



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

*TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE MÉXICO*



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

BRUNO RIVEROS OLIVARES

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.

2013



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señor
BRUNO RIVEROS OLIVARES
Presente

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/151/2013

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL.

"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

INTRODUCCIÓN

- I. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES**
 - II. CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO**
 - III. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE MÉXICO**
 - IV. DIAGNÓSTICO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD**
 - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 24 de Octubre de 2013
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ


M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ
JLTS/MTA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por apoyarme a lo largo de cada paso en mi vida, brindándome consejo y apoyo incondicional en todo momento.

A la UNAM, por retarme todos los días y hacerme entender el significado del orgullo universitario.

A la M.I. Alba Beatriz Vázquez González, por toda su ayuda y paciencia en el desarrollo del presente trabajo.

A mis maestros, por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias para enfrentar los retos del mundo laboral y estar siempre disponibles para brindar apoyo en tiempos de dificultad.

Al Sistema de Aguas de la Ciudad de México, y en especial al Ingeniero Arturo Morgia Cruz, Jefe de Unidad Departamental de Proyectos de Plantas de Tratamiento, y al Ingeniero José Galván Angulo, Jefe de Unidad Departamental de Administración de Base de Datos, por toda la información que con tanta amabilidad me proporcionaron y sin la cual la realización del presente trabajo hubiera sido imposible.

A mi hermano Bernardo y a mis amigos, por todos los buenos momentos que me han brindado y que espero sigamos disfrutando en el futuro.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	10
1. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.....	13
1.1 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.....	13
1.2 TRATAMIENTOS MÁS COMUNMENTE EMPLEADOS.....	21
1.3 LEGISLACIÓN EN MATERIA DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	30
2. CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	35
2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	35
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO.....	42
2.3 SERVICIOS.....	50
2.4 SISTEMA HIDRÁULICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	53
3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE MÉXICO.....	58
3.1 ANTECEDENTES.....	58
3.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO OPERADAS POR EL SACMEX.....	63
3.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO CONCESIONADAS.....	120
3.4 PLANTAS DE TRATAMIENTO EN REHABILITACIÓN Y FUERA DE SERVICIO.....	125
4. DIAGNÓSTICO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	128
4.1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS.....	128
4.2 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS.....	137
5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	143
BIBLIOGRAFÍA.....	148

Índice de figuras

Clasificación	Título de la figura	Página
Figura 1.1	Sistema de tratamiento primario típico	26
Figura 1.2	Nivel de especificidad de la legislación nacional relativa al control de las descargas de aguas residuales	33
Figura 2.1	Ubicación geográfica de las delegaciones políticas de la Ciudad de México	36
Figura 2.2	Cauces en la Ciudad de México	39
Figura 2.3	Zonificación de la Ciudad de México de acuerdo al tipo de suelo	41
Figura 2.4	Trazo del Túnel Emisor Oriente	57
Figura 3.1	Ubicación PTAR Cerro de la Estrella	63
Figura 3.2	Rejillas de limpieza mecánica	64
Figura 3.3	Imagen de uno de los sedimentadores primarios, motor de las dragas en mal estado, algunas fuera de servicio.	65
Figura 3.4	Imagen de un sedimentador primario fuera de servicio, en espera a ser acondicionado para formar parte del reactor biológico.	66
Figura 3.5	Imagen de reactor biológico ampliado hacia zona de sedimentación primaria con bioselector anóxico y posterior aireación.	67
Figura 3.6	Imagen del sistema de recirculación de lodos instalado en uno de los reactores biológicos.	67
Figura 3.7	Imagen del almacenamiento de los tanques de gas cloro, usados para la desinfección del efluente de la planta.	68
Figura 3.8	Ubicación PTAR Santa Martha	70
Figura 3.9	Criba rotatoria y unidad de sedimentación primaria, ambas fuera de operación al momento de la visita.	71
Figura 3.10	Reactor biológico con aireación, se observa la recirculación de los lodos a través de la tubería amarilla.	72
Figura 3.11	Clarificadores	72
Figura 3.12	Desinfección con hipoclorito por goteo y laberinto para aumentar el tiempo de contacto para mejores resultados.	73
Figura 3.13	Módulos de filtración, último paso del tratamiento del agua antes de ser bombeada hacia el reclusorio.	73
Figura 3.14	Ubicación PTAR Bosques de las Lomas	75
Figura 3.15	Vista general de la planta de tratamiento Bosques de las Lomas	78
Figura 3.16	Ubicación PTAR San Juan de Aragón	79
Figura 3.17	Diagrama de flujo del tratamiento de la planta San Juan de Aragón	80
Figura 3.18	Vista general de uno de los sedimentadores primarios, del lado opuesto presenta algunas dragas fuera de servicio por falla mecánica.	81
Figura 3.19	Vista general de uno de los reactores biológicos	82
Figura 3.20	El agua llega de los sedimentadores primarios por la tubería de mayor diámetro, mientras que la recirculación de los lodos se observa en la tubería adyacente de menor diámetro.	82

Figura 3.21	Vista general de uno de los tanques de sedimentación secundaria con sus respectivos clarificadores.	83
Figura 3.22	Tanque tipo laberinto e instalación para inyección de gas cloro al agua residual.	84
Figura 3.23	Vista general del tanque de almacenamiento de agua tratada	84
Figura 3.24	Ubicación PTAR Chapultepec	86
Figura 3.25	Tratamiento primario que consiste en rejillas de limpieza manual y canales desarenadores.	87
Figura 3.26	Instalación de bombas que se encargan de trasladar el agua hacia los sedimentadores primarios	88
Figura 3.27	Tanque de sedimentación primaria rectangular en tren de tratamiento I	89
Figura 3.28	Tanque circular. En la parte interior del tanque se encuentra el sedimentador primario y en la exterior el reactor biológico	89
Figura 3.29	Vista general de reactor biológico rectangular en tren de tratamiento I	90
Figura 3.30	Vista general de reactor biológico circular	90
Figura 3.31	Equipos sopladores que abastecen de oxígeno a los reactores biológicos	91
Figura 3.32	Tanques de sedimentación primaria en el tren de tratamiento I	91
Figura 3.33	Instalación para la desinfección del efluente del tratamiento secundario con hipoclorito por goteo	92
Figura 3.34	Ubicación PTAR Tlatelolco	93
Figura 3.35	Ubicación PTAR San Lorenzo	95
Figura 3.36	Compuertas reguladoras de gasto y rejillas de limpieza mecánica a la entrada del agua residual a la planta.	96
Figura 3.37	Vista general de uno de los reactores biológicos	97
Figura 3.38	Equipos sopladores para la aireación de los reactores biológicos	97
Figura 3.39	Vista general de uno de los tanques de sedimentación secundaria	98
Figura 3.40	Sistema de desinfección del efluente por goteo de hipoclorito.	98
Figura 3.41	Tanque de sedimentación secundaria	100
Figura 3.42	Instalaciones para el tratamiento de lodos	100
Figura 3.43	Ubicación PTAR San Luis Tlaxialtemalco	101
Figura 3.44	Canales desarenadores con su respectivo aparato de medición digital de gasto	103
Figura 3.45	Vista general de uno de los sedimentadores circulares con que cuenta la planta de tratamiento.	103
Figura 3.46	Vista general de uno de los reactores biológicos rectangulares de la planta	104
Figura 3.47	Sedimentador secundario, se almacenan los lodos en una tolva y se recirculan hacia los reactores biológicos	105
Figura 3.48	Instalación para la desinfección del efluente del tratamiento secundario con hipoclorito por goteo.	105
Figura 3.49	Interior de uno de los lechos de secado de lodos	106
Figura 3.50	Vista de una cancha recreativa para los empleados de la planta, creada a partir del relleno de desniveles utilizando los lodos tratados en los lechos de secado.	106
Figura 3.51	Ubicación PTAR Picos Iztacalco	108

Figura 3.52	Ubicación PTAR Abasolo	109
Figura 3.53	Ubicación PTAR Pemex – Picacho	110
Figura 3.54	Ubicación PTAR San Miguel Xicalco	111
Figura 3.55	Ubicación PTAR Parres	112
Figura 3.56	Ubicación PTAR Reclusorio Sur	113
Figura 3.57	Ubicación PTAR San Andrés Mixquic	114
Figura 3.58	Ubicación PTAR San Nicolás Tetelco	115
Figura 3.59	Ubicación PTAR La Lupita	116
Figura 3.60	Ubicación PTAR San Pedro Atocpan	117
Figura 3.61	Ubicación PTAR El Rosario	118
Figura 3.62	Ubicación PTAR Coyoacán	120
Figura 3.63	Ubicación PTAR Ciudad Deportiva	121
Figura 3.64	Ubicación PTAR Acueducto de Guadalupe	122
Figura 3.65	Ubicación PTAR Santa Fe	123
Figura 3.66	Ubicación PTAR El Llano	125
Figura 3.67	Ubicación PTAR Milpa Alta	126
Figura 4.1	Cobertura de la red de alcantarillado en las entidades de la República Mexicana.	135

Índice de tablas

Clasificación	Título de la tabla	Página
Tabla 1.1	Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual	14
Tabla 1.2	Tipos de sólidos presentes en las aguas residuales municipales	16
Tabla 1.3	Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas	20
Tabla 1.4	Principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento del agua residual	23-24
Tabla 2.1	Delegaciones políticas de la Ciudad de México y sus respectivas extensiones territoriales	35
Tabla 2.2	Elevaciones principales en la Ciudad de México	37
Tabla 2.3	Temperatura media anual en la Ciudad de México registrada en las 3 estaciones meteorológicas	38
Tabla 2.4	Precipitación media anual en la Ciudad de México registrada en las 3 estaciones meteorológicas	39
Tabla 2.5	Población total por delegación según sexo, 2010	42
Tabla 2.6	Viviendas ocupadas en la Ciudad de México por delegación, 2010	43
Tabla 2.7	Características del sector educativo de la Ciudad de México, 2010	44
Tabla 2.8	Producto Interno Bruto Total, 2003-2011	45
Tabla 2.9	Estructura sectorial del Producto interno bruto en la Ciudad de México, del año 2011 (a precios de 2003)	46
Tabla 2.10	Características principales de la superficie en unidades de producción en la Ciudad de México, 2007	47
Tabla 2.11	Datos generales de ejidos en la Ciudad de México	48
Tabla 2.12	Características seleccionadas del sector de industrias manufactureras según principales subsectores de la actividad, 2008	49
Tabla 2.13	Fuentes de abastecimiento de la Ciudad de México al año 2008	53-54
Tabla 2.14	Datos generales de componentes del drenaje profundo de la Ciudad de México	55-56
Cuadro 3.1	Información básica de la PTAR "Cerro de la Estrella"	64
Cuadro 3.2	Información básica de la PTAR "Santa Martha"	70
Cuadro 3.3	Información básica de la PTAR "Bosques de las Lomas"	75
Cuadro 3.4	Información básica de la PTAR "San Juan de Aragón"	79
Cuadro 3.5	Información básica de la PTAR "Chapultepec"	86
Cuadro 3.6	Información básica de la PTAR "Tlatelolco".	94
Cuadro 3.7	Información básica de la PTAR "San Lorenzo"	96
Cuadro 3.8	Información básica de la PTAR "San Luis Tlaxialtemalco"	102
Cuadro 3.9	Información básica de la PTAR "Picos Iztacalco"	109
Cuadro 3.10	Información básica de la PTAR "Abasolo"	110
Cuadro 3.11	Información básica de la PTAR "Pemex - Picacho"	111

Cuadro 3.12	Información básica de la PTAR “San Miguel Xicalco”	112
Cuadro 3.13	Información básica de la PTAR “Parres”	113
Cuadro 3.14	Información básica de la PTAR “Reclusorio Sur”	114
Cuadro 3.15	Información básica de la PTAR “San Andrés Mixquic”	115
Cuadro 3.16	Información básica de la PTAR “San Nicolás Tetelco”	116
Cuadro 3.17	Información básica de la PTAR “La Lupita”	117
Cuadro 3.18	Información básica de la PTAR “San Pedro Atocpan”	118
Cuadro 3.19	Información básica de la PTAR “El Rosario”	119
Cuadro 3.20	Información básica de la PTAR “Coyoacán”	121
Cuadro 3.21	Información básica de la PTAR “Ciudad Deportiva”	122
Cuadro 3.22	Información básica de la PTAR “Acueducto de Guadalupe”	123
Cuadro 3.23	Información básica de la PTAR “Santa Fe”	124
Cuadro 3.24	Información básica de la PTAR “El Llano”	126
Cuadro 3.25	Información básica de la PTAR “Rastro Milpa Alta”	127
Tabla 4.1	Comparación entre gastos de diseño y gastos de operación de las P.T.A.R. de la Ciudad de México	128-129
Tabla 4.2	Caudal de aguas residuales municipales tratadas, en plantas de tratamiento por entidad federativa, 2010	129-130-131
Tabla 4.3	Comparación de parámetros de calidad del influente y efluente de las plantas visitadas con los parámetros que acepta la NOM-001-ECOL-1996	132
Tabla 4.4	Comparación de parámetros de calidad del influente y efluente de las plantas visitadas con los parámetros que acepta la NOM-003-ECOL-1997	133
Tabla 4.5	Presupuesto asignado a los órganos desconcentrados de la Ciudad de México para los años 2011 y 2012	137
Tabla 4.6	Presupuesto asignado a las dependencias de la Ciudad de México para los años 2011 y 2012	138
Tabla 4.7	Distribución de la inversión en el sector hídrico por entidad federativa, 2011	139-140
Tabla 4.8	Distribución de la inversión en saneamiento de aguas por entidad federativa y su porcentaje representativo del total en el país, año 2011	140-141
Tabla 4.9	Inversión estimada para rehabilitación de PTAR operadas por el SACMEX	141-142

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales en nuestra ciudad ha sido desde siempre uno de los servicios a los que menos atención se ha dado, a pesar de que son bien conocidos los efectos negativos que se derivan de descuidar la calidad del agua de los sistemas naturales, lo cual incide directamente en la degradación de los ecosistemas y en la salud pública.

Históricamente a nivel mundial fue hasta mediados del siglo XIX en Londres que se comenzó a tomar interés en el desalojo de las aguas residuales de la ciudad debido a una fuerte epidemia de cólera. Se tomó como la mejor solución construir alcantarillados que condujeran los desechos humanos hacia cursos de agua naturales, lo cual posteriormente ocasionó una severa contaminación de los cuerpos de agua receptores y serios daños a la salud de las poblaciones aguas abajo de las descargas. El tratamiento de las aguas residuales no fue considerado hasta que se descubrió que el proceso de auto purificación natural de los cuerpos de agua había sido sobrepasado por las excesivas descargas de desechos, causando condiciones nocivas intolerables para las poblaciones. A partir de 1920 ya se contaba con diversos métodos de tratamiento de aguas residuales, algunos de los cuales se usan todavía en la actualidad, pero no fue hasta el año 1960 que se comenzó con el diseño de las llamadas plantas de tratamiento de aguas residuales. Actualmente se continúan desarrollando a nivel mundial distintos tipos de tratamientos avanzados que logran incluso convertir las aguas residuales en agua potable para el consumo de la población.

A pesar de los avances en el tratamiento de aguas moderno y las políticas y leyes de cuidado de medio ambiente que se han instaurado en las últimas décadas en todo el mundo, la Ciudad de México continúa muy rezagada en este servicio que resulta tan importante para el sustento de la calidad de los cuerpos de agua y calidad de vida de una población tan grande como la de la capital del país, que actualmente cuenta con una población de 8,851,080 habitantes (INEGI), otorgando una densidad de población de 5920.45 habitantes por kilómetro cuadrado.

Es claro que representa un reto enorme proporcionar el servicio de tratamiento de aguas a una población tan grande concentrada en un territorio tan pequeño, y más aún cuando existe tan poco presupuesto para el desarrollo de este servicio, pues no se considera tan importante como el abastecimiento de agua potable o electricidad entre otros, pero actualmente se tratan únicamente alrededor del 15% de las aguas residuales que se generan diariamente en nuestra ciudad.

Algunos de los efectos negativos que involucra no tratar las aguas residuales que se descargan a los cuerpos de agua nacionales incluyen: infecciones causadas por la presencia de organismos patógenos, toxicidad por presencia de sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas, pérdida de especímenes acuáticos por disminución en el oxígeno disuelto, olor y aspecto desagradable de los cuerpos de agua que reciben las descargas,

contaminación de suelos y mantos acuíferos por infiltración del agua contaminada, entre otros.

Actualmente en la Ciudad de México, el tratamiento de las aguas residuales municipales que se generan está a cargo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), quienes además tienen a su cargo los servicios de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado y reutilización. Entró en funcionamiento a partir del primero de Enero del año 2003 como un organismo público descentralizado por decreto del entonces Jefe de Gobierno del Distrito Federal, Lic. Andrés Manuel López Obrador al fusionar la entonces Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). Para el tratamiento de agua residual, la dependencia cuenta con un total de 25 plantas de tratamiento ubicadas en distintos puntos a lo largo del territorio que ocupa la ciudad, 21 de las cuales opera y mantiene de forma directa mientras que las 4 restantes son concesionadas (actualmente).

Por diversas razones, el tratamiento de aguas de la Ciudad de México no se encuentra al nivel que exige la protección ambiental y la normatividad, y en general se ha avanzado poco en la construcción y operación de la infraestructura que realmente se necesita para alcanzar niveles de tratamiento aceptables, esto principalmente debido a obstáculos como la mala administración de los recursos económicos que se entregan por parte del gobierno, la poca disponibilidad de espacio para la construcción de dicha infraestructura y el repudio de la sociedad hacia instalaciones de este tipo en la cercanía de las comunidades. Es preciso modificar la mentalidad de las personas, tanto de la sociedad como de aquellos funcionarios con la responsabilidad de repartir el presupuesto a los proyectos más importantes, para que en un futuro cercano se comience a invertir fuertemente en la instalación de plantas de tratamiento de mayor capacidad que permitirán obtener un alto caudal de agua residual tratada que puede llegar a servir otros propósitos con el objetivo de ahorrar en el uso de agua potable, como por ejemplo riego para la agricultura y limpieza de automóviles, o incluso si el nivel de tratamiento es el adecuado, utilizarla para la recarga de acuíferos lo cual ayudaría directamente en otro de los grandes problemas de la ciudad, que es el hundimiento de los suelos debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos.

