto de drenaje y el factor inflacionario, los cuales se cargan en el recibo de consumo.

La tarifa de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por explotación de pozos en el centro de México es de alrededor de 4.80 pesos por m³, sin cuota por explotación excedente, ya que en zonas de veda, como la región mencionada, la explotación del pozo está limitada al volumen de extracción especificado en el registro de la concesión otorgada. En el caso de que los requerimientos de agua de una industria en esta zona se incrementen por expansiones en los procesos de producción y el pozo permita el incremento del volumen de extracción requerido, es necesario comprar los derechos de otras concesiones registradas en la zona de explotación, pues no se permite la perforación de pozos adicionales.⁴³

⁴² Febronio Cavaría, ponencia Cuidar el medio ambiente a través de el ahorro económicos. Director general de Grupo FCH, de Monterrey, México 2005.

⁴³ Febronio Cavaría, ponencia Cuidar el medio ambiente a través de el ahorro económicos. Director general de Grupo FCH, de Monterrey, México 2005.

En muchos casos, la calidad del agua extraída no es apropiada para algunos procesos industriales, por lo que hay que agregar también el gasto de acondicionamiento. Varias plantas de reciclaje de agua residual procesan para la industria alrededor de tres mil litros por segundo, equivalentes aproximadamente a 30% del total del agua de abastecimiento de la ciudad. Estas plantas, además de ofrecer reducciones sustanciales en los costos del agua de proceso, proporcionan también un gran beneficio a la comunidad al ahorra grandes volúmenes para consumo de la población.

Por la escasez y los altos costos del agua, así como por las regulaciones ambientales vigentes en México a partir de los últimos cinco años, muchas industrias han construido plantas de tratamiento de aguas residuales y otras las tienen en sus programas de inversión, ya sea para su reutilización en procesos industriales, para cumplir con las regulaciones ambientales o para ambos aspectos, y se prevé que en los próximos años el mercado de las plantas de tratamiento en México aumente considerablemente, pero no se puede precisar el monto de las inversiones en este sentido, pues aunque la necesidad de agua es inminente, también existe como factor limitante y adverso: la crisis actual de la economía global, que afecta de igual forma a nuestro país.

5.1.2 Las industrias a favor de un menor costo

El mayor beneficio que proporcionan las plantas de tratamiento es el menor consumo de agua en procesos que no requieren necesariamente de la calidad de agua destinada para consumo humano, lo cual incide también en un menor costo de adquisición por parte de las empresas. La sociedad, de este modo, no tendrá que pagar tanto por la potabilización.⁴⁴

Por otra parte, sí se mantiene el compromiso de autoridades y empresarios de impulsar un mayor reciclaje y reuso del agua, en aspectos industriales y de servicios, el mercado de plantas de tratamiento logrará un mayor crecimiento. Aunque las cifras exactas del aumento en la inversión aún no han sido reveladas, pero es un hecho la demanda creciente de empresas que requieren de proyectos para un uso más eficiente de las aguas que generan o entran en proceso.

La realidad es que el sector empresarial pugna por alcanzar un mejor uso del agua pero aún resulta caro adquirir una tecnología de punta y no siempre se puede hacer una inversión inmediata. Por eso, las autoridades deberían proponer sistemas fiscales y otros incentivos para estimular fehacientemente la adquisición de estas tecnologías.

⁴⁴ Flamand Swaner Para Cynthia, hidrobióloga encargada de administración de proyectos en Tecnología, Ecología y Ambiente, S.A. de C.V. (TEA), en el DF, enero de 2005.

5.1.3 El tratamiento de las aguas negras es visto como un mercado atractivo

La rentabilidad en el aprovechamiento de agua residual tratada puede valorarse desde la perspectiva de una planta de tratamiento que produzca y comercialice el agua tratada a diversos usuarios, o bien desde el punto de vista de plantas de tratamiento que aprovechen el gasto producido para el consumo interno dentro de una industria o empresa. En ambos casos, y a partir de los gastos de agua que se aprovechen, el costo por m³ de tratamiento de agua residual tratada tiende a ser favorable en comparación con los costos actuales del agua potable.⁴⁵

El beneficio que obtiene la sociedad con el aprovechamiento del agua residual tratada en aquellos usos donde no se requiere de una calidad potable. Por ejemplo, para regar un campo de fútbol se necesitan 2,628 m³ de agua al mes. Pero, si se utiliza agua residual tratada para este fin, se liberará agua potable suficiente para abastecer a 243 personas durante un mes. Sin embargo, la grave situación que enfrentan varias ciudades de México para el abastecimiento del agua potable va a ser valorada sólo cuando repercuta con un mayor impacto económico en la sociedad en general. No existe realmente una concientización ciudadana que propicie un mayor desarrollo de este sector a corto plazo.