El objetivo general del presente trabajo es analizar, sintetizar y valorar la situación actual del servicio de tratamiento de aguas residuales que presta el Sistema de Aguas de la Ciudad de México

El capítulo 1 "*Tratamiento de las aguas residuales municipales*" se incluyen los conceptos de un agua residual municipal y sus componentes, así como los tratamientos que más comúnmente se emplean actualmente y la legislación nacional vigente.

En el capítulo 2 "*Caracterización regional de la Ciudad de México*" se presentan las características físicas y socioeconómicas de la Ciudad de México, así como una breve descripción del sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado con que se opera actualmente en la ciudad.

El capítulo 3 *“Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en la Ciudad de México”* incluye la información relacionada con las 25 plantas de tratamiento de aguas residuales que operan en la Ciudad de México, dando así un panorama del nivel de la infraestructura que existe en la actualidad para proporcionar este servicio a la ciudad.

El capítulo 4 *“Diagnóstico del tratamiento de las aguas residuales municipales de la Ciudad de México”* se presenta un diagnóstico del tratamiento de aguas de la ciudad con base en un análisis profundo de los principales factores técnicos y económicos que influyen directamente en la situación actual del tratamiento de aguas en la Ciudad de México.

Finalmente, en el capítulo 5 *“Conclusiones y recomendaciones”* se incluyen las conclusiones finales del tema en cuestión junto con recomendaciones para mejorar el funcionamiento futuro del sistema de tratamiento de aguas de la Ciudad de México.

1. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

1.1 Composición y características de las aguas residuales municipales

Conforme a la Ley de Aguas Nacionales (LAN), se define a las aguas residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de uso público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento, y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas.

El conocimiento de los componentes y la naturaleza del agua residual es esencial para el diseño del alcantarillado que se encargará de recogerlas, el tratamiento, evacuación y gestión de calidad del medio ambiente. Dichos componentes dependen directamente del tipo de agua residual que se esté analizando en cuestión. Es común clasificar a las aguas residuales en aguas residuales municipales y aguas residuales industriales.

Aguas residuales municipales

Son aquellas procedentes de zonas residenciales, instalaciones públicas o de recreo e instalaciones comerciales o similares. El agua residual municipal fresca y recién generada presenta un color gris y olor a queroseno, pero al pasar el tiempo de ser generada se vuelve séptica y pestífera con un olor a sulfhídrico y un característico color negro.

Aguas residuales industriales

Son aquellas generadas por la industria, lo cual significa que en muchas ocasiones deben ser tratadas por las mismas fuentes que las generan antes de poder ser descargadas al alcantarillado municipal, esto debido a la posible presencia de metales pesados o compuestos tóxicos y peligrosos, como fenoles y compuestos orgánicos tóxicos que no pueden ser removidos mediante los tratamientos convencionales de aguas residuales municipales, aunque en algunos casos donde las aguas industriales poseen características compatibles con las municipales es posible descargarlas directamente al alcantarillado y tratarlas con los mismos procesos que a las aguas municipales.

Composición de las aguas residuales

Es claro que la composición básica de las aguas residuales depende directamente de su origen. Debido a que las aguas residuales industriales varían según los procesos en que son utilizadas en las industrias, las características y composición de las mismas pueden variar mucho de una industria a otra. El alcance del presente trabajo se restringe al estudio de las aguas residuales municipales, particularmente las generadas en la Ciudad de México.

Existen varios contaminantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales municipales, los cuales se presentan en la Tabla 1.1

Tabla 1.1 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

Contaminantes	Razón de importancia
Sólidos en suspensión	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales, la mayoría de las veces se mide en términos de DBO y DQO. Si se descargan al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas patógenas presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden llevar el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden conducir a la contaminación del agua subterránea.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a revestir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes termoactivos, fenoles y pesticidas agrícolas
Metales pesados	Los metales pesados son añadidos frecuentemente al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales y puede que deban ser eliminados si se va a reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y puede que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Metcalf & Eddy, INC, “Ingeniería Sanitaria”, 1985.

De los contaminantes presentados en la Tabla 1.1, los sólidos suspendidos, la materia orgánica biodegradable y los organismos patógenos son los de mayor importancia, y es

por esto que la mayoría de las instalaciones de manejo de aguas residuales son diseñadas para su remoción.

Características de las aguas residuales

Se presentan a continuación algunas de las características más significativas de las aguas residuales municipales.

Características Físicas

La característica física más importante del agua residual es su contenido de sólidos totales, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características físicas son la temperatura, el color y el olor.

Temperatura

La temperatura de las aguas residual suele ser mayor que la del agua para abastecimiento, debido principalmente a las descargas de agua caliente provenientes del uso doméstico y la industria. La medición de este parámetro físico es de suma importancia ya que los principales procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales dependen de la temperatura, ésta afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción. La temperatura de las aguas residuales varía en función de la estación del año y de la posición geográfica. En regiones frías la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones cálidas se encuentra entre 13 y 30°C.

Color

Los principales motivos que dan color al agua residual son los sólidos suspendidos, la materia coloidal y las sustancias en solución. En general, el color es un buen parámetro para estimar la condición de las aguas residuales. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que llevan poco tiempo en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacteriana bajo condiciones anaerobias. Dicho oscurecimiento ocurre con frecuencia debido a la formación de sulfuros, en particular sulfuro ferroso.

Olor

El olor característico de las aguas residuales frescas es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados durante el proceso de degradación biológica bajo condiciones anaerobias. Debido al interés de la opinión pública, se exige un cuidado especial en el diseño de instalaciones de tratamiento de aguas residuales a fin de evitar condiciones que generan la aparición de malos olores.

Sólidos en todas sus formas

En la caracterización de las aguas residuales es común remover los materiales gruesos antes de analizar sólidos en la muestra. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos que se identifican en las muestras de agua residual se presenta en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Tipos de sólidos presentes en las aguas residuales municipales

Prueba	Descripción
Sólidos totales (ST)	Residuo remanente después de que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica. (103°C a 105°C)
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólidos que son volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 +/- 50°C)
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 +/- 50°C)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica.
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos son volatilizados e incinerados de la fracción de SST (500 +/- 50°C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500 +/- 50°C)
Sólidos disueltos totales (SDT) (ST-SST)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica.
Sólidos disueltos volátiles (SDV) (SVT-SST)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500 +/- 50°C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500 +/- 50°C)
Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados como ml/l, que se sedimentarán en un periodo de 1 hora

Fuente: Tchobanoglous George, Crites Ron. “Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones”, 2000.

Características químicas

Los constituyentes químicos de interés comprenden nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases. Entre los nutrientes está el amoníaco libre, nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos, fósforo orgánico y fósforo inorgánico. Otras pruebas, como alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizadas para estimar la capacidad de reutilización de aguas residuales tratadas y también como pruebas para el control de varios procesos de tratamiento. Existen además análisis de compuestos orgánicos agregados que se realizan para caracterizar al agua residual y estimar el desempeño de los procesos de tratamiento. En la actualidad, los métodos de laboratorio que se usan con mayor frecuencia para medir la cantidad de materia orgánica en el agua residual son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el Carbono Orgánico Total (COT).

Nitrógeno

El Nitrógeno es importante para evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos, pues existen casos en los que la concentración de nitrógeno es insuficiente y es necesario agregar más para lograr que el agua residual sea tratable. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

Fósforo

El Fósforo es un componente químico de importancia en el agua residual debido a que es el principal responsable del crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Por lo anterior se realizan en la actualidad grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos de Fósforo provenientes de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural.

Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos. Para el caso particular de las aguas residuales, la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio. De todos ellos, el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio son los más comunes. La alcalinidad se determina por titulación con ácido normalizado, expresando los resultados como carbonato de calcio $CaCO_3$.

Cloruros

Los cloruros en las aguas residuales son añadidos como consecuencia del uso y se consideran un parámetro importante relacionado con su reutilización.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO es el método de campo más usado en el tratamiento de aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido. Durante el proceso de descomposición se distinguen 3 fases diferentes. En la primera, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo tejido celular. En la segunda, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular. Este último proceso se conoce como respiración endógena.

En la prueba estándar de DBO, se coloca una pequeña muestra de agua residual en una botella de volumen aproximado de 300 ml, la botella se completa a volumen utilizando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes necesarios para el crecimiento biológico. Debe medirse la concentración inicial del oxígeno disuelto, después de incubar la muestra 5 días a una temperatura de 20°C se mide la concentración de oxígeno de nuevo. La DBO de la muestra es la diferencia entre los valores de concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada. EL valor calculado de DBO se conoce como la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días y 20°C.

Demanda química de oxígeno

La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

Carbono orgánico total

La prueba del COT es usada para medir el carbono orgánico total presente en una muestra acuosa. El COT de determinada agua residual puede usarse como medida de su polución y en algunos casos ha sido posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO.

Características biológicas

Las características biológicas de las aguas residuales son de gran importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo de las bacterias y otros microorganismos en la descomposición y estabilización de la materia orgánica.

Organismos patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales provienen principalmente de los desechos humanos, ya sea que estén infectados o que sean

portadores de alguna enfermedad determinada. Las principales clases de organismos patógenos que pueden encontrarse en las aguas residuales son: bacterias, parásitos (protozoarios y helmintos) y virus. Estos organismos causan por lo general enfermedades del tracto gastrointestinal, como tifoidea y paratifoidea, diarrea, disentería y cólera.

Bacterias

A pesar de que existen muchos tipos de bacterias inofensivas que colonizan el tracto intestinal del hombre, existen casos donde individuos infectados con algún tipo de enfermedad excretan en sus heces bacterias patógenas, contaminando así las aguas residuales domésticas con una gran variedad de organismos tanto patógenos como inofensivos. Algunas de las principales y más peligrosas bacterias encontradas en las aguas residuales, así como las enfermedades que provocan, son la Salmonella (salmonelosis), Shigella (disentería bacilar), Vibrio cholerae (cólera) y Campylobacter jejuni (diarrea bacterial).

Protozoarios

Los protozoarios causantes de enfermedades de mayor interés son Cryptosporidium parvum, Cyclospora y Giardia lamblia debido a su impacto sobre individuos con deficiencias en su sistema inmunológico, como es el caso de niños pequeños, personas de edad avanzada y pacientes con cáncer o sida. Los protozoarios son de interés debido a su presencia en las aguas residuales y al hecho de que los sistemas convencionales de desinfección, que emplean cloro y radiación UV, no proveen efectiva inactivación o destrucción.

Helmintos

Los más importantes parásitos helmínticos que pueden encontrarse en aguas residuales son las lombrices intestinales, como la lombriz estomacal Ascaris lumbricoides, la tenia solitaria Taenia saginata y Taenia solium, los gusanos intestinales Trichuris trichiura, la lombriz intestinal Ancylostoma duodenale y la lombriz filiforme Strongyloides stercoralis. Los huevos y larvas de lombrices resisten condiciones ambientales desfavorables y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de aguas residuales, aunque algunos huevos pueden ser removidos mediante procesos convencionales de tratamiento como sedimentación, filtración y lagunas de estabilización.

Virus

Las excreciones del hombre pueden llegar a contener más de 100 clases diferentes de virus entéricos capaces de transmitir diversos tipos de infecciones. Estos virus se reproducen en el tracto intestinal de personas infectadas y son posteriormente expulsados en las heces. Los virus entéricos más importantes son enterovirus (polio, eco, coxsackie), virus Norwalk, rotavirus, reovirus, calcivirus, adenovirus y virus de hepatitis A.

La Tabla 1.3 muestra la composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas. (Todos los valores excepto los sólidos sedimentables se expresan en mg/L).

Tabla 1.3 Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas

Constituyente	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables, ml/L	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, a 5 días y a 20°C (DBO_5 a 20°C)	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P):	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como $CaCO_3$)	200	100	50
Grasa	150	100	50

Fuente: Metcalf & Eddy, INC, "Ingeniería Sanitaria", 1985.

1.2 Tratamientos más comúnmente empleados

Clasificación de los métodos de tratamiento

Los contaminantes presentes en las aguas residuales enlistados con anterioridad pueden eliminarse por medios físicos, químicos y biológicos. Individualmente, los métodos de tratamiento suelen clasificarse en operaciones y procesos. A lo largo del desarrollo de éstos métodos de tratamiento se ha considerado importante estudiar las bases científicas de cada uno de ellos por separado, ya que los principios básicos no varían.

Operaciones unitarias

Los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como operaciones unitarias. Los métodos físicos fueron los primeros en ser utilizados en el tratamiento de aguas, debido a que la mayoría han evolucionado directamente de las primeras observaciones de la naturaleza efectuadas por el hombre. Algunas de las operaciones unitarias típicas son el cribado, desarenación y sedimentación.

Cribado

El cribado se refiere a la operación unitaria que se encarga de retener sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual con la ayuda de una rejilla, la cual cuenta generalmente con aberturas de tamaño uniforme. Los elementos separadores en general son varillas de hierro. El emparrillado de la rejilla debe instalarse con cierta inclinación respecto al piso del canal donde es instalada y puede ser de dos tipos: de limpieza manual o de limpieza mecánica. Se recomienda instalar rejillas de limpieza manual cuando el caudal entrante es menor a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, en caso de que el caudal sea mayor o igual se recomiendan rejillas de limpieza mecánica.

En algunos casos existe la posibilidad de instalar un desmenuzador, que es un triturador mecánico que se encarga de homogenizar la basura que recibe, para que posteriormente ésta pueda ser removida por sedimentación o flotación.

Desarenación

Inmediatamente después de las rejillas para el cribado se colocan los desarenadores. El objetivo principal de separar la arena presente en el influente de aguas residuales, es evitar los depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías y desgaste en equipos mecánicos y electromecánicos, como las bombas. Deben ser construidos considerando principalmente los caudales en época de lluvias, pues es la época del año en que más arena es arrastrada por el agua.

Sedimentación

Sedimentación es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. Actualmente es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. El principal objetivo de esta operación es obtener un efluente clarificado, aunque también es importante producir un lodo con una concentración de sólidos manejable y que facilite su tratabilidad.

La sedimentación puede clasificarse en varios tipos, dependiendo principalmente de las características y concentraciones de la materia suspendida

Procesos unitarios (biológicos)

Los objetivos que persigue el 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 reducir el contenido orgánico y en algunos casos, nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

En la Tabla 1.4 se presenta un resumen de los principales procesos biológicos utilizados, así como sus usos en el tratamiento de las aguas residuales, y para cuya mejor comprensión es necesario citar algunas definiciones básicas sobre el tratamiento biológico; tales como:

Procesos aerobios: son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno.

Procesos anaeróbicos: Son los procesos del tratamiento biológico que no se dan en presencia de oxígeno.

Eliminación de la DBO carbonosa: Es la conversión biológica de la materia orgánica carbonosa del agua residual en tejido celular y diversos productos gaseosos. En la conversión se supone que el nitrógeno presente en los diversos compuestos se convierte en amoníaco.

Nitrificación: Es el proceso biológico de dos etapas por el cual el amoníaco se transforma primero en nitrito y luego en nitrato.

Desnitrificación: Es el proceso biológico por el que el nitrato se convierte en gas nitrógeno y otros productos gaseosos.

Estabilización: Es el proceso biológico en el que la materia orgánica de los lodos producidos en la decantación primaria y en el tratamiento biológico del agua residual se estabiliza, generalmente por conversión en gases y en tejido celular. Según se lleve a cabo la estabilización, bajo condiciones anaerobias o aerobias, el proceso se conoce como digestión anaerobia o aerobia.

Sustrato: Es el término utilizado para representar la materia orgánica o los nutrientes que sufren una conversión o que pueden constituir un factor limitante en el tratamiento biológico.

Procesos de cultivo en suspensión: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido.

Procesos de cultivo fijo: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, están fijados a un medio inerte tal como piedras, escorias o materiales cerámicos y plásticos, especialmente diseñados. Se conocen también como procesos de película fija.

Tabla 1.4 Principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento del agua residual

Tipo	Nombre común	Uso
Procesos aerobios: Cultivo en suspensión	Proceso de fangos activados: Convencional (flujo pistón) Tanque de mezcla completa Aireación graduada Oxígeno puro Aireación modificada Canales de oxidación	Eliminación de la DBO carbonosa y nitrificación
	Nitrificación de cultivos en suspensión	Nitrificación
	Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO carbonosa
	Digestión aerobia Aire convencional Oxígeno puro	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques aerobios de alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa
Cultivo fijo	Filtros percoladores Baja carga Alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa
	Filtros de pretratamiento	Eliminación de la DBO carbonosa
	Biodiscos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Reactores de lecho compacto	Nitrificación
Procesos combinados	Filtros percoladores	Eliminación de la DBO carbonosa
	Fangos activados	Eliminación de la DBO

		carbonosa
Procesos anóxicos		
Cultivo en suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación
Crecimiento fijo	Desnitrificación con cultivo fijo	
Procesos anaerobios		
Cultivo en suspensión	Digestión anaerobia Baja carga, una etapa Alta carga, una etapa Doble etapa	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
Cultivo fijo	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación DBO
	Filtro anaerobio	Desnitrificación
	Lagunas anaerobias (estanques)	Estabilización
Procesos aerobios, anóxicos o anaerobios:		
Cultivo en suspensión	Fase única Nitrificación-desnitrificación	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación
Crecimiento vinculado	Nitrificación-desnitrificación	Nitrificación, desnitrificación
Procesos combinados de cultivo fijo	Estanques facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques de maduración	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques anaerobios-facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques anaerobios-facultativos-aerobios	Eliminación de la DBO carbonosa

Fuente: Metcalf & Eddy, INC, “*Ingeniería Sanitaria*”, 1985. Adaptada por el autor.