Es una realidad que en los centros urbanos como la capital, el reuso del agua y el aprovechamiento de la residual tratada es cada vez más necesario. Por lo tanto, ya sea a corto o mediano plazo, el mercado para el agua residual tratada se muestra atractivo. Los proyectos para la construcción de plantas de tratamiento se prevén como altamente rentables en dependencia de los esquemas de inversión y la demanda potencial del mercado específico al cual se pretende abastecer.

De los análisis anteriores se concluye, que la ejecución del proyecto "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Pachuca, Hidalgo", resultó socialmente rentable, ya que los costos sociales de inversión son menores a los beneficios sociales. Por lo que el país no se vería afectado y por el contrario la sociedad de la región vería incrementada su riqueza al realizar esta obra, tomando únicamente los beneficios por producción agrícola e incremento del valor de los terrenos.

Existiendo otros beneficios intangibles o futuros, como son el mejoramiento del entorno ecológico, el reuso del agua tratada para la industria y disminución de las enfermedades de origen hídrico.

Dadas las características y calidad que tendrán las aguas que salgan de la planta de tratamiento, es de importancia considerar el futuro uso de éstas para la actividad industrial, por dos razones: comercialización de aguas que tienen un costo agregado debido a su tratamiento y aliviar la presión sobre la demanda de agua potable que implica el crecimiento de la industria en la

⁴⁵ Saavedra García Ricardo, gerente de Grupo ECOAGUA, S.A. de C.V. con sede en el D.F., ponencia sobre la utilidad del agua tratada, México 2005.

ciudad. La propia CAASIM está elaborando un programa de uso del agua tratada en la industria que tendrá como fin primordial el uso de un porcentaje del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Lo cierto es que son cuatro los apoyos necesarios y adicionales a los existentes para un desarrollo más adecuado del mercado del agua residual tratada. El primero es un marco legal que promueva y apoye el mayor consumo de este tipo de agua: segundo, se requiere una mayor congruencia entre el precio del servicio de agua potable, los derechos federales por extraer agua del subsuelo y las tarifas del agua residual tratada; en tercer lugar, faltan más incentivos fiscales a usuarios que utilicen agua tratada y de financiamiento blandos para usuarios y concesionarios con el fin de realizar adaptaciones y otras obras que permitan ahorrar y conservar los escasos recursos hidráulicos de la cuenca del Valle de México, y finalmente se debe incrementar la infraestructura para el tratamiento y la distribución de agua residual tratada.⁴⁶

Desde el punto de vista de una empresa privada, donde se busca un rendimiento sobre la inversión realizada; el mercado del agua residual tratada se encuentra en una etapa de crecimiento, por lo que el tiempo de retorno de las inversiones se sitúa en un mediano plazo. En la actualidad se depuran y maduran los diferentes aspectos legales, comerciales y fiscales que envuelven el aprovechamiento del agua residual tratada, con lo cual en un futuro se propiciará un mejor aprovechamiento de este sector.

5.1.4 Falta capacitación para consolidar plantas de tratamiento

Los beneficios esenciales del reciclaje de agua para el medio empresarial, tanto en su rentabilidad como en su aportación a la sociedad, son las siguientes: la disponibilidad del agua en los casos en los que escasea; el mejor costo de la misma en el caso de zonas industriales con alto costo de agua municipal, así como el uso específico del agua para reciclado industrial, dejando de tal modo el agua potable para el consumo humano.⁴⁷

En el centro del país, donde es mayor la concentración demográfica, es una necesidad básica por la contaminación a mantos freáticos y cuerpos receptores, pero las plantas del vital líquido. No obstante, el crecimiento de las inversiones en plantas de tratamiento es notable, cuando menos en el centro de la república y otras grandes capitales; sin embargo, algunas son concesiones de la industria privada, con cargo a un municipio que recupera un bajo porcentaje de parte de los usuarios.