Procesos unitarios (químicos)

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes es provocado por la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas se conocen como procesos químicos unitarios. La precipitación, transferencia de gases, adsorción y desinfección son ejemplos de los procesos mayoritariamente utilizados para el tratamiento del agua residual, aunque el más utilizado actualmente es el proceso de desinfección.

Desinfección

Consiste en la destrucción selectiva de los organismos patógenos que se encuentran en los efluentes de aguas residuales. En la actualidad, el método más común de desinfección del agua residual consiste en la adición de cloro.

Trenes de tratamiento

Un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable. Pueden hacerse muchas combinaciones de operaciones y procesos, pero a través de los años del desarrollo del tratamiento de aguas residuales, un agrupamiento general de estos ha evolucionado, gracias a su probada efectividad contra los contaminantes más importantes del agua residual.

Los sistemas de tratamiento se dividen normalmente en subsistemas primario, secundario y terciario.

Tratamiento primario

El objetivo del tratamiento primario es remover materiales sólidos del influente a la planta. Un sistema primario típico remueve aproximadamente la mitad de los sólidos suspendidos del influente a la planta, y la DBO asociada con estos sólidos es de aproximadamente 30% de la DBO del influente.

Componentes del tratamiento primario de aguas residuales

El agua residual contiene una variedad de sólidos de distintas formas, tamaños y densidades. Para su remoción se requiere una combinación de operaciones unitarias: cribado, desarenación y sedimentación de partículas. En la Figura 1.1 se presentan los componentes típicos de un sistema de tratamiento primario convencional. Se tiene un emisor de llegada, seguido de rejillas (y en algunos casos un desmenuzador), desarenadores para la separación de la arena, canal de aforo para medición del gasto, tanque de igualación para amortiguar las variaciones horarias de las descargas de agua residual con el fin de tratar un gasto uniforme, y finalmente, tanques de sedimentación primaria para separar los sólidos suspendidos.

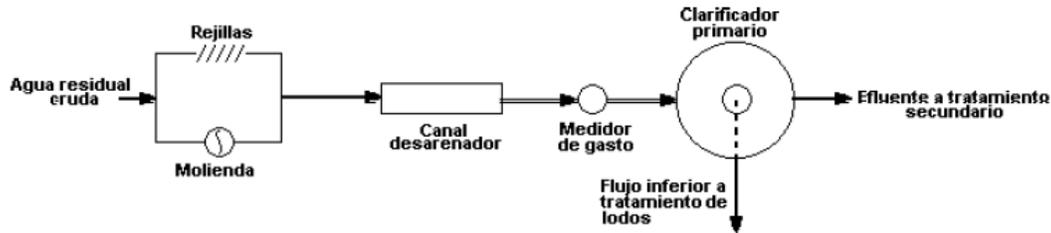


Figura 1.1 Sistema de tratamiento primario típico

Fuente: César Valdez Enrique, Vázquez González Alba B. “Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales”, 2003.

Tratamiento secundario

El efluente del tratamiento primario todavía contiene normalmente entre 40 y 50% de los sólidos suspendidos que contenía al momento de ser ingresado a la planta de tratamiento, y virtualmente todos los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos. A los procedimientos de remoción de compuestos orgánicos se le denomina tratamiento secundario, y se lleva a cabo mediante el empleo de una combinación de operaciones y procesos unitarios tales como coagulación, filtración, oxidación química, adsorción con carbono y otros procesos para remover sólidos y reducir la DBO a niveles aceptables. Debido a los altos niveles de inversión necesarios para la instalación de estos procesos, no se usan comúnmente. En cambio, se utilizan los procesos biológicos en prácticamente todos los sistemas municipales de tratamiento secundario.

Tratamiento biológico

En este tratamiento los microorganismos presentes en el agua residual utilizan los compuestos orgánicos como alimento y los transforman en células biológicas denominadas biomasa. Debido a la diversidad de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales, se requieren diversos tipos de microorganismos para llevar a cabo el tratamiento, pues cada tipo particular requiere la fuente de alimento más adecuada a su metabolismo. A esto se le llama cultivo mezclado. Este contiene además diversos tipos de depredadores, que son microorganismos que se encargan de devorar a otras especies. En general, todos los microorganismos presentes en el tratamiento biológico son los mismos que aquellos que degradan la materia orgánica en los ecosistemas de agua dulce, con la diferencia de que en una planta de tratamiento se llevan a cabo los procesos de auto depuración natural del agua mediante reactores cuidadosamente diseñados para optimizar la rapidez y terminación de la remoción de los compuestos orgánicos. La

biomasa resultante debe ser eliminada del agua residual para completar el proceso de tratamiento.

En el tratamiento biológico de aguas residuales pueden usarse varios tipos de reactores. En los sistemas de flujo continuo, los reactores pueden contener cultivos suspendidos o cultivos adheridos.

Sistemas de cultivo suspendido

En este tipo de sistema, los microorganismos se encuentran suspendidos en el agua residual, ya sea en racimos de células denominados “flóculos” o como células individuales. Existen 3 tipos principales de reactores para los sistemas de cultivo suspendido: completamente mezclados sin recirculación de lodos, completamente mezclados con recirculación de lodos y de flujo pistón sin recirculación de lodos. Los lodos consisten primordialmente en microorganismos y la recirculación de los mismos incrementa la biomasa del reactor y consecuentemente afecta de forma directa las tasas de producción de biomasa y consumo del sustrato.

Sistema de lodos activados

El proceso de lodos activados es un sistema de cultivo suspendido desarrollado en Inglaterra. Después de pasar al agua residual por un proceso de tratamiento primario, cuando se agita en presencia de oxígeno se forma un flóculo de lodo en el que se desarrollan muchas bacterias y organismos vivos, con lo cual el flóculo se vuelve activo, al oxidar y absorber materia orgánica. De lo anterior se deriva el nombre de “lodo activado”. En buenas condiciones, la carga de vida microscópica se posa rápidamente y arrastra consigo los sólidos en suspensión y un gran porcentaje de los que se hallan en estado coloidal. El término de recirculación de lodos se refiere al proceso de regresar al reactor a aquellos lodos que contienen microorganismos vivos o activos para incrementar la biomasa disponible y acelerar las reacciones que se llevan a cabo dentro del mismo. A la mezcla de las aguas a tratar y los lodos de retorno se le conoce como licor mezclado. El proceso de lodos activados puede ser un proceso completamente mezclado o un proceso de flujo pistón, mediante un proceso aerobio.

Estanques y lagunas

Otro tipo común de sistemas de cultivo suspendido son los estanques y las lagunas. Los estanques (conocidos también como estanques de estabilización, estanques de oxidación y lagunas de alcantarillado) consisten en grandes embalses contruidos de tierra con poca profundidad, los cuales retienen el agua residual el tiempo suficiente para que se lleve a cabo el proceso de purificación natural, otorgando a las aguas residuales un nivel de tratamiento aceptable. La diferencia entre estanques y lagunas es que en los estanques el oxígeno se obtiene por difusión desde la atmósfera y, en mayor medida, a través de la fotosíntesis, mientras que en las lagunas la aireación se lleva a cabo de forma artificial. Se asume entonces que los estanques y lagunas son reactores completamente mezclados sin recirculación de biomasa.

Sistemas de cultivo adherido

En este tipo de sistema, se pone en contacto al agua residual con películas microbianas adheridas a superficies. Se incrementa el área superficial para el crecimiento de la biopelícula colocando un medio poroso en el reactor. A pesar de las marcadas diferencias entre los sistemas de cultivo suspendido y cultivo adherido, el metabolismo de los microorganismos de las aguas residuales es notablemente similar, pues los microorganismos que se adhieren a las superficies sólidas del medio corresponden esencialmente a los mismos grupos que aquellos de los sistemas de lodos activados. Dichos microorganismos se adhieren por sí mismos al medio y crecen formando una película densa de naturaleza viscosa y pegajosa. En la superficie pegajosa de la película quedan retenidas las partículas suspendidas y coloidales, posteriormente se descomponen dando productos solubles. El crecimiento de la biopelícula se da en sentido contrario al medio de soporte. Conforme esta se hace más gruesa, la adherencia se debilita y el esfuerzo cortante ejercido por el agua residual que fluye termina por hacerla caer y deslavarla. La biopelícula se restablece rápidamente en los lugares donde se ha deslavado.

Existen 3 sistemas principales de cultivo adherido: filtros percoladores, bio-torres y, el más reciente, discos biológicos.

Sedimentación secundaria

La biomasa generada durante el tratamiento secundario representa una carga orgánica significativa que debe ser removida para que el efluente se ajuste a las normas oficiales mexicanas correspondientes. Para el caso de estanques y lagunas, la remoción se logra por sedimentación dentro del mismo reactor. En el caso de los sistemas de lodos activados y cultivo adherido los sólidos son removidos mediante el uso de sedimentadores secundarios. Debido a que las características de los sólidos biológicos en los sistemas de cultivo suspendido y adherido tienen diferencias significativas, el diseño y operación de los sedimentadores secundarios en estos sistemas también varían. El tratamiento en el sedimentador secundario es importante debido a la gran carga de sólidos y a la naturaleza esponjosa del flóculo biológico de los lodos activados, además de que el lodo reciclado debe ser bien espesado.

Los objetivos de los sedimentadores secundarios son: producir un efluente lo suficientemente clarificado para ajustarse a las normas nacionales de descarga y concentrar los sólidos biológicos para minimizar la cantidad de lodos que se deberán manejar. Deben diseñarse como parte integral del sistema de lodos activados.

Desinfección del efluente

La desinfección es el último paso del tratamiento secundario y lleva el propósito de destruir cualquier organismo patógeno que pudiera haber sobrevivido al proceso de tratamiento. Este paso es de particular importancia para casos en que el efluente es descargado en un cuerpo receptor que se utiliza para actividades recreativas o consumo humano en alguna comunidad localizada aguas abajo. La desinfección en el agua residual se lleva a cabo con cloro, utilizando una dosis de aproximadamente 10 mg/l para dejar 0.5 mg/l de cloro combinado residual en el efluente. Las ventajas de usar cloro son que es tóxico para microorganismo a concentraciones mucho menores que sus límites de toxicidad para los seres humanos y animales, tiene una tasa rápida de eliminación y persiste lo suficiente para evitar que se reproduzcan nuevamente los microorganismos. Para desinfección de volúmenes grandes se utiliza el cloro y para volúmenes pequeños se utiliza hipoclorito.

1.3 Legislación en materia de control de la contaminación del agua

El tema de la prevención y control de la contaminación de las aguas es tratado tanto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente (LGEEPA) como por la Ley de Aguas Nacionales. Para la regulación de esta materia, la LGEEPA destina el capítulo III del Título Cuarto, denominado “prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos” en donde las disposiciones que se presentan se refieren a la contaminación de aguas continentales y marítimas. En específico, el tratamiento y reúso de aguas residuales se encuentra regulado en diversas partes de dicho capítulo, en los cuales se considera la necesidad de tratar las aguas residuales, los sistemas de tratamiento de aguas residuales de origen urbano, la programación y construcción de obras para el tratamiento de aguas residuales industriales y el reúso de aguas residuales en la industria y en la agricultura. Por otra parte, la Ley de Aguas Nacionales destina un título en el que, primeramente, se desarrolla un catálogo de las atribuciones de la Comisión Nacional del Agua en este campo, y en segundo lugar, se establecen las normas para prevenir y controlar la contaminación del agua.

Tratamiento y reúso de aguas residuales – LGEEPA

En el artículo 92 de la LGEEPA se establece que son las autoridades las que deben promover, entre otras cosas, el tratamiento de aguas residuales y su reúso, con el objetivo de asegurar la disposición de agua y abatir los niveles de desperdicio, por lo cual, uno de los criterios en materia de prevención y control de la contaminación establecidos por la LGEEPA consiste en que el aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de generar contaminación conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para así lograr que el agua sea reintegrada en condiciones adecuadas para su uso en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas. Posteriormente, el artículo 129 establece que el otorgamiento de asignaciones, autorizaciones, concesiones o permisos para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en actividades económicas susceptibles de contaminar dicho recurso, estará condicionado al tratamiento previo necesario de las aguas residuales que se generen. Para reforzar el cumplimiento del artículo anterior existe el artículo 126, el cual establece que los sistemas de tratamiento de aguas residuales de origen urbano que diseñen, operen o administren los municipios, las autoridades municipales o el Gobierno de la Ciudad de México, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas.

En materia de reúso de aguas residuales, el artículo 128 estipula que las aguas residuales provenientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria y en la agricultura si se someten, en los casos que se requiera, al tratamiento que cumpla con las normas oficiales mexicanas.

Tratamiento y reúso de las aguas residuales – Ley de Aguas Nacionales

La ley de aguas nacionales establece la propiedad originaria de la nación sobre las tierras y aguas, y expresa que el dominio de ésta sobre las aguas nacionales es inalienable e imprescriptible. En el artículo 86 de la Ley de Aguas Nacionales se establecen las atribuciones de la Comisión Nacional del Agua:

- 1) Promover, y en su caso ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos de acuerdo con las normas oficiales respectivas y las condiciones particulares de descarga.
- 2) Formular y realizar estudios para evaluar la calidad de los cuerpos de agua nacionales.
- 3) Formular programas integrales de protección de los recursos hídricos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua.
- 4) Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales, de los distintos usos y usuarios.
- 5) Realizar la inspección y verificación del cumplimiento de las disposiciones de las normas oficiales mexicanas aplicables, para la prevención y conservación de la calidad de las aguas nacionales.
- 6) Vigilar, en coordinación con las demás autoridades competentes, que se cumplan las normas de calidad del agua en el uso de las aguas residuales.
- 7) Promover o realizar las medidas necesarias para evitar que basura, desechos, materiales y sustancias tóxicas, así como lodos producto de los tratamientos de aguas residuales, de la potabilización del agua y del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, contaminen las aguas superficiales o del subsuelo.
- 8) Ejercer las atribuciones que corresponden a la federación en materia de prevención y control de la contaminación del agua y de su fiscalización y sanción, en términos de ley.

En el artículo 87 se estipula que la Comisión Nacional del Agua es la encargada de determinar los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, las cuales se publican en el Diario Oficial de la Federación, lo mismo que sus modificaciones, para su observancia. Dichas declaratorias contienen la delimitación del cuerpo de agua clasificado, los parámetros que deberán cumplir las descargas según el cuerpo de agua clasificado conforme a los periodos previstos en el reglamento de la ley, la capacidad del cuerpo de agua clasificado para diluir y asimilar contaminantes y los límites máximos de descarga de los contaminantes analizados, base para fijar las condiciones particulares de descarga.

El resto de los artículos del Capítulo Séptimo tratan sobre las regulaciones de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como los casos de infiltración en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos, cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos. La idea general es que estas descargas requieren el permiso de la CONAGUA, pero ésta puede sustituir el permiso por un simple aviso mediante acuerdos de carácter general por cuenca, acuífero, zona, localidad o usos. También en el artículo 88 se especifica que el control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado municipal de los centros de población, que se viertan a cuerpos receptores, corresponde a los municipios. Otros aspectos importantes que se revisan en los restantes artículos de la Ley de Aguas Nacionales son el hecho de que la comisión puede ordenar la suspensión de las actividades que dan origen a las descargas de aguas residuales (en los casos especificados en el artículo 92) e incluso puede revocar el permiso de descarga de dichas aguas en los casos enlistados en el artículo 93, además de que es la encargada de realizar la inspección o fiscalización de las descargas de aguas residuales para verificar el cumplimiento de la ley, haciendo constar sus resultados en actas circunstanciadas que pueden servir de base para la aplicación de sanciones legales. Por último, es importante destacar que la explotación, uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de aguas residuales pueden motivar el pago de derechos.

Reglamentación para la prevención y control de la contaminación del agua y las normas oficiales mexicanas

La existencia de normas reglamentarias y técnicas permite la aplicación de las disposiciones legales enunciadas previamente. Las normas reglamentarias se encuentran enunciadas en el Título Séptimo del Reglamento, denominado Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas (artículos 133 a 156). Las normas técnicas son las que permiten la aplicación de las disposiciones legales sobre la materia y se encuentran contenidas en un conjunto de normas oficiales mexicanas.

En la Figura 1.2 se muestra el nivel de especificidad de la legislación nacional en materia de control de las descargas de aguas residuales, representado por un triángulo donde la parte superior corresponde a las disposiciones generales mientras que el vértice inferior corresponde a las disposiciones específicas.



Figura 1.2 Nivel de especificidad de la legislación nacional relativa al control de las descargas de aguas residuales

Fuente: César Valdez Enrique, Vázquez González Alba B. “Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales”, 2003.

Son 3 las normas oficiales mexicanas en materia de control de descargas de aguas residuales, cuya finalidad es prevenir y controlar la contaminación de las aguas y son de observancia obligatoria para aquellos responsables de las descargas. Las 3 normas oficiales son: NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997. Por otro lado, en lo que se refiere a sólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se dispone de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

NOM-001-ECOL-1996

Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

NOM-002-ECOL-1996

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

NOM-003-ECOL-1997

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

El reuso puede ser de 2 tipos: Reuso en servicios al público con contacto directo y reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional. Los primeros se refieren a reuso en aquel tipo de actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico y algunos ejemplos son llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje, esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines. El segundo se refiere a aquel tipo de actividades donde el público en general esté expuesto de forma indirecta o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o por personal de vigilancia. Algunos ejemplos son riego de jardines y camellones en autopistas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

NOM-004-SEMARNAT-2002.