Pero es necesario que el usuario pague la extracción y el tratamiento, así como el otorgamiento de créditos blandos con ayuda fiscal, para facilitar inversiones en plantas de tratamiento residenciales e industriales. También falta capacitación en todos los sectores sobre el diseño y construcción de

⁴⁶ Saavedra García. Las dificultades que existen en México para consolidar plantas de tratamiento, Editorial Trillas, México 200, página 55.

⁴⁷ Torres Luis G, gerente de Operaciones de ECCACIV, S.A. de C.V., empresa ubicada en Jiutepec, Morelos, ponencia sobre "Ventajas en las empresas por usar agua tratada", Morelos 2004.

plantas, y sobre su control y operación para conseguir instalaciones eficientes y rentables.

4.1.5 Rentabilidad VS Ecología

Los beneficios del reciclaje de agua son incuestionables, el concepto de rentabilidad no se puede separar del costo ecológico, lo cual es igual a un costo ambiental que conlleva a un precio económico a veces imposible de cubrir. Por lo tanto, el medio empresarial tiene el compromiso ineludible de tratar sus aguas para el reuso.⁴⁸

Sin embargo, debido a los problemas económicos por los que atraviesa el mundo, México e Hidalgo cuentan con escasas perspectivas para invertir en una medida justa en proyectos ecológicos. No se debe olvidar que la mayoría de los equipos y maquinarias son importados, y la inestabilidad cambiaria limita la adquisición requerida; por ello los estudiosos no son demasiado optimista acerca del incremento de las inversiones para instalar plantas de tratamiento en el corto plazo, ya que consideran que en los últimos cinco años ha habido un crecimiento muy conservador.

A esto se añaden otras limitantes, además de las económicas, como las culturales. Por ello, debemos pugnar por una cultura del agua, en este caso en particular y por la sustentabilidad del desarrollo.

5.2 Uso del agua tratada para el riego agrícola

A nivel mundial, después de la República Popular de China, México es el segundo país que más agua residual emplea en actividades agrícolas. En América Latina, México es la nación que más hectáreas irriga con aguas servidas no tratadas.

A principios de los 90's, el Instituto Nacional de Ecología (INE) estimaba que alrededor del 44.3% de las aguas residuales generadas por la población de México, por lo común aguas no tratadas, eran utilizadas en la agricultura.

La Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA) estima que en el país se están regando alrededor de 350,000 hectáreas con un volumen de 160 m³/seg de aguas de origen municipal, algunas mezcladas con aguas residuales industriales o con aguas superficiales o de pozo.

Actualmente en México existen más de 30 grandes escenarios donde la irrigación agrícola depende de las aguas negras generadas por igual número de poblaciones.

En numerosos lugares de México no hay vigilancia ni control sanitario alguno para el reuso de este recurso, las principales ciudades afectadas son Aguascalientes, Chihuahua, Ciudad Juárez, Durango, Guadalajara, La Laguna,

⁴⁸ Samano Tirado Estrella, especialista de Energía y Ecología, S.A. de C.V., con sede en Morelos.

Monterrey, Morelia, Obregón, Puebla, Querétaro y el Valle de Mezquital en Hidalgo.

El Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, es el mayor campo agrícola del mundo regado con las aguas negras provenientes de la Ciudad de México, aproximadamente 130,000 hectáreas.

A nivel mundial, los estudios epidemiológicos ambientales sobre el impacto del reuso agrícola de las aguas residuales en la salud pública son relativamente pocos, pero todos indican que el riesgo de irrigar los plantíos con agua de riego es extremo.

En el Valle del Mezquital, las aguas procedentes de la Ciudad de México reciben un tratamiento natural al ser retenidas en represas antes de ser utilizadas por los agricultores. En cambio, en la ciudad de Pachuca, las aguas crudas provenientes del uso diario son dispuestas, en cuestión de minutos u horas, y sin tratamiento alguno, en los campos de cultivo, por ello es necesario consolidar una planta de tratamiento.