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los 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, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

2. CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO

2.1 Características Físicas

La Ciudad de México se localiza en el centro del país, dentro del Valle de México y está dividida en 16 delegaciones. Tiene una altitud de 2,240 metros y una extensión territorial de $1,486.45\text{km}^2$, ocupando apenas el 0.1% de la superficie total del país, lo que la posiciona como la entidad más pequeña. Colinda al norte, este y oeste con el Estado de México y al sur con el estado de Morelos.

A partir del año 1970, la división política de la Ciudad de México incluye 16 delegaciones, cuyos nombres fueron tomados de personajes importantes y antepasados indígenas de la historia del país. La extensión territorial y proporciones de cada una se presentan en la Tabla 2.1 con su respectiva ubicación geográfica en la Figura 2.1

Tabla 2.1 Delegaciones políticas de la Ciudad de México y sus respectivas extensiones territoriales

Clave	Delegación	Territorio en km^2
002	Azcapotzalco	33.74
003	Coyoacán	53.92
004	Cuajimalpa de Morelos	70.81
005	Gustavo A. Madero	88.06
006	Iztacalco	23.18
007	Iztapalapa	113.46
008	Magdalena Contreras, La	63.51
009	Milpa Alta	287.5
010	Álvaro Obregón	95.88
011	Tláhuac	86.35
012	Tlalpan	308.71
013	Xochimilco	119.16
014	Benito Juárez	26.53
015	Cuauhtémoc	35.55
016	Miguel Hidalgo	46.31
017	Venustiano Carranza	33.78

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI

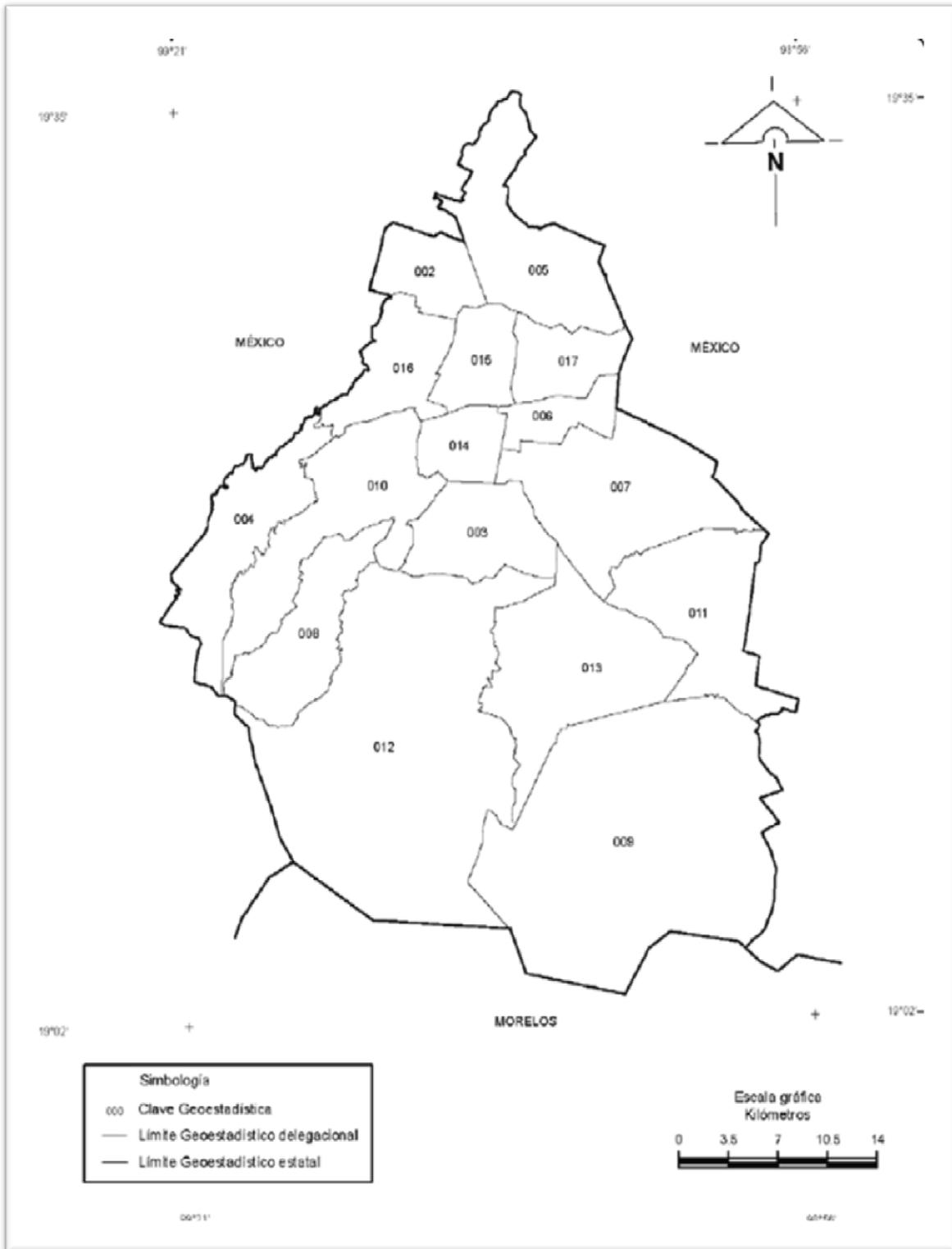


Figura 2.1 Ubicación geográfica de las delegaciones políticas de la Ciudad de México

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI

Orografía

El paisaje orográfico de la Ciudad de México tiene altitudes, desde 2240 metros sobre el nivel del mar en las áreas planas, como las delegaciones de Cuauhtémoc, Benito Juárez, Azcapotzalco e Iztacalco, hasta elevaciones que sobrepasan los 3700 metros sobre el nivel del mar, como en las delegaciones de Tlalpan, Milpa Alta, La Magdalena Conteras y Tláhuac. Las elevaciones principales de la Ciudad de México se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Elevaciones principales en la Ciudad de México

Elevaciones Principales	Altitud (msnm)
Ajusco	3930
Volcán Tláloc	3690
Volcán Pelado	3620
Cerro El Charco	3530
Volcán Cuautzin	3510
Volcán Chichinautzin	3490
Volcán Guadalupe	2820
Cerro del Chiquihuite	2730
Volcán Teuhtli	2710
Cerro de la Estrella	2450
Cerro de Chapultepec	2280
De la ciudad de México, DF	2240

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI

En la Ciudad de México existen 4 sierras importantes: al norte en forma de herradura se localiza la sierra de Guadalupe, al oeste y avanzando hacia el sur se localiza la sierra de las Cruces, al este se localiza la sierra de Santa Catarina, y finalmente al sur se localiza la sierra Ajusco-Chichinautzin.

Clima

Encontrándose a una altitud mayor a los 2,000 msnm, la Ciudad de México cuenta con 4 tipos de clima:

- Templado subhúmedo: ocupa más de la mitad de la superficie, con lluvias en verano, y normalmente presenta una temperatura media anual entre 12° y 18°C,

con un grado de humedad intermedio. La precipitación total anual se encuentra en un rango de 1200 a 1500 milímetros.

- Semifrío subhúmedo: se localiza hacia el suroeste de la ciudad, con lluvias en verano. El grado de humedad es alto y presenta una temperatura media anual entre 5° y 12°C, con una precipitación anual con rango mayor a 1200 mm
- Semifrío húmedo: Se localiza en el sureste de la ciudad, con abundantes lluvias en verano. Se considera la región más húmeda de la entidad. En esta zona se presentan temperaturas medias anuales entre los 5° y 12°C y se tiene una precipitación total anual en un rango mayor a 1200 mm al año.
- Clima semiseco templado: localizado principalmente en la zona noroeste, tiene como límite el vaso de Texcoco y representa apenas el 10% del territorio total de la ciudad. Presenta lluvias en verano y temperaturas medias anuales entre 12° y 18°C, con precipitación anual menor a 600 mm.

En la Tabla 2.3 se presenta la temperatura media anual registrada por las 3 estaciones meteorológicas de la Ciudad de México en el año 2010:

Tabla 2.3 Temperatura media anual en la Ciudad de México registrada en las 3 estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica	Temperatura (°C)
Tacubaya	15.6
El Guarda	9.4
San Juan de Aragón	16.5

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI

Hidrología

Cuando en el año de 1325 se fundó Tenochtitlán, el Valle de México contenía un lago en proceso de desecación por azolvamiento. Con el crecimiento de la ciudad, su conquista por los españoles y posterior florecimiento de la ciudad colonial, se aceleró la desecación del lago. A manera de canales surgieron varios ríos, como el río Churubusco, Consulado, Los Remedios y La Piedad, los cuales se sumaron a los que ya existían en las zonas montañosas del oeste y sur del Distrito Federal. Subsisten en la zona de Xochimilco y Tláhuac algunos canales que son vestigios de las áreas de chinampas, entre los cuales se encuentran los canales de Chalco, Nacional, Apatlaco y Santa Cruz.

En la Figura 2.2 se observa la ubicación geográfica de los cuerpos y corrientes de agua (ríos, lagos y arroyos) con los que cuenta la Ciudad de México, así como una distinción entre aquellos que están entubados y los que corren de forma superficial por el territorio de la ciudad.



Figura 2.2 Cauces en la Ciudad de México

Fuente: <http://ciudadanosenred.com.mx/node/19110>

En la Tabla 2.4 se presenta la precipitación media anual registrada por las 3 estaciones meteorológicas de la Ciudad de México en el año 2010:

Tabla 2.4 Precipitación media anual en la Ciudad de México registrada en las 3 estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica	Precipitación (mm)
Tacubaya	787.7
El Guarda	1343.7
San Juan de Aragón	586.9

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI

Estratigrafía General

La Ciudad de México está compuesta principalmente por rocas volcánicas y sedimentos de tipo lacustre. Las rocas volcánicas se originaron de los diferentes periodos de actividad tectónica y volcánica, los sedimentos lacustres provienen del sistema de lagos surgidos después del cierre de la cuenca. Los lagos en la Ciudad de México fueron formados por la acumulación de agua en depresiones y alimentados por agua de lluvia de temporada, sin embargo solo permanecían algún tiempo desapareciendo después a causa de la filtración y la evaporación ocasionada por el cambio en el clima. Estas condiciones climáticas originaron una acumulación de arenas, limos, arcillas, cenizas, además de clastos derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes rellenando la parte central de la cuenca. Actualmente los estratos en la cuenca son limo-arenosos, limo-arcillosos, clásticos y existen capas de cenizas y pómez producto de las erupciones volcánicas que sucedieron en el último millón de años. Los sedimentos depositados por los lagos resultaron en un perfil de capas dispuestas horizontalmente sobre la cuenca.

En las zonas altas de la cuenca se encuentran mantos de lava y material piroclástico y existen grandes depósitos de basalto, sobre todo en la zona sur. Al pie de las sierras se localizan grandes depósitos aluviales de composición muy variable. Debido a la forma en que se depositaron los clastos fluviales y aluviales, se produjo una intercalación con las arcillas. En las partes bajas, entre las sierras y principalmente en la región central de la cuenca, existen depósitos lacustres constituidos por ceniza volcánica con intercalaciones de pómez, arenas finas y limos. Entre estos depósitos se encuentran intercalados estratos de origen aluvial, o bien, se encuentran en contacto con las formaciones de las zonas altas. Las formaciones lacustres alcanzan un espesor de hasta 80 m.

Para efectos de construcción, existe un mapa de zonificación geotécnica de la Ciudad de México que está basado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. En dicho mapa se divide a la ciudad en 3 zonas: lomas, transición y lago.

- Lomas: se le llama de esta forma debido a que se localiza en las partes más altas de la ciudad. Con los deshielos a final de los periodos glaciares surgieron ríos y arroyos caudalosos los cuales generaron grandes depósitos fluviales que se reconocen en diferentes puntos de esta zona. La mayoría del suelo en esta zona está constituido por mantos de lava y material piroclástico. Los suelos de esta zona son muy resistentes.
- Lago: se le conoce de esta forma porque se localiza en zonas donde antiguamente existían los lagos de Texcoco y Xochimilco. El suelo en esta zona se caracteriza por estar constituido por una secuencia de arcillas muy blandas con alto contenido de agua.
- Transición: Es una combinación de las 2 zonas anteriores. Al pie de la zona de Lomas se reconocen abanicos aluviales formados a causa de los deshielos a finales de los periodos glaciales. Debido a la forma en cómo se depositaron los clastos fluviales y aluviales se produjo una intercalación con las arcillas.

En la Figura 2.3 se presenta la zonificación de la Ciudad de México de acuerdo al tipo de suelo:

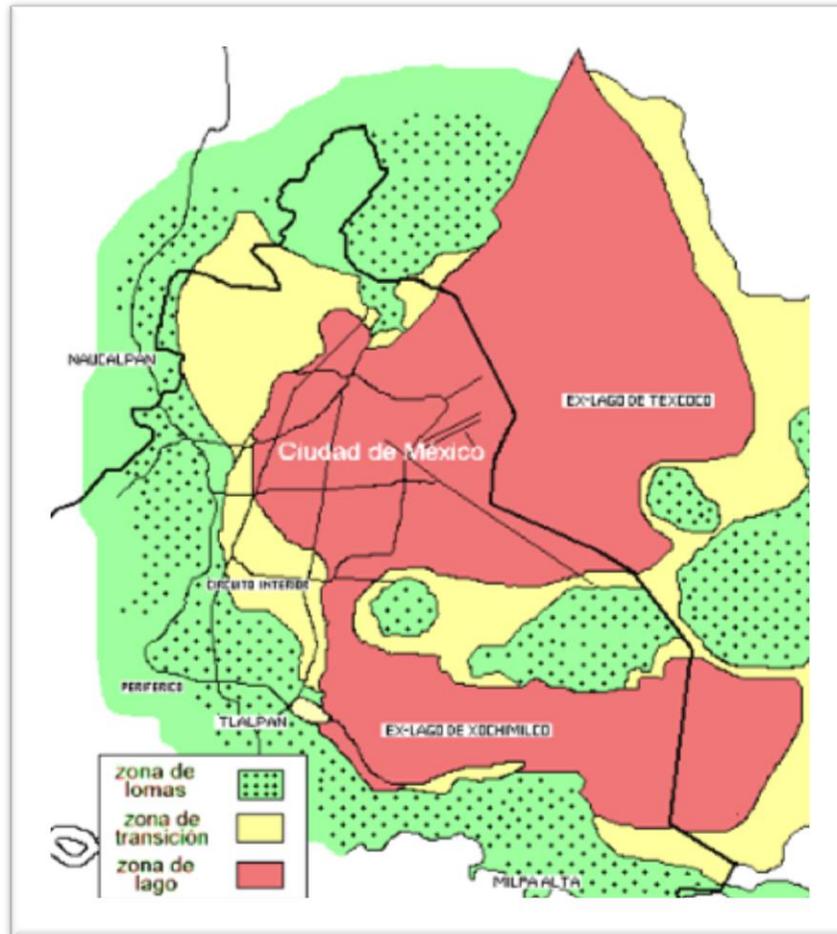


Figura 2.3 Zonificación de la Ciudad de México de acuerdo al tipo de suelo

Fuente:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/147/A7.pdf?sequence=7>

2.2 Características del Medio Socioeconómico

Población

Con base en el censo realizado en el año 2010, la Ciudad de México cuenta con una población de 8,851,080 habitantes. Esta entidad presenta la densidad de población más grande de todo el país, la cual es de $5920 \text{ hab}/\text{km}^2$, superando por mucho al Estado de México con la segunda mayor densidad poblacional el cual presenta de $679 \text{ hab}/\text{km}^2$

En la Tabla 2.5 se presenta la población por delegación en la Ciudad de México al año 2010.

Tabla 2.5 Población total por delegación según sexo, 2010

Delegación	Población	%
Azcapotzalco	727 064	8.2
Coyoacán	414 711	4.7
Cuajimalpa de Morelos	385 439	4.4
Gustavo A. Madero	620 416	7.0
Iztacalco	186 391	2.1
Iztapalapa	531 831	6.0
Magdalena Contreras, La	1 185 772	13.4
Milpa Alta	384 326	4.3
Álvaro Obregón	1 815 786	20.5
Tláhuac	239 086	2.7
Tlalpan	372 889	4.2
Xochimilco	130 582	1.5
Benito Juárez	360 265	4.1
Cuauhtémoc	650 567	7.4
Miguel Hidalgo	430 978	4.9
Venustiano Carranza	415 007	4.7
TOTAL	8 851 080	100

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI,
Adaptada por el autor

Vivienda

En la Tabla 2.6 se presentan las viviendas ocupadas y sus habitantes por delegación según el tipo de vivienda. Al año 2010 se tenía un promedio de 3.6 habitantes por vivienda particular.

Tabla 2.6 Viviendas ocupadas en la Ciudad de México por delegación, 2010

Delegación	Viviendas Habitadas		
	Total	Particulares	Colectivas
Álvaro Obregón	197 926	197 863	53
Azcapotzalco	117 264	117 237	27
Benito Juárez	141 203	141 117	86
Coyoacán	180 946	180 862	84
Cuajimalpa de Morelos	47 897	47 890	7
Cuauhtémoc	173 907	173 804	103
Gustavo A. Madero	320 756	320 663	93
Iztacalco	104 406	104 392	14
Iztapalapa	460 747	460 691	56
La Magdalena Contreras	63 267	63 255	12
Miguel Hidalgo	120 186	120 135	51
Milpa Alta	31 820	31 820	0
Tláhuac	91 254	91 242	12
Tlalpan	176 086	175 983	103
Venustiano Carranza	123 327	123 317	10
Xochimilco	102 778	102 750	28

**Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI,
Adaptada por el autor**

Educación

Datos generales

- Proporción de la población analfabeta de 15 años y más: 2.1 %
- Proporción de la población de 5 a 14 años que asiste a la escuela: 95.9%
- Proporción de la población con 15 años y más con instrucción postprimaria: 78.8%
- Grado promedio de escolaridad en grados promedio cursados: 10.5

En la Tabla 2.7 se presentan las características generales del sector educativo de la Ciudad de México, al año 2010.

Tabla 2.7 Características del sector educativo de la Ciudad de México, 2010

Nivel educativo	Escuelas	Alumnos (miles)	Maestros	Lugar a nivel nacional
Unidades	10 381	2 813.1	187 249	1°
Educación básica	8 482	1 715.3	81 114	14°
Educación media superior	683	438.6	34 888	1°
Educación superior	696	484.9	66 957	3°
Capacitación para el trabajo	520	174.3	4 290	17°

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI, Adaptada por el autor

Salud

Datos generales:

- Total de defunciones en el año 2011: 66 383 habitantes
- Principales causas de defunciones en el año 2011: Enfermedades del corazón, diabetes y tumores malignos.
- Total de hospitales en la Ciudad de México, 2011: 253 hospitales generales y 34 hospitales de especialidades.
- Médicos por cada mil habitantes: 3.1

Trabajo

Datos generales:

- Tasa neta de participación económica, año 2012 (proporción de la población disponible para la actividad económica): 62.9%
- Tasa de ocupación, año 2012 (proporción de la población económicamente activa ocupada en el trabajo): 93.6%
- Población económicamente activa, año 2012: 62.9%
- Porcentaje de la población económicamente activa ocupada, año 2012: 93.6%

- Porcentaje de la población económicamente activa desocupada, año 2012: 6.4%

Porcentajes de ocupación de la población ocupada por sector al año 2012:

- Porcentaje de la población ocupada en sector primario: 0.4%
- Porcentaje de la población ocupada en sector secundario: 17.7%
- Porcentaje de la población ocupada en sector terciario: 81.7%

Información económica agregada

Producto Interno Bruto (PIB): El producto interno bruto constituye la suma de los valores monetarios de los bienes y servicios producidos durante un periodo determinado y es un valor de duplicaciones libre, el cual corresponde a la suma del valor agregado que se genera durante un ejercicio en todas las actividades de la economía. El producto interno bruto de la Ciudad de México de los años 2003 a 2011 se presenta en la Tabla 2.8 y los valores del producto interno por sector de actividad económica en el año 2011 en la Tabla 2.9

Tabla 2.8 Producto Interno Bruto Total, 2003-2011

Año	Producto Interno Bruto Total	
	Miles de pesos constantes	Porcentaje en el total nacional
2003	1 325 151 578	18.5
2004	1 368 286 880	18.4
2005	1 404 695 021	18.2
2006	1 472 402 931	18.2
2007	1 517 059 079	18.1
2008	1 524 067 054	18.0
2009	1 449 226 567	18.2
2010	1 501 610 700	17.9
2011	1 552 226 253	17.8

**Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI,
Adaptada por el autor**

Tabla 2.9 Estructura sectorial del Producto interno bruto en la Ciudad de México, del año 2011 (a precios de 2003)

Sector	Valor (miles de pesos)
Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	1 149 036.5
Minería	73 498.3
Electricidad, agua y suministro de gas	11 762 014.3
Construcción	96 463 276.0
Industrias manufactureras	240 042 558.4
Comercio	452 641 702.5
Transportes, correos y almacenamiento	213 860 337.6
Información en medios masivos	151 072 593.3
Servicios financieros y de seguros	264 121 423.6
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	196 380 620.4
Servicios profesionales, científicos y técnicos	178 422 257.2
Dirección de corporativos y empresas	46 171 675.4
Servicios de apoyo a los negocios	116 263 085.9
Servicios educativos	106 074 934.2
Servicios de salud y asistencia social	89 471 825.4
Servicios de esparcimiento, culturales, deportivos y otros servicios recreativos	11 946 531.4
Servicios de alojamiento temporal y preparación de comida y bebida	46 952 687.8
Otros servicios, excepto actividades del gobierno	73 869 824.0
Actividades del gobierno	165 455 569.1
Servicios de intermediación financiera medidos indirectamente	-170 754 516.5

**Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI,
Adaptada por el autor**

Agropecuaria y aprovechamiento forestal

En la Tabla 2.10 se presentan las características principales de la superficie en unidades de producción y uso de suelo, tanto nacional como de la entidad, en concordancia con los datos obtenidos en el año 2007.

Tabla 2.10 Características principales de la superficie en unidades de producción en la Ciudad de México, 2007

CONCEPTO	NACIONAL		CIUDAD DE MÉXICO	
	Hectáreas	Estructura %	Hectáreas	Estructura %
Superficie en unidades de producción	112 349 110	100.0	26571	100.0
Con actividad agropecuaria o forestal	68 435 603	60.9	19692	74.1
Sin actividad agropecuaria o forestal	43 913 507	39.1	6 879	25.9
Uso del suelo				
De labor	31 190 141	27.8	18 967	71.4
Con pastos no cultivados	75 116 221	66.9	6008	22.6
Con bosque o selva	3 918 827	3.5	458	1.7
Sin Vegetación	2 123 827	1.9	1 139	4.3
Tenencia de la tierra				
Ejidal	37 009 820	32.9	6 687	25.2
Comunal	3 783 889	3.4	9 928	37.4
Privada	69 672 269	62.0	9 956	37.5
Colonia	1 390 552	1.2	0	0.0
Pública	492 580	0.4	1	NS
Derechos sobre la tierra				
Propia	106 061 496	94.4	22 884	86.1
Rentada	2 644 163	2.4	2 539	9.6
A medias o aparcería	659 426	0.6	146	0.5
Prestada	1 553 163	1.4	882	3.3
Otros	1 430 561	1.3	121	0.5

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI

En la Tabla 2.11 se presenta la situación actual del país y de la entidad en cuanto a ejidos y comunidades agrarias, ejidatarios y superficie ejidal:

Tabla 2.11 Datos generales de ejidos en la Ciudad de México

CONCEPTO	NACIONAL	ENTIDAD
Ejidos y comunidades agrarias (número)	31 514	37
Ejidatarios y comuneros (número)	4 210 830	29 007
Con parcela individual (%)	80.6	51.1
Superficie ejidal o comunal (hectáreas)	105 948 306	56 769
Parcelada (hectáreas)	33 628 597	10 119
Con uso agrícola (%)	56.4	85.7
Con disponibilidad de riego (%)	11.2	0.6
No parcelada (hectáreas)	70 669 717	45 898
Uso común (hectáreas)	69 298 787	44 155
Con uso agrícola (%)	6.1	14.4
Con pastos no cultivados (%)	57.6	4.2
Asentamiento humano (hectáreas)	1 370 930	1 743
Otras superficies (hectáreas)	1 649 958	752
Superficie agrícola (hectáreas)	23 215 845	15 029
Participación respecto a superficie total (%)	21.9	26.5
Superficie agrícola por ejido (hectáreas)	737	406
Ejidatarios y comuneros por ejido (número)	134	784

Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI

Industria

Las características económicas del sector de industrias manufactureras, según los principales subsectores de actividad en el año 2008 se presentan en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Características seleccionadas del sector de industrias manufactureras según principales subsectores de la actividad, 2008

SUBSECTOR	UNIDADES ECONÓMICAS (%)	PERSONAL OCUPADO (%)	REMUNERACIONES TOTALES (%)	ACTIVOS FIJOS (%)	VALOR AGREGADO CENSAL BRUTO
Industria química	2.2	16.7	34.5	27.8	53 456 418
Industria alimentaria	33.2	17.7	9.1	13.5	17 517 871
Industria de bebidas y tabaco	4.2	3.4	5.1	10.8	13 494 401
Fabricación de prendas de vestir	6.9	8.4	4.8	1.9	6 353 174
Impresión e industrias conexas	13.0	9.4	5.7	8.8	6 119 495
Industrias metálicas básicas	0.4	0.8	0.6	2.2	5 356 689
Fabricación de accesorios y aparatos eléctricos	0.7	3.5	4.3	2.2	5 314 689
Industria del plástico y del hule	2.8	6.7	5.4	7.4	5 082 516
Los demás subsectores	36.6	33.4	30.6	25.5	17 629 449
			(Miles de pesos)		
TOTAL	30 934	404 772	39 949 514	106 953 330	130 324 236

Fuente: Fuente: Perspectiva estadística del Distrito Federal diciembre 2012 - INEGI, Adaptada por el autor

2.3 Servicios

Abastecimiento de agua potable

Datos generales:

- Agua suministrada en l/s: 33,000
- Porcentaje desinfectado para consumo humano: 98.3%
- Dotación de agua por habitante en litros por habitante por día: 322
- Porcentaje de viviendas en la Ciudad de México con servicio de agua entubada: 96.9%

Alcantarillado y tratamiento de aguas residuales

Datos Generales:

- Porcentaje de viviendas en la ciudad de México con servicio de drenaje: 99%
- Agua residual generada en la Ciudad de México en l/s: 22,462
- Agua residual colectada en la Ciudad de México en l/s: 22,121
- Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación: 23
- Capacidad instalada de tratamiento en l/s: 6,770.5
- Caudal tratado de aguas residuales en l/s: 3,329.8
- Cobertura de tratamiento: 15.1%
- Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales: 152
- Capacidad instalada de tratamiento en l/s: 546.2
- Participación respecto al agua residual generada: 0.6%
- Agua Facturada en millones de pesos: 6,986.7
- Porcentaje de recaudación: 68%

Energía eléctrica

Datos generales:

- Porcentaje de viviendas en la Ciudad de México con servicio de Energía eléctrica: 99.5%

Residuos sólidos

Recolección

En la Ciudad de México se generan diariamente alrededor de 12,000 toneladas de residuos sólidos, las cuales son recolectadas por medio de un parque vehicular integrado por 2 mil 90 unidades recolectoras, con distintas capacidades que van de los 0.5 hasta los 18 m³ dependiendo del tipo de contenedor que transporten o del tipo de vehículo y una plantilla de personal de más de 17 mil trabajadores de las 16 Delegaciones del Distrito Federal.

Transferencia

La Ciudad de México cuenta con trece estaciones de transferencia, que son instalaciones intermedias entre las diversas fuentes generadoras de residuos sólidos y las plantas de selección o el sitio de disposición final; su objetivo principal es incrementar la eficiencia del servicio de recolección, en la medida que los vehículos recolectores reducen los tiempos para la descarga de sus residuos, ya que en vez de trasladarse hasta las plantas de selección o los sitios de disposición final, recurren a la estación de transferencia ubicada en su demarcación o bien, a la más cercana a su ruta de trabajo, para descargar sus residuos en los tractocamiones que transportan un volumen equivalente a 4 ó 5 camiones recolectores, ya sea a las plantas de selección o al sitio de disposición final.

Selección

El Distrito Federal cuenta actualmente con tres plantas de selección de residuos urbanos mezclados, con capacidad instalada conjunta de 6,500 toneladas por día. Estas tres plantas se ubican en Bordo Poniente, San Juan de Aragón y Santa Catarina. En estas instalaciones se recuperan más de 20 materiales reciclables que son comercializados en la Ciudad de México y sus alrededores por los gremios de selectores; el material no recuperado o rechazado, se transporta al Sitio de Disposición Final Bordo Poniente.

Disposición Final

La Dirección General de Servicios Urbanos es la responsable de la disposición final de los residuos sólidos generados en el Distrito Federal, teniendo actualmente como único sitio para tal fin el Relleno Sanitario Bordo Poniente, IV etapa. Actualmente tiene una recepción diaria de aproximadamente 12,000 toneladas al día, de residuos sólidos.

Transportes y Comunicaciones

Datos generales:

- Unidades de flota vehicular de carga: 121,168
- Unidades de flota vehicular de pasaje: 27,897
- Aeropuertos internacionales: 1
- Aeronaves comerciales: 212
- Pasajeros de la aviación comercial: 24,119,294
- Oficinas postales en operación por cada 100 mil habitantes: 15.3
- Oficinas telegráficas en operación por cada 100 mil habitantes: 1
- Estaciones radiodifusoras: 62
- Estaciones televisoras: 11
- Líneas telefónicas por cada 100 habitantes: 47.1

2.4 Sistema Hidráulico de la Ciudad de México

Sistema de abastecimiento de agua potable

Para atender la demanda actual de agua potable de los habitantes de la Ciudad de México, es necesario suministrar un caudal de alrededor de 32 m³/s, con una dotación por habitante de 322 l/hab/día.

De los 32 m³/s suministrados diariamente a la ciudad, se desinfecta para consumo humano el 98.3%

La Ciudad de México cuenta actualmente con 41 plantas potabilizadoras en operación, con una capacidad instalada de tratamiento de 3,958.5 litros por segundo.

El agua suministrada a la ciudad proviene de fuentes subterráneas y superficiales, ubicadas tanto en el interior de la ciudad como en fuentes externas, principalmente en el Estado de México. En la Tabla 2.13 se presentan las principales fuentes de abastecimiento.

Tabla 2.13 Fuentes de abastecimiento de la Ciudad de México al año 2008

Fuentes de abastecimiento	Municipios de los que se abastece	Caudal promedio de abastecimiento (m ³ /s)
Fuentes externas a la Ciudad de México		
Fuentes operadas por la Gerencia de Aguas del Valle de México		
Sistema Cutzamala	Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Donato Guerra, Villas de Allende, Villa Victoria, Almoloya de Juárez, Toluca, Estado de México	9.575
Sistemas Barrientos y Risco	Tultitlan, Cuautitlán, Tlalnepantla, Estado de México	2.239
Sistema de Aguas del Sur	Milpa Alta, Tláhuac, Valle de Chalco y La Paz, Estado de México	0.382
SUBTOTAL		12.196
Fuentes operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México		
Sistema Lerma	Lerma, Ocoyoacac, Oztolotepec, San Lorenzo Oyamel, Temoaya, Xonacatlan, Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Calpuhuac, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Joquicingo, San Pedro Techuchulco, Santa Cruz Atizapán y Santiago Tianguistenco, Estado de México	3.832
Sistema Chiconautla	Ecatepec, Tecamac, Acolman, Estado de México	1.402

SUBTOTAL		5.234
Fuentes ubicadas dentro de la Ciudad de México		
Fuentes operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México		
Pozos a la red norte	Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Ciudad de México	1.037
Pozos a la red centro	Benito Juárez, Cuauhtémoc, Coyoacán, Ciudad de México	2.037
Pozos a la red sur	Milpa Alta, Tláhuac, Xochimilco, Ciudad de México	7.853
Pozos a la red oriente	Iztacalco, Iztapalapa, Venustiano Carranza, Ciudad de México	2.773
Pozos a la red poniente	Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Tlalpan, Ciudad de México	0.213
Río Magdalena	Magdalena Contreras, Ciudad de México	0.203
Manantiales	Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Tlalpan, Ciudad de México	0.792
SUBTOTAL		14.908
TOTAL A LA CIUDAD DE MÉXICO		32.338

Fuente:

http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=86%3Afuentes-de-abastecimiento&catid=57%3Aimpactos-en-la-vida-cotidiana&Itemid=415

Infraestructura para el abastecimiento de agua potable en la Ciudad de México:

- Longitud aproximada de la red primaria de abastecimiento: 1,048 km
- Longitud aproximada de la red secundaria de abastecimiento: 12,278 km
- Longitud aproximada de acueducto perimetral: 34 km
- Tanques de almacenamiento: 295
- Plantas de bombeo: 254

Problemática actual de la red

- Se calcula que alrededor del 35% del agua suministrada se pierde a través de las fugas en la red.

- Las tuberías que conforman a las redes de distribución tienen una edad promedio de 50 años, haciéndolas propensas a la falla.
- La constante sobreexplotación de los acuíferos causa que el suelo de la ciudad se deforme constantemente, fracturando y dislocando las tuberías que conforman la red, al mismo tiempo que crea pendientes negativas, causando la necesidad de inversión en plantas de bombeo para vencer los desniveles.

Sistema de drenaje de la Ciudad de México

El sistema de drenaje de la Ciudad de México es un sistema complejo cuya finalidad es captar las aguas residuales y transportarlas afuera de la ciudad, a través de las instalaciones de red secundaria, red primaria y salidas artificiales. En la ciudad de México se tiene una generación de aguas residuales de alrededor de 22.5 m³/s. A continuación se presentan datos generales de la infraestructura existente de drenaje en la Ciudad de México:

- Longitud Red Primaria: 2,087 km
- Longitud Red Secundaria: 10,237 km
- Longitud colectores marginales: 144 km
- Plantas de bombeo urbanas: 87
- Tanques de tormenta: 10
- Presas: 21
- Lagunas y lagos de regulación: 10
- Longitud total del drenaje profundo: 165 km

En la Tabla 2.14 se presentan datos generales sobre el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Tabla 2.14 Datos generales de componentes del drenaje profundo de la Ciudad de México

Nombre del túnel	Diámetro (m)	Capacidad de conducción (m ³ /s)	Profundidad promedio (m)	Longitud Proyecto (km)	Longitud Operación (km)
Emisor Central	6.5	220	40-220	50	50
Interceptores					
Central	5	90	22-41	22.28	16.1

Oriente	5	85	20-50	28	28
Oriente-Sur	5	40	20-25	13.8	13.8
Centro-Poniente	4	40	22-51	16	16
Poniente	4	25	20-40	16.2	16.2
Centro-Centro	5	90	26	3.7	3.7
Oriente-Oriente	5	40	20	7.3	3.4
Iztapalapa	3.1	20	16	5.5	5.5
Canal Nacional – Canal de Chalco	3.1	20	18	16.3	11.64
Obrero Mundial	3.2	20	16	0.8	0.8
Gran Canal	3.1	90	--	1.01	1.01
Indios Verdes	3.1	--	15-28	2.76	--
Ermita	3.1	--	16	6.58	--
Cuautepec	3.1	--	--	1.82	--

Fuente:<http://cuencavalledemexico.com/informacion/cuenca-del-valle-de-mexico/situacion-del-recurso-hidrico-2/alcantarillado/>

Con la infraestructura descrita, actualmente siguen existiendo grandes riesgos de inundación en la ciudad de México, por lo que se optó por la construcción del Túnel Emisor Oriente para aumentar la capacidad del sistema de drenaje actual.