5.3 El agua y su uso residual en Pachuca

En Pachuca aún se combina el desarrollo urbano y el desarrollo agrícola concentrado en la periferia de la ciudad, es por tanto que unos de los beneficios que constituye el tratamiento de aguas residuales es el reuso en el riego agrícola. En particular, existe la factibilidad del aprovechamiento de las aguas tratadas por productores de jitomate a través del cultivo por la metodología de hidroponía, además de poder cultivar pimienta morrón en estas condiciones; referente a cielo abierto conforme a las condiciones climatológicas de Pachuca es posible el cultivo de hortalizas.

Retomando que la hidroponía es la técnica de cultivo de plantas en soluciones acuosas, que por lo general utiliza algún soporte de arena, grava, etc. Llamada igualmente "cultivo sin tierra" al método que provee los alimentos que requieren las plantas para su perfecto desarrollo por medio de una solución sintética de agua y sales minerales, en contraposición de su vía natural que es la tierra. Con respecto al método de cultivo de hidroponía, se puede mencionar que para poder instalarlo, además de la tecnología hidropónica, es necesario contar con agua suficiente pues esto es lo que constituye el principal componente para conducir y proveer de nutrientes a los cultivos.

Ventajas de la metodología de la hidroponía

- Balance ideal de aire, agua y nutrientes.
- Humedad uniforme.
- Excelente drenaje.
- Se puede corregir fácilmente la deficiencia o el exceso de un nutrimento.
- Perfecto control del pH.
- No depende tanto de los fenómenos meteorológicos.
- Más altos rendimientos por unidad de superficie.
- Mayor calidad del producto.
- Mayor precocidad en los cultivos.

- Posibilidad de cultivar repetidamente la misma especie de planta.
- Posibilidad de varias cosechas al año.
- Menor cantidad de espacio para producir el mismo rendimiento del suelo.
- Excelentes condiciones para semillero.
- Se puede utilizar agua con alto contenido en sales.
- Posibilidad de enriquecer los productos alimenticios con sustancias como vitaminas o minerales.
- No se requiere tractor, arado u otros implementos semejantes.

En el caso particular de la hidroponía de jitomate se visitó a productores que actualmente explotan esta técnica. Algunos de los datos principales de la infraestructura visitada son:

Se establecen invernaderos de una hectárea (ha) conformados por 2 módulos de 0.5 hectáreas, cada uno.

- La inversión inicial por cada invernadero es de 2.95 millones de pesos/ha.
- En promedio cada hectárea puede albergar de 50,000 a 90,000 plantas.
- Cada planta necesita 2.5 litros de agua, es decir que se necesitan en promedio 225,000 litros por hectárea al día.
- Los rendimientos promedio son 15 veces mayores por hectárea a los cultivados convencionalmente.
- Los requerimientos de calidad de agua no son un impedimento para aprovechar el agua de la PTAR, tan solo se tienen restricciones en el pH y la conductividad eléctrica.
- La fuente de donde se abastecen actualmente es el almacenamiento de agua de lluvia, por lo cual se encuentran limitados al escurrimiento que se presente durante la temporada de lluvias, por lo que, si se garantiza un suministro continuo, se estaría en posibilidades de instalar otros módulos.
- El mercado que demanda estos cultivos, es un mercado establecido y con requerimientos de calidad (tamaño, apariencia y masa) particulares que se pueden cubrir mediante esta tecnología.

Por otro lado, también se identificó, que en la región es común el cultivo de alfalfa, incluso es un mercado de oferta de suma importancia no solo regional sino estatal. Así pues, aunque no se cuantificaron este tipo de beneficios, se identificaron las posibilidades de establecer con mayor intensidad cultivos de hortalizas, los cuales en el estado son de gran beneficio.

5.3.1 Requerimientos de agua para riego en invernadero

Los riegos que se proporcionan durante los primeros 30 días por planta son a razón de 4 litros divididos en tres riegos de duración. Se aplica un riego de 0.5 litros por planta para disminuir el riego de acumulación de sales en el sustrato.