El proyecto consiste en la construcción de un túnel de 62 km de longitud y 7 metros de diámetro, con capacidad para conducir hasta 150 m³/s. El túnel trabajará por gravedad y recibirá las aguas residuales y pluviales provenientes de los túneles interceptor oriente y del interceptor Río de los Remedios, cuyos caudales se juntarán en la denominada lumbrera 0 del TEO. Junto con el emisor central conducirá las aguas residuales de la Ciudad de México a la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco (en construcción), la cual tendrá capacidad de tratamiento de 23 m³/s durante el estiaje, con un módulo adicional para tratar 12 m³/s durante la época de lluvias, a través de un proceso físico - químico. En la Figura 2.4 Se presenta el trazo general del Túnel Emisor Oriente en relación al existente emisor central.

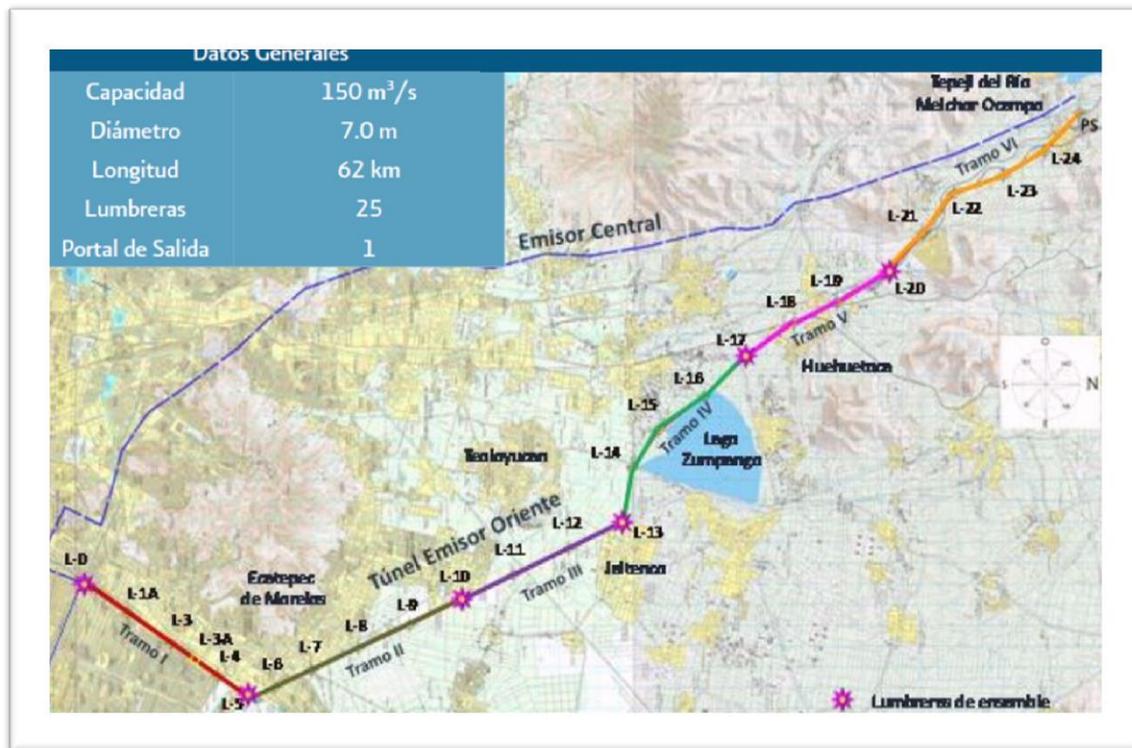


Figura 2.4 Trazo del Túnel Emisor Oriente

Fuente: Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012

Con la construcción de este túnel se tendrán los siguientes beneficios:

- Incremento en la capacidad de drenaje de 150 m³/s.
- Permitirá flexibilidad en la operación del sistema de drenaje para reparación y mantenimiento del drenaje profundo, alternando su funcionamiento con el Emisor Central.
- Evitará grandes daños a vivienda e infraestructura en general por debido a inundaciones.

3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

3.1 Descripción del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en la Ciudad de México

A partir de 1956 cuando se puso en marcha la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “Chapultepec”, primera planta de tratamiento en el Distrito Federal y en la República Mexicana, se aprovecharon y reusaron aguas tratadas. La construcción de la planta obedeció a la necesidad de aprovechar las aguas residuales generadas en la Ciudad de México, con la finalidad de utilizar agua tratada en usos donde no es requerida agua de calidad potable, y de esta forma reducir costos en abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México.

El agua producida por la PTAR “Chapultepec” se utilizó principalmente para el riego de áreas verdes de parques y áreas públicas. A finales de la década de los años cincuentas del siglo pasado se inauguraron las PTAR. “Ciudad Deportiva”, “San Juan de Aragón” y “Coyoacán”, las cuales continúan en servicio y son elementos muy importantes en el actual sistema de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de México.

En la década de los setentas del pasado siglo, se dio un notable impulso al desarrollo del sistema de tratamiento de aguas residuales con motivo del inicio de la operación de la PTAR “Cerro de la Estrella”, que en su momento fue la planta más grande de la República Mexicana. Hasta el año 1988 se tenían en servicio 9 plantas de tratamiento las cuales resultan insuficientes para cubrir las necesidades de tratamiento del agua residual.

En unidades habitacionales como: Nonoalco-Tlatelolco, El Rosario, Picos-Iztacalco, Pemex-Picacho o fraccionamientos como Acueducto de Guadalupe y Bosques de Las Lomas se construyeron plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales no funcionaron adecuadamente o estaban en estado de abandono, por lo que en su momento fueron donadas al entonces Departamento del Distrito Federal, para ser rehabilitadas y puestas en funcionamiento.

El control de la contaminación en las barrancas de la zona sur del D.F. y zona lacustre de Xochimilco, motivó durante la década de los noventas, la construcción de 10 plantas de tratamiento para el saneamiento y control de la contaminación; además se terminó la construcción del cuarto módulo de proceso de la planta “Cerro de la Estrella”.

En esa misma década, se dio un notable impulso al uso de agua tratada, no solo para el riego de áreas públicas, también en áreas privadas como clubes de golf y deportivos, que en su momento rechazaban este recurso por desconocimiento de sus cualidades, también se inició la promoción en industrias y servicios de lavado de vehículos.

A fin de eficientar la operación de las instalaciones y aprovechar la experiencia de la industria privada en la comercialización se concesionaron 4 plantas de tratamiento: San Juan de Aragón, Coyoacán, Ciudad Deportiva y Acueducto de Guadalupe, de estas, las tres últimas se mantienen operando en este mismo esquema y a partir del año 2012, la P.T.A.R. "Santa FE", se encuentra concesionada.

Las últimas tres instalaciones construidas: San Lorenzo, El Llano y Santa Martha, con una capacidad conjunta de 489 lps, fueron diseñadas para remoción de nutrientes en el agua tratada, en el caso de Santa Martha su efluente es utilizado para contacto indirecto, ya que se utiliza en sanitarios del CEFERESO.

Actualmente se encuentra en construcción una P.T.A.R. de 50 lps de capacidad, esta planta forma parte de los trabajos de rescate de los Ríos Magdalena y Eslava.

Actualmente el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) cuenta con 25 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, los principales usos del agua tratada son:

- Riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos: consume aproximadamente el 45 % del agua tratada producida por el SACMEX.
- Riego Agrícola: 35 %
- Uso industrial y comercial: 20 % (incluye lavado de vehículos, desazolves, industrias textiles, metalmecánicas, papeleras, farmacéuticas, usos sanitarios)

Infraestructura

De acuerdo con el tipo de tratamiento, las 25 plantas que opera el SACMEX se dividen como sigue:

- 17 plantas de tratamiento a nivel secundario, por el proceso convencional de lodos activados o alguna de sus modificaciones (Chapultepec, Bosques de las Lomas, Tlatelolco, San Juan de Aragón, Pemex-Picacho, Abasolo, Xicalco, Parres, Reclusorio Sur, La Lupita, San Nicolás Tetelco, San Andrés Mixquic, San Lorenzo, Santa Martha, Acueducto de Guadalupe, Ciudad Deportiva y Coyoacán).
- 4 plantas de tratamiento terciario, teniendo como base el proceso convencional de lodos activados y filtración en medio dual (Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco, San Pedro Atocpan y Mixquic)
- 3 plantas de tratamiento terciario, teniendo como base: el proceso convencional de lodos activados, filtración en arena o Zeolita y adsorción en carbón activado (Picos Iztacalco, El Rosario y Santa Fe).

- 1 planta de tratamiento primario, reactor anaeróbico en flujo ascendente (Rastro Milpa Alta, fuera de servicio).

En todas las instalaciones se cuenta con pretratamiento para eliminar arenas y material flotante, la desinfección se lleva a cabo por medio de cloración.

Para el abasto de agua residual a las plantas se dispone de:

- 6 rebombes de agua residual
- 16 km de líneas de conducción de agua residual a presión

Para la distribución del agua tratada se tienen:

- 174 km de red primaria de agua residual tratada
- 680 km de red secundaria de agua residual tratada
- 14 Rebombes de agua residual tratada (no se incluyen los operados por otras instituciones)
- 12 tanques de almacenamiento
- 13 cuellos de garza.
- 2 cárcamos de agua tratada

Operación y Mantenimiento

Las plantas son operadas de forma manual con la ayuda de los laboratorios de control de proceso instalados en las principales plantas; la calidad del agua producida es analizada de forma quincenal por el Laboratorio Central de Control de la Calidad, que además vigila que se cumpla con los criterios y normas que regulan las descargas de agua tratada y su uso.

Las plantas de tratamiento continúan utilizando los procesos con los que fueron diseñadas, en algunos casos se han llevado a cabo modificaciones que permiten mejorar la calidad del producto terminado (Tlatelolco, Reclusorio Sur, San Pedro Atocpan, San Andrés Mixquic y Cerro de la Estrella) además de optimizar el proceso y reducir los costos de tratamiento.

El sistema de tratamiento de aguas residuales funciona las 24 horas del día los 365 días del año, para lo cual se emplean 536 personas, entre operadores, personal de mantenimiento, administrativo y técnico; distribuidos en tres turnos de trabajo y días festivos.

Las actividades del personal operativo comprenden entre otras:

- Supervisión del funcionamiento de equipos electromecánicos.
- Maniobras y supervisión del funcionamiento de los diferentes tanques de proceso, los cuales incluyen sedimentadores, clarificadores, reactores biológicos, dosificadores de reactivos químicos, filtros, desarenadores, estaciones de bombeo, cloración, desinfección con luz ultra violeta, tratamiento de lodos.
- Mantener el orden y limpieza dentro de las áreas de trabajo.
- Maniobras operativas como: manejo de válvulas, arranque y paro de equipos, purgas de lodos excedentes, control de niveles y gasto.
- Registro de actividades diarias y de novedades dentro de la instalación.
- Supervisión operativa de niveles en canales, descargas de agua tratada y funcionamiento de estaciones de bombeo.
- Informe de novedades y equipo en mal estado.
- Reparación de fugas
- Atención a quejas por faltas de agua o baja presión.

El personal de mantenimiento se encarga de las reparaciones a los equipos electromecánicos dañados por el uso, a las instalaciones civiles, parque vehicular, entre las cuales se pueden listar:

- Reparación e instalación de equipo de bombeo de diferentes capacidades y tipos, que van desde 1 hasta 1250 HP, los cuales pueden ser verticales u horizontales.
- Revisión de motores y líneas de conducción de energía eléctrica, reparaciones en caso de ser necesario, los voltajes que se manejan van desde 127 hasta 23 000 volts.
- Mantenimiento a arrancadores, Centros de Control de Motores, PLC.
- Mantenimiento al alumbrado en áreas de tránsito y proceso.
- Revisión de sopladores de aire, centrífugos o de desplazamiento positivo, desde 20 hasta 900 HP.
- Revisión y reparación de aereadores flotantes y fijos.
- Limpieza de difusores de aire y reparación de fugas de aire en líneas de conducción.
- Mantenimiento a válvulas y cajas de válvulas en vía pública, en su caso sustitución de las que se encuentren dañadas.
- Reparación de sistemas de rastreo primario o secundario, el cual consiste en el cambio de piezas dañadas, como pueden ser las rastras de madera, catarinas, bujes, eslabones, pernos, tornillería, flechas, chumaceras de hierro nodular, coples, patines y soportería de acero al carbón.
- Revisión y en su caso reparación de reductores de velocidad, incluye cambio de engranes, piñones, cuñas, retenes y rodamientos.
- Maquinado de piezas especiales en taller de torno, tales como flechas, bujes, patines, coples, pernos, engranes.
- Construcción de bases para equipo de bombeo, motores y sopladores o rehabilitación de las existentes.

- Limpieza y desazolve de cárcamos de agua residual, destape de drenajes en áreas de proceso.
- Sellado de fugas de agua y filtraciones en tanques de proceso y cárcamos.
- Maniobras con grúas hidráulicas para instalar equipo.
- Excavaciones para reparación de fugas o mantenimiento a la red primaria.
- Mantenimientos preventivos como: lubricación a motores, bombas y sopladores; reapriete de tornillería; empaque mecánico; colocar recubrimiento aislante a conductores eléctricos.
- Trabajos de pailería en tuberías de acero, reparación de compuertas.
- Reparación de fugas de agua residual y residual tratada, en vía pública en tuberías de diámetros que van desde 3" hasta 72", en materiales diversos como son: el P.A.D., acero al carbón, fibro-cemento y P.V.C.
- Atención de quejas de usuarios por faltas de agua y baja presión en la red. Limpieza de tomas de agua y medidores.
- Instalación de tomas domiciliarias e industriales, para nuevos usuarios.
- Clausurar y remover tomas domiciliarias a petición del área correspondiente.

Estas actividades son coordinadas y supervisadas por el personal técnico encargado de las instalaciones; entre el personal técnico se encuentran los laboratoristas encargados del muestreo, análisis e interpretación de resultados para el control de proceso y calidad del agua tratada.

Actualmente la producción de agua tratada es inferior al caudal de diseño de cada instalación debido principalmente a:

- Se requieren recursos humanos para la operación y mantenimiento de las instalaciones.
- Se requiere medición de efluentes y corrientes internas para control de proceso.
- Falta de mantenimiento mayor al equipamiento electromecánico.
- Deterioro por el paso del tiempo de las estructuras civiles.
- Deficiente diseño de las operaciones unitarias de las plantas.
- Falta de sistemas de tratamiento de lodos de desecho.
- Se requiere actualización tecnológica.
- Falta de capacitación al personal técnico y operativo que maneja las instalaciones.
- En algunos casos falta de agua residual principalmente durante la noche.

Las plantas de Chapultepec, Ciudad Deportiva, San Juan de Aragón, Coyoacán, Rosario-Azcapotzalco, San Luis Tlaxialtemalco, Tlatelolco y Bosques de la Lomas han sido rebasadas por la demanda de los usuarios de éstas instalaciones, por lo que se requiere la ampliación de las instalaciones o adecuarlas para que puedan procesar un mayor caudal de agua residual, acorde a la demanda actual y futura.

3.2 Plantas de Tratamiento Operadas por el SACMEX

Plantas de tratamiento visitadas

A continuación se presenta la información fundamental de 8 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales operadas por el sistema de aguas que fueron visitadas por el autor, gracias al apoyo brindado por la Subdirección de Tratamiento y Reúso del SACMEX.

3.2.1 PTAR “Cerro de la estrella”

Se ubica en Avenida San Lorenzo # 312, Colonia San Juan Xalpa, Delegación Iztapalapa, Figura 3.1.

En el Cuadro 3.1 se presenta la información básica de la PTAR.

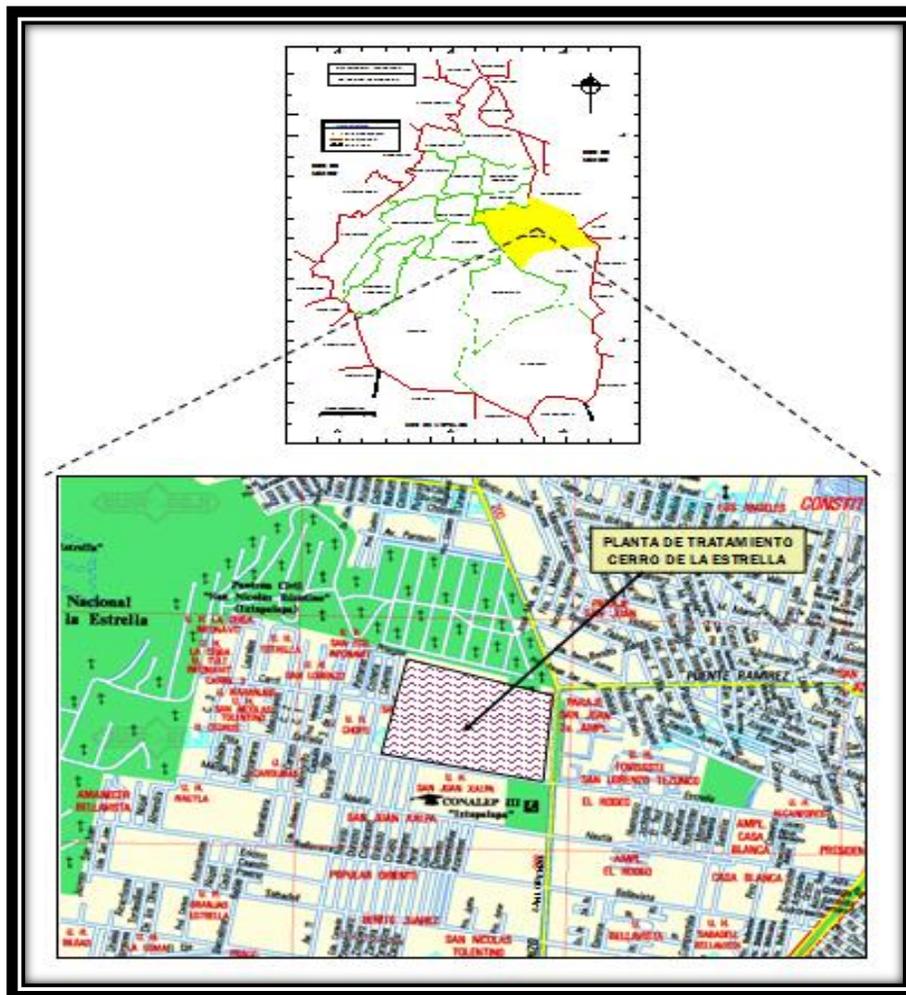


Figura 3.1 Ubicación PTAR Cerro de la Estrella

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.1 Información básica de la PTAR “Cerro de la Estrella”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
1971	4000 l/s	2300 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

La eficiencia de operación actual se debe principalmente a la menor demanda de abastecimiento de agua tratada a los agricultores en época de lluvias, y en menor medida al hecho de que existen equipos fuera de operación dentro de la planta.

Área de influencia

Venustiano Carranza, Iztacalco, Coyoacán e Iztapalapa.

Tren de tratamiento

Se cuenta con 14 trenes de tratamiento en total, los cuales se desarrollan de la forma que se describe a continuación:

- A su llegada, el gasto de aguas residuales municipales entra a un biocatalizador para la eliminación de olores no deseados, posteriormente pasa por un canal de medición de gasto.
- El primer tratamiento que recibe el agua es por medio de rejillas de limpieza mecánica, Figura 3.2



Figura 3.2 Rejillas de limpieza mecánica

- Posteriormente el agua pasa a los sedimentadores primarios. Actualmente la mayoría de estos tanques presentan falla mecánica en los motores utilizados para mover las dragas que se encargan de recoger el material sedimentado al fondo y la nata superficial (Figuras 3.3 y 3.4). Se busca a futuro eliminar este tratamiento primario para ampliar los reactores biológicos. Esta ampliación ya se llevó a cabo en uno de los sedimentadores primarios y se encuentra en proceso en otras unidades.

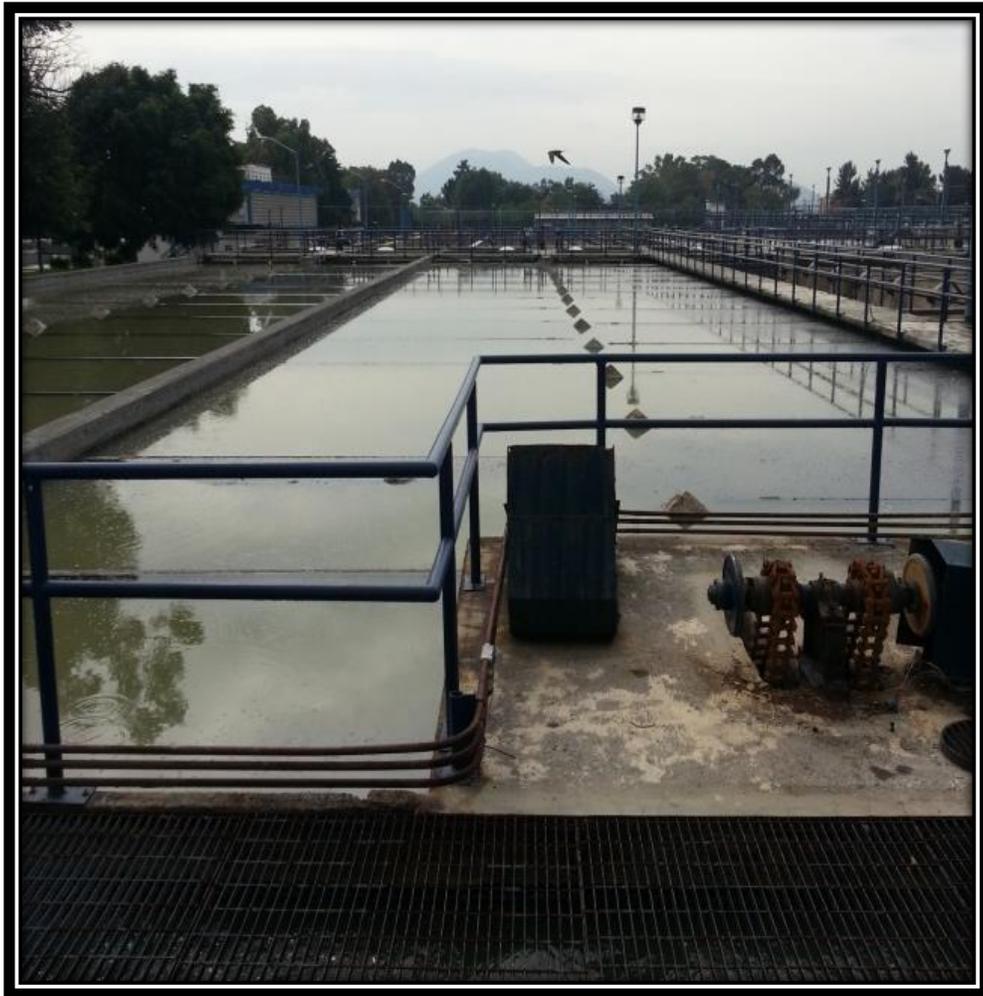


Figura 3.3 Imagen de uno de los sedimentadores primarios, motor de las dragas en mal estado, algunas fuera de servicio.



Figura 3.4 Imagen de un sedimentador primario fuera de servicio, en espera a ser acondicionado para formar parte del reactor biológico.

- Después de los sedimentadores primarios se encuentran los reactores biológicos, los cuales, junto con los sedimentadores secundarios, constituyen el tratamiento de nivel secundario de las aguas residuales. En la primera parte de los reactores se utiliza un bioselector anóxico para eliminar las bacterias anaerobias del influente (Figura 3.5). Se procede después a la parte del reactor donde se lleva a cabo la aireación, esto por medio de 6 equipos sopladores de turbina ubicados en la Sala I y 4 sopladores de multitasas ubicados en la Sala II. Los reactores cuentan con recirculación de lodos para mejorar las reacciones (Figura 3.6).



Figura 3.5 Imagen de reactor biológico ampliado hacia zona de sedimentación primaria con bioselector anóxico y posterior aireación.



Figura 3.6 Imagen del sistema de recirculación de lodos instalado en uno de los reactores biológicos.

- Al salir de los reactores biológicos el agua entra a los sedimentadores secundarios, en los cuales se recogen los lodos para su recirculación hacia el reactor posterior.
- La planta cuenta con un tratamiento terciario que consta de filtros, los cuales se encuentran actualmente fuera de servicio por falta de presupuesto.
- En el último paso del tratamiento se lleva a cabo la desinfección del agua residual a través de la inyección de gas cloro, el cual se almacena en tanques que se guardan en una bodega al aire libre.(Figura 3.7).



Figura 3.7 Imagen del almacenamiento de los tanques de gas cloro, usados para la desinfección del efluente de la planta.

Personal de operación

Dentro de la planta hay un jefe de oficinas, residentes de mantenimiento, línea de distribución y operación, jefes de turno, cuadrillas de mantenimiento, personal administrativo, personal de laboratorio y choferes. En total laboran en la planta alrededor de 200 personas.

Usos del agua tratada

Riego de áreas verdes y zona industrial de Iztapalapa; zona agrícola y chinampera de Tláhuac y Xochimilco, riego agrícola en sierra de Santa Catarina.

Problemas actuales de la planta

Actualmente existe equipo fuera de operación dentro de la planta. Algunos motores para las dragas de los sedimentadores primarios se encuentran dañados, y por lo tanto están fuera de servicio, además de que los filtros para el tratamiento terciario se encuentran todos fuera de operación por falta de presupuesto. Sumado a lo anterior, el personal de la planta asegura que se requieren diversos tipos de rehabilitación y remodelación, como retirar los sedimentadores primarios para dar más longitud a los reactores biológicos, con su respectiva instalación de bioselector anóxico, confinación de los sedimentadores secundarios para la eliminación del crecimiento de algas, rehabilitación de la etapa terciaria de filtros de gravilla y arena; y por último, la complementación del sistema de desinfección con rayos ultravioleta o algún otro método. La planta también necesita de construcción de infraestructura de conducción de aguas residuales hacia la misma para mejorar el aprovechamiento y alcanzar el gasto de diseño. El costo total estimado por SACMEX para la ampliación de la red de alcantarillado municipal de la planta es de \$29,200,000 pesos.

3.2.2 PTAR “Santa Martha”

Se ubica en Calzada Ermita Iztapalapa y calle Zacatepec, entre Santa María y Flores Magón, Colonia Paraje Zacatepec, Delegación Iztapalapa, Figura 3.8.

En el Cuadro 3.2 se presenta la información básica de la PTAR.

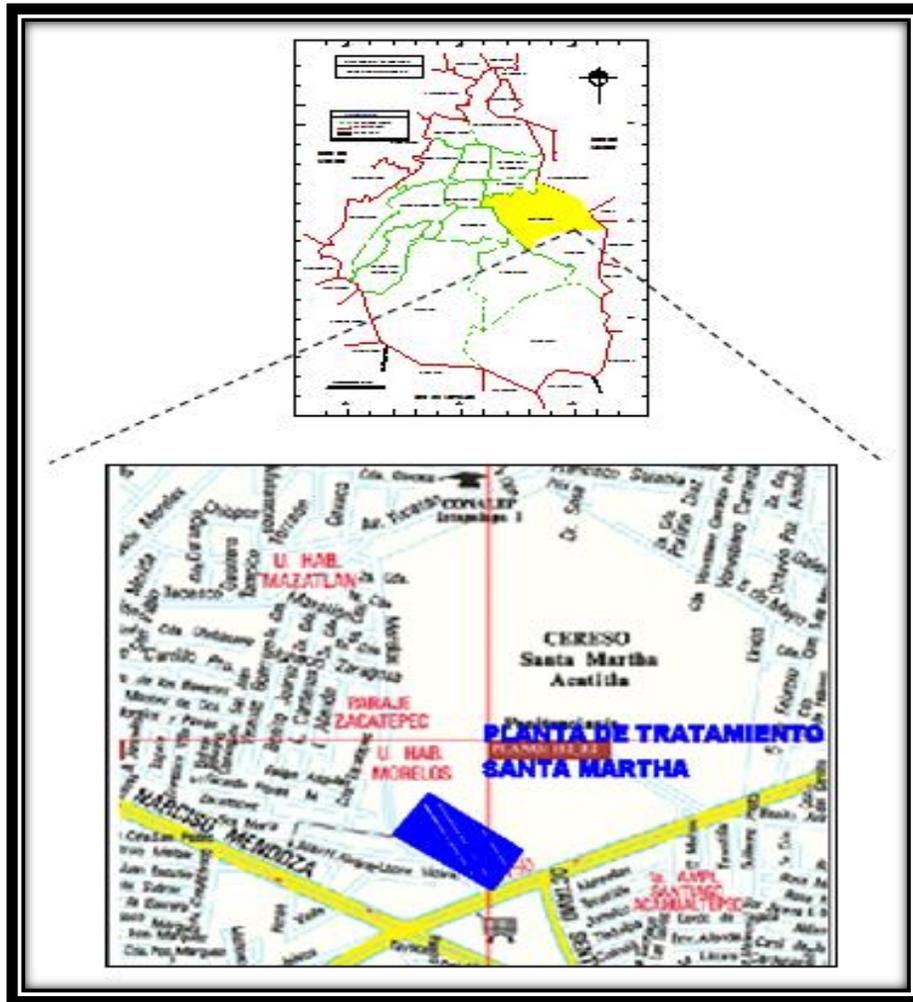


Figura 3.8 Ubicación PTAR Santa Martha

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.2 Información básica de la PTAR “Santa Martha”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
2005	14 l/s	22 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

El hecho de que la planta de Santa Martha opere por encima del gasto para el que fue diseñada, se debe a que en un principio la planta fue diseñada para el tratamiento de lodos mediante un tratamiento químico con sustancias químicas, pero al fracasar este intento de tratamiento debido al volumen de los lodos no considerado para el

dimensionamiento de las tuberías, se eliminó esta parte del tratamiento, facilitando el tratamiento de un mayor caudal de aguas residuales.

Área de influencia

Ermita e Iztapalapa

Tren de tratamiento

Esta planta es relativamente pequeña y solo cuenta con 2 trenes de tratamiento para el influente de aguas residuales municipales.

- A su llegada, el agua pasa a través de una criba rotatoria de limpieza mecánica, la cual se encarga de remover las basuras y partículas grandes que acompañan al agua residual.
- Después de la criba, el agua pasa a un sedimentador primario (Figura 3.9)



Figura 3.9 Criba rotatoria y unidad de sedimentación primaria, ambas fuera de operación al momento de la visita.

- Para el tratamiento secundario, se cuenta con un reactor biológico con aireación y recirculación de lodos (Figura 3.10). La aireación se lleva a cabo con 2 equipos sopladores marca Garner-Denver de 25 hp, de los cuales solamente funciona uno

a la vez. De los lodos generados en el reactor, se recircula aproximadamente el 10%, el resto se descarga al sistema de drenaje sin ningún tipo de tratamiento.



Figura 3.10 Reactor biológico con aireación, se observa la recirculación de los lodos a través de la tubería amarilla.

- Después del reactor biológico el agua pasa a los clarificadores (Figura 3.11)



Figura 3.11 Clarificadores

- Por último, el agua residual es desinfectada con hipoclorito (Figura 3.12) y posteriormente pasa a los módulos de filtración (3), los cuales tienen un proceso de retrolavado que se lleva a cabo 3 veces por semana (Figura 3.13). A partir de este punto, el agua residual tratada es bombeada hacia el reclusorio adyacente para su uso.



Figura 3.12 Desinfección con hipoclorito por goteo y laberinto para aumentar el tiempo de contacto para mejores resultados.



Figura 3.13 Módulos de filtración, último paso del tratamiento del agua antes de ser bombeada hacia el reclusorio.

Personal de operación

Se tiene en la planta un residente, 3 jefes de turno y personal de limpieza y mantenimiento. En total son 11 personas las que se encargan de esta planta.

Usos del agua tratada

Toda el agua tratada en esta planta va destinada al Reclusorio Santa Martha Acatitla.

Problemas actuales de la planta

Al momento de la visita, la planta no se encontraba en funcionamiento debido a un desperfecto en la bomba de recepción, por lo que no se tenía influente en los trenes de tratamiento, únicamente se estaban recirculando los lodos para evitar su asentamiento en los reactores biológicos. El personal asegura que en las ocasiones en que existen fallas de este tipo, se tiene que esperar alrededor de una semana para que la cuadrilla de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales se presente para la reparación de los elementos que no están funcionando, por lo que es claro que falta personal de mantenimiento para estas instalaciones, lo cual es difícil de conseguir debido al bajo presupuesto destinado al tratamiento de aguas. Al principio de su operación la planta contaba con instalaciones para el tratamiento de los lodos mediante un tratamiento químico, el cual nunca pudo operar de forma correcta, por lo que fue eliminado del tren de procesos y permanece abandonado hasta la fecha. Se requiere que la planta opere a su capacidad de diseño para que el reclusorio no sufra de falta de agua. El costo estimado de rehabilitación por SACMEX es de \$500,000 pesos.

3.2.3 PTAR “Bosques de las Lomas”

Se ubica en Paseo Ahuehuetes Norte #360, Colonia Bosques de las Lomas, delegación Miguel Hidalgo, Figura 3.14.

En el Cuadro 3.3 se presenta la información básica de la PTAR.