En los siguientes 40 días del ciclo, la cantidad de agua de riego debe incrementarse en 0.8 litros por planta, distribuida en cuatro riegos de tres minutos cada uno. En los últimos 60 días, debe aplicarse aproximadamente 1.5 litros de agua por planta, distribuidos en 4 ó 5 riegos.

Los ajustes para la frecuencia y cantidad de agua aplicada a cada planta, en este sistema de producción, estará en función de los niveles de los factores ambientales como: temperatura húmeda relativa y ventilación principalmente.

- 30 días 12.5 lts/planta
- 40 días 32.0 lts/planta
- 60 días 90.0 lts/planta
- Requerimiento del agua por planta en ciclo de 130 días-135 lts.
- Invernadero de 1,000 m²
- Densidad de planta 4,200 a 5,000.
- Requerimiento de agua por ciclo 567,000 lts.
- Requerimientos de agua por año 1´134,000 lts.

5.4 Planta de tratamiento de 50 lps y el riego de áreas verdes

De las necesidades y la importancia de saneamiento que representa en la actualidad, el agua residual, con la calidad ambiental que facilite el aprovechamiento de la biodiversidad disponible, se han creado políticas ambientales que enfrenten los desafíos del desarrollo sustentable en donde se pretende minimizar los efectos ambientales negativos, generados por el mal uso y desperdicio de agua, en el riego de áreas verdes y que además satisfagan las necesidades de consumo de sus habitantes y con ello obtener una mayor disponibilidad de agua potable para consumo humano, derivado de esto la CAASIM, se ha visto en la necesidad de realizar sistemas de tratamiento para aprovechar las aguas residuales en riego de áreas verdes.

- La empresa que realizará el proyecto es tecnología aplicada al saneamiento integral, S.A. de C.V.
- El proyecto se ha adjudicado mediante el procedimiento invitación de cuando menos a tres proveedores a la empresa tecnología aplicada al saneamiento integral, S.A. de C.V.
- El proyecto contempla, la construcción y la puesta en marcha, operación, conservación, reposición de equipo y mantenimiento de la planta de tratamiento, el tratamiento, estabilización, almacenamiento de transferencia y disposición final de los lodos que se produzcan en la misma en los sitios designados para tal fin.
- El costo del sistema de suministro de agua tratada es la cantidad de \$40´536,628.87 (setenta y seis millones setecientos setenta mil cuatrocientos ochenta pesos 30/100 m.n.)
- El costo total de la planta de tratamiento estará financiada al 100% por la empresa que llevará a cabo dicho proyecto.
- La construcción de las obras del sistema de suministro de agua tratada se realizarán en terrenos propiedad del Organismo.

- La capacidad de producción del proyecto propuesto por el Organismo, será de 9,000 m³ por día promedio, lo que permitirá satisfacer en una primera etapa la demanda de los usuarios identificados de Agua Residual Tratada, la producción propuesta significa rescatar agua potable para una población equivalente a 45,000 habitantes.
- 50 lps tendrán una calidad 20/20 mg/l (Demanda Bioquímica de Oxígeno/Sólidos Suspendidos Totales) para su uso en riego de áreas verdes urbanas con contacto directo y 50 lps con calidad 50/50mg/l (Demanda Bioquímica de Oxígeno/Sólidos Suspendidos Totales).

4.5 Beneficios por la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de 100 lps.

- Beneficio por el uso de agua tratada de mejor calidad para el riego agrícola actual y de manera adicional para poder obtener otra variedad de cultivos a cielo abierto o mediante invernaderos.
- Beneficio por el uso de agua tratada en el sector industrial, restringiendo el uso de agua potable en actividades no domésticas, lo cual representa de manera directa un ahorro sustancial de agua potable.
- Liberación de agua potable que se utiliza para el riego de áreas verdes, parques y jardines.
- Dar cumplimiento a las Condiciones Particulares de Descarga establecidas a este organismo Operador por parte de la Comisión Nacional del Agua.

CONCLUSIONES

Para el saneamiento de la cuenca es necesario realizar un Proyecto Integral que incluya plantas de tratamiento en los municipios conurbados al de Pachuca de Soto, para con ello coadyuvar al saneamiento integral de la cuenca y la región.

Con este proyecto se busca promover que las obras de infraestructura hidráulica y sanitaria que se realizan en los conjuntos habitacionales incluyan plantas de tratamiento, principalmente en una ciudad como Pachuca, donde los complejos habitacionales están creciendo a un ritmo acelerado.

Es necesario que las instituciones gubernamentales reconozcan que es necesario desarrollar sistemas integrales de uso, tratamiento y recuperación de aguas residuales domésticas e industriales, instalando la infraestructura precisa para el aprovechamiento de caudales en la industria y para el riego.

Además de que deben establecer un programa de control, detección, eliminación de fugas y mantenimiento preventivo de las redes de distribución para reducir las pérdidas, para impulsar el establecimiento de plantas de tratamiento en las cuencas del estado, procurando que se realicen aguas arriba para lograr la limpieza secuencial de las corrientes y cuerpos de agua, y propiciar la reutilización de las aguas tratadas.

No solo la CAASIM debe monitorear, controlar y vigilar el cumplimiento permanente de la calidad del agua en los almacenamientos y líneas de distribución, sino que también tiene que promover programas de infiltración de aguas pluviales a los acuíferos, previa ubicación precisa de las zonas de recarga.

Solo así se fortalecerá el reglamento para que el manejo de aguas residuales de industrias y de otros usos contaminantes tengan pretratamiento y cumplan con las condiciones de descarga, situación que ayudará a la recarga artificial y natural inducida de los acuíferos, asociando estos proyectos con la forestación y la retención de agua pluvial, mediante tinajas secas, pozos de absorción y bordos. Así mismo incrementar la eficiencia y productividad de las zonas de riego y temporal para lograr el uso pleno y el aprovechamiento de la infraestructura, e identificar el posible intercambio de aguas claras por aguas residuales tratadas, aspecto que se puede llevar a cabo en coordinación con el sector industrial, conformando una institución de excelencia que cubra actividades de docencia académica, de investigación y difusión en materia de agua, para lograr avances hacia los estándares de calidad internacional.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACUEDUCTO: Estructura utilizada para transportar agua desde áreas remotas a grandes centros urbanos.

ACUÍFERO: Cavidades subterráneas naturales de almacenaje de agua.

AGUAS RESIDUALES: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS: Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

AGUA NO POTABLE: Agua no apta para consumo humano.

AGUA POTABLE: Agua apta para consumo humano.

AGUAS RESIDUALES TRATADAS: Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos y biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su resuso en servicios al público.

AIREACIÓN: La aireación de las aguas residuales es necesaria para proporcionar oxígeno al efluente que se quiere tratar.

BIOSÓLIDOS: Los biosólidos son los residuos orgánicos que resultan del tratamiento de aguas residuales de origen comercial, industrial y municipal (aguas negras). Un objetivo del tratamiento es reducir de manera significativa la concentración de organismos que causan enfermedades (también conocidos como patógenos).

COLIFORMES: La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

COLECTOR: Se denomina colector a la tubería de alcantarillado público que recibe o colecta las aguas servidas domiciliarias. Es colocado en forma subterránea, generalmente al medio de la calle, de manera que cada una de las viviendas de esa vía puedan conectarse para la evacuación apropiada de las aguas servidas.

CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA AL ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL: El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.

CONTAMINANTES: Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

CROMATOS: La presencia del cromo en las redes de agua potable puede producirse por desechos de industrias que utilizan sales de cromo, en efecto para el control de la corrosión de los equipos, se agregan cromatos a las aguas de refrigeración

DESCARGAR: Acción de verter las agua residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

DESAZOLVE: Quitar lo que azolva o ciega un conducto.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días). Cantidad de oxígeno utilizado por una mezcla de población de microorganismos heterótrofos para oxidar compuestos orgánicos en la oscuridad a 20°C durante 5 días.

DESBASTE: Sistema de rejillas y tamices donde quedan retenidos los flotantes y residuos gruesos que arrastra consigo el agua "bruta" o influente en las estaciones regeneradoras.

DIGESTIÓN ANAEROBIA: Tratamiento biológico atóxico del fango procedente de los decantadores secundarios y primarios previo a su secado y eliminación, y que se desarrolla con la producción de gas, fundamentalmente metano.