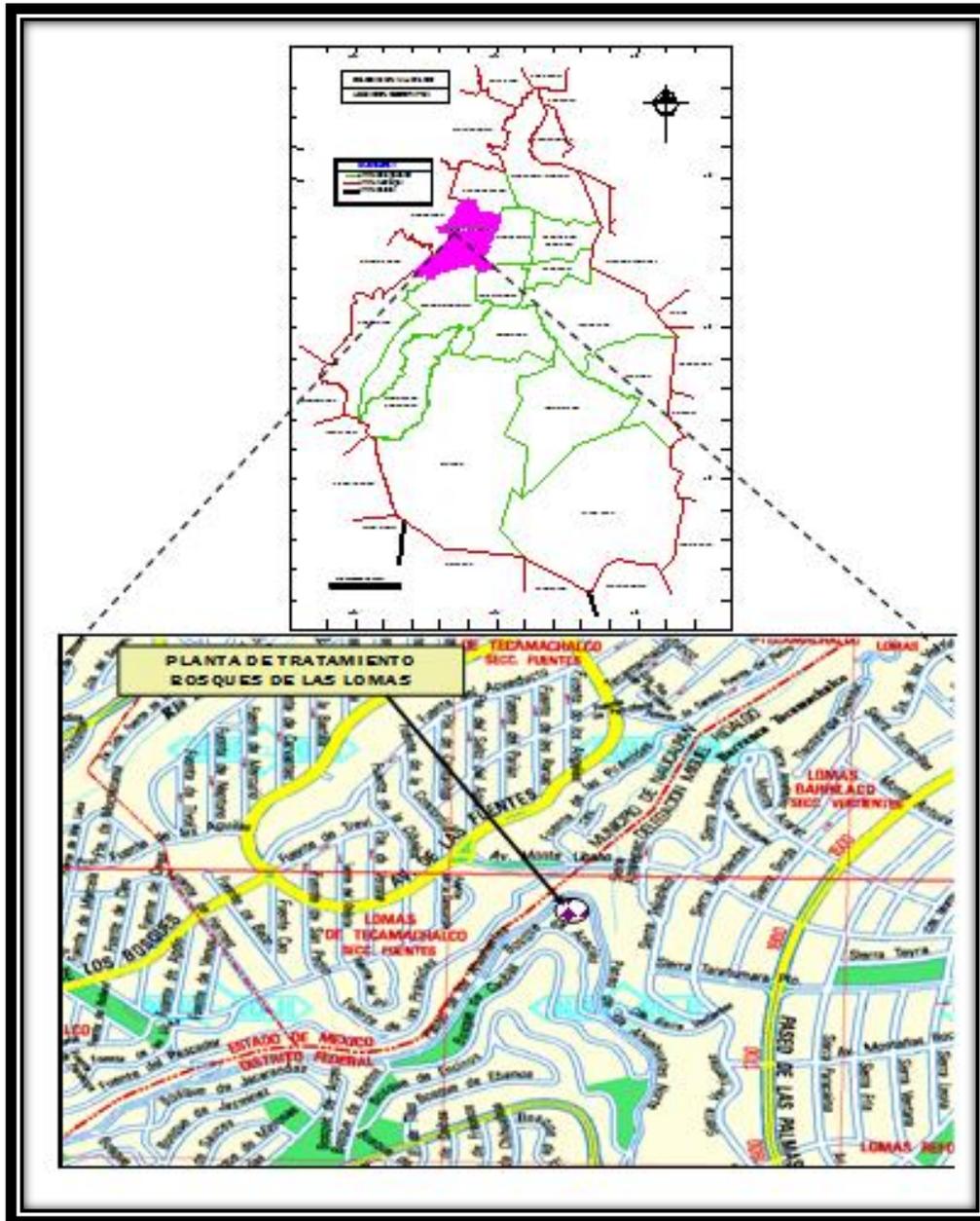


Figura 3.14 Ubicación PTAR Bosques de las Lomas

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.3 Información básica de la PTAR “Bosques de las Lomas”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
1973	55 l/s	16 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

El gasto de operación es bajo respecto al de diseño debido a que de los 3 trenes de tratamiento disponibles, solamente se utiliza 1, mientras que los otros 2 tienen la función de tanques de almacenamiento.

Área de influencia

Colonia Bosques de las Lomas y alrededores.

Tren de tratamiento

- Al inicio del tratamiento se cuenta con una rejilla para la retención de sólidos grandes, cuya limpieza debe realizarse de forma manual por el operador con una pala.
- No se cuenta con unidad de sedimentación primaria, por lo que inmediatamente después de la rejilla se pasa al reactor biológico, el cual cuenta con sistema de aireación superficial y recirculación de lodos. La aireación se lleva a cabo a través de 6 aireadores superficiales. Se cuenta con sistema de recirculación de lodos en el reactor a base de 3 bombas, pero actualmente se encuentra fuera de funcionamiento por falla mecánica de las mismas.
- El paso siguiente al reactor biológico del tratamiento de aguas es un tanque de sedimentación secundaria de forma circular, en el cual un brazo mecánico se encarga del dragado y recolección de los lodos que se sedimentan en el fondo del tanque.
- El último paso del tratamiento consta de desinfección del efluente del sedimentador secundario con hipoclorito por goteo, pero actualmente el equipo para adicionar el desinfectante se encuentra también fuera de servicio. Después de este paso se almacena el agua en uno de los reactores biológicos que están fuera de servicio actualmente. En este punto simplemente se almacena el agua tratada a espera de que pipas de riego se presenten para llenar sus contenedores, pues no se cuenta con cárcamo de rebombeo.

Personal de operación

Se tiene un total de 9 operadores con turnos de 24 o 16 horas. Solamente hay un operador en la planta en cualquier momento dado.

Usos del agua tratada

Riego de camellones en Palmas y Reforma, autolavados.

Problemas actuales de la planta

La planta en un inicio fue diseñada por los colonos de la zona con el fin de tratar las aguas residuales generadas por la colonia, la cual fue diseñada de forma pobre y desde el inicio operó de forma deficiente. El operador comentó que en los años 2000 y 2006 la planta sufrió de fuertes inundaciones, debidas principalmente a la inadecuada localización de la planta. Durante estas inundaciones se perdió la mayor parte del equipo y fue necesario construir un segundo piso a la casa de vigilancia para relocalizar el tablero de control de los elementos de la planta, para que en caso de que se repitan este tipo de eventos sea posible apagar los equipos y no sufrir pérdidas económicas muy grandes. La planta también se encuentra a la sombra de un risco con una inclinación bastante peligrosa, los operadores temen que en caso de sismo el material no resista y sepulte la planta de tratamiento. En la Figura 3.15 se presenta una vista general de la planta ya que no fue permitido fotografiar cada paso del tratamiento por separado. En esta figura se aprecia cómo 2 de los trenes de tratamiento se encuentran parados y se utilizan únicamente como tanques de almacenamiento.

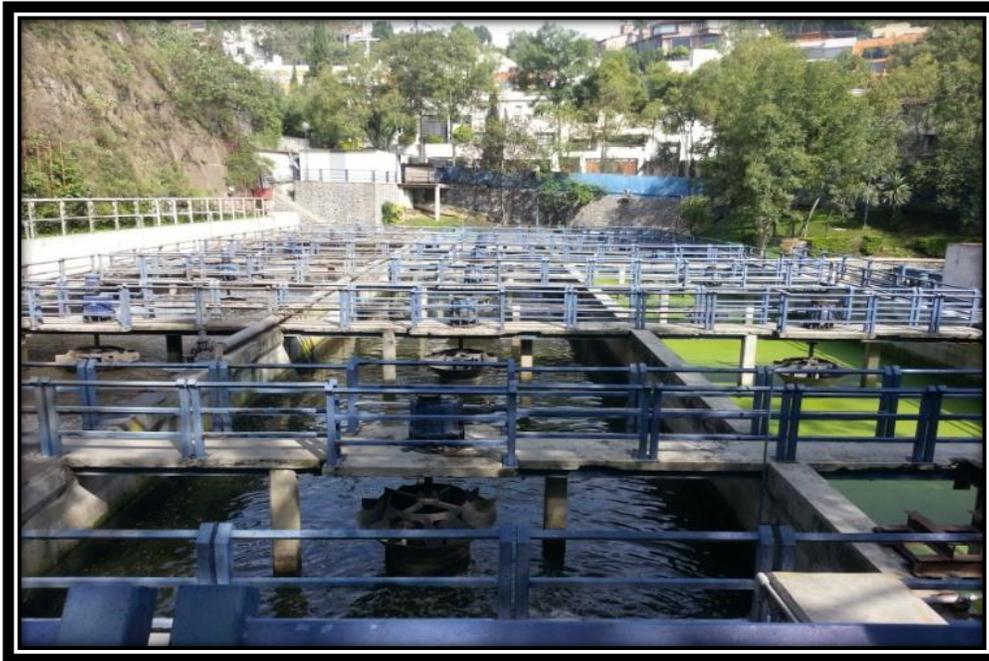


Figura 3.15 Vista general de la planta de tratamiento Bosques de las Lomas, el único tren de tratamiento que se encuentra en funcionamiento es el del extremo izquierdo.

3.2.4 PTAR “San Juan de Aragón”

Se ubica en Avenida Ángel Albino Corzo, S/n, Esquina Gran Canal, Colonia Cerro Prieto, Delegación Gustavo A. Madero, Figura 3.16.

En el Cuadro 3.4 se presenta la información básica de la PTAR.

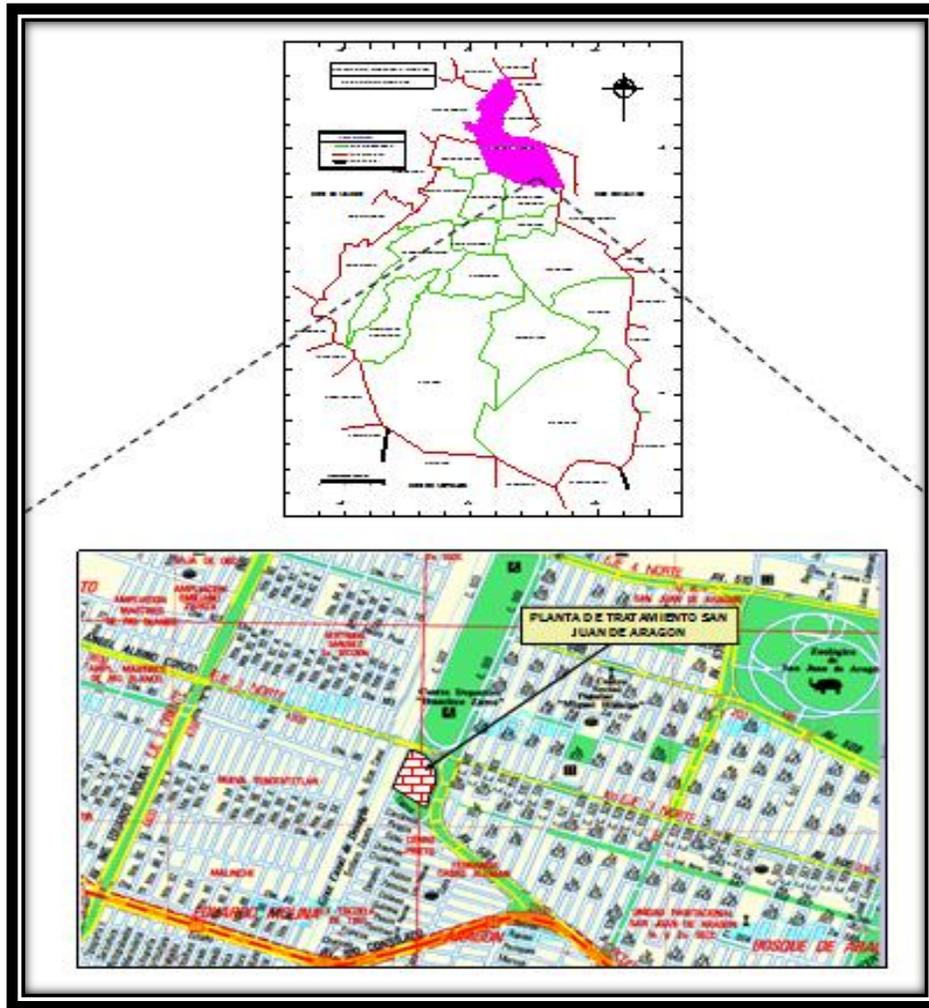


Figura 3.16 Ubicación PTAR San Juan de Aragón

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.4 Información básica de la PTAR “San Juan de Aragón”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
1959	500 l/s	250 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

La planta opera actualmente al 50% de su capacidad, debido principalmente a que el colector que abastece la planta en ocasiones no entrega el gasto suficiente para que la planta trate más litros por segundo, además de que el personal asegura que, debido a la antigüedad de la planta, los conductos y las bombas se encuentran exigidos al máximo de

sus capacidades con el gasto de operación actual, además de que existen problemas mecánicos en los sedimentadores primarios.

Área de influencia

Colonia Oceanía, El Peñón y San Juan de Aragón. La planta se abastece por medio del colector de Oceanía. Anteriormente se alimentaba del Gran Canal, pero por razones desconocidas para el personal, actualmente se abastece a través del colector Oceanía, el cual conduce mucha menos agua residual.

Tren de tratamiento

En la Figura 3.17 se presenta el diagrama de flujo general del proceso de tratamiento paso por paso.

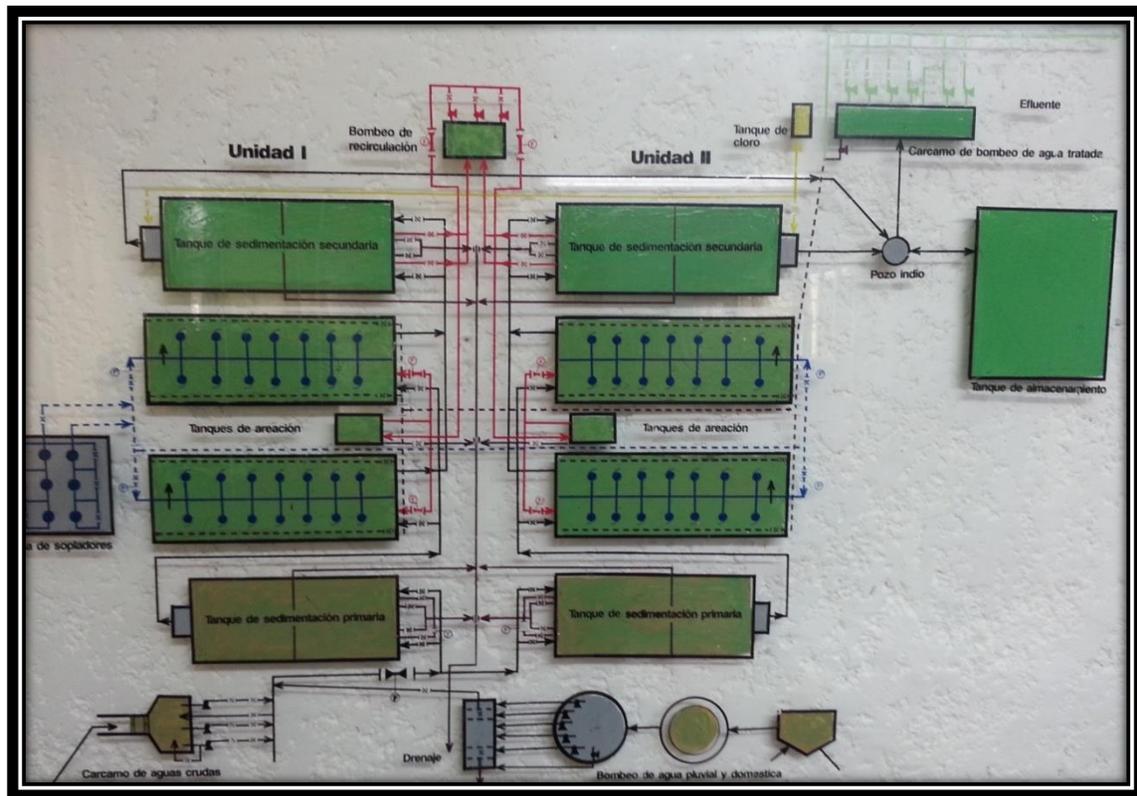


Figura 3.17 Diagrama de flujo del tratamiento de la planta San Juan de Aragón. Las tuberías negras representan el agua en proceso, las rojas la recirculación de lodos, las punteadas el aire que se suministra a los reactores biológicos, las amarillas los conductos de cloro para desinfección y las verdes el agua tratada.

- A su llegada a la planta, el agua residual es bombeada hacia el canal receptor por medio de 3 bombas. Actualmente una se encuentra descompuesta y en reparación.

- El agua pasa por su primer tratamiento primario, que consta de 2 canales paralelos que cuentan cada uno con una rejilla de limpieza mecánica para la retención de sólidos grandes, como llantas, bolsas, ramas, etc.
- Después de atravesar las rejillas, las aguas pasan a los sedimentadores primarios (Figura 3.18). Se cuenta con 2 unidades, en cada una de las cuales, el agua permanece un tiempo aproximado de 2 horas y media, cada uno con su respectivo sistema de dragas. El drenado de las partículas retenidas se lleva a cabo de forma manual.



Figura 3.18 Vista general de uno de los sedimentadores primarios, del lado opuesto presenta algunas dragas fuera de servicio por falla mecánica.

- Una vez concluido el tratamiento primario, las aguas pasan al reactor biológico con aireación y recirculación de lodos (Figuras 3.19 y 3.20). A diferencia del caso de los sedimentadores primarios, se cuenta con 4 unidades. Para llevar a cabo esta etapa del tratamiento, se cuenta con 6 equipos compresores para inyección de aire comprimido, de los cuales se usan solo 2 a la vez. Dentro de los tanques se cuenta también con una línea auxiliar de inyección de aire, en caso de que sea necesaria la presencia de mayor cantidad de oxígeno para optimizar las

reacciones. El tiempo de retención en el reactor biológico es de aproximadamente 8 horas.



Figura 3.19 Vista general de uno de los reactores biológicos, se observa la instalación para la inyección de aire comprimido en color naranja.



Figura 3.20 El agua llega de los sedimentadores primarios por la tubería de mayor diámetro, mientras que la recirculación de los lodos se observa en la tubería adyacente de menor diámetro.

- Después del tratamiento biológico, los lodos pasan a los sedimentadores secundarios, que también se conforman por 2 unidades (Figura 3.21). En esta

parte del proceso de tratamiento se recogen los lodos por medio de dragas, y por falta de presupuesto para la instalación de un sistema de tratamiento de lodos, estos se descargan directamente al drenaje.



Figura 3.21 Vista general de uno de los tanques de sedimentación secundaria con sus respectivos clarificadores.

- El último paso del tratamiento consiste en la desinfección del efluente del tratamiento secundario a través de la inyección de gas cloro. El agua se deja en un tanque tipo laberinto durante un tiempo aproximado de 45 minutos, al final del cual podemos observar un efluente de bastante buen aspecto (Figura 3.22). El tanque se encuentra cercado para evitar que los animales que habitan dentro de las instalaciones caigan dentro del mismo, como ha llegado a suceder en algunas ocasiones.



Figura 3.22 Tanque tipo laberinto e instalación para inyección de gas cloro al agua residual.

- Por último, se tiene un tanque de almacenamiento