EFLUENTE: La denominación de efluentes industriales se aplica a un conjunto muy variado de residuos que se obtienen como consecuencia de la actividad industrial. La utilización industrial de recursos, insumos y materias primas, genera desechos y residuos líquidos (denominados efluentes) que, a través de procesos altamente especializados, son reutilizados en los procesos productivos. A esto se le llama reciclaje.

FILTRACIÓN: La filtración es una técnica, proceso tecnológico u operación unitaria de separación, por la cual se hace pasar una mezcla de sólidos y fluidos, gas o líquido, a través de un medio poroso o medio filtrante que puede formar parte de un dispositivo denominado filtro, donde se retiene de la mayor parte del o de los componentes sólidos de la mezcla.

FLÓCULO: Unidad ecológica y estructural del fango activo formada por una agrupación de bacterias y otros microorganismos que permiten la oxidación de la materia orgánica en las balsas de activación.

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: Valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

LPS: Litros por Segundo.

LODOS: Se han desarrollado diversas estructuras para el secado por aire de los lodos. Entre ellas están: lechos de arena, lechos asistidos de arena, lechos de cuñas, lagunas de lodos, lechos adoquinados y canchas de secado. Para el secado mecánico existen filtros de correa, filtros de presión, filtros de vacío y centrífugas. Los lodos deshidratados deben disponerse en una forma ambientalmente segura.

MG/L: Miligramos por litro.

PARÁMETRO: Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

PRETRATAMIENTO: El tratamiento físico incluye el tratamiento por calor y el congelamiento de los lodos. Una vez concluida la etapa de digestión

microbiana, ya sea aerobia o anaerobia, los lodos aún contienen mucha agua (alrededor de un 90%) por lo que se requiere deshidratarlos para su disposición final. Para ello se han diseñado dos métodos principales: secado por aire y secado mecánico.

QUIMIOHETEROTROFOS: Utilizan compuestos orgánicos como fuente de carbono y energía. Los compuestos orgánicos también se comportan como fuente de electrones. Este grupo está integrado por animales superiores, hongos, protozoos y la mayoría de las bacterias.

REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO: Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: 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.

SEDIMENTABLES: Materia sólida recogida sobre una superficie normalizada provista de un elemento de retención. Está constituida por las partículas y el polvo que caen directamente, más la materia arrastrada por la lluvia (soluble o insoluble) menos lo que el viento arranca del elemento de retención.

SISTEMA DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL: Es el conjunto de las obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiéndose como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de aguas residuales.

VERTIDOS: En ingeniería ambiental se denomina vertidos a cualquier disposición de aguas residuales en un cauce o masa de agua. También se utiliza el término para los vertidos que se realizan sobre el terreno. Como consecuencia de la actividad humana, su impacto sobre el medio ambiente es negativo y debe ser minimizado por medio de medidas correctoras adecuadas.

BIBLIOGRAFÍA

Canter Larry (1998), "Manual de Evaluación de Impacto Ambiental", Ed. Mc Graw Hill, España.

Comisión Nacional del Agua (2004) "Ley de Aguas Nacional y su Reglamento"

Comisión Nacional del Agua (2006) "Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales"

Comisión Nacional del Agua, "Normas Oficiales Mexicanas"

Kiely Gerard (1999), "Ingeniería Ambiental, Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión", Ed. Mc Graw Hill, España.

Metcalf & Hedí (1996), "Ingeniería en Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización, Tomo 1", Ed. Mc Graw Hill, México.

Metcalf & Eddy (1996), "Ingeniería en Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización, Tomo 2", Ed. Mc Graw Hill, México.

Nalco (1989), "Manual del Agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones, Tomo 1", Ed. Mc Graw Hill, México.

CIBERGRAFÍA

<http://www.monografias.com/trabajos12/tratag/tratag.shtml#PROCESOS>.

<http://209.85.165.104/search?q=cache:8Mnb6jL7ZEMJ:www.puc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm+Procesos+aerobios+con+biomasa+suspendida+aguas+negras&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=mx>

<http://www.semarnat.gob.mx>

<http://www.cna.gob.mx>

<http://www.profepa.gob.mx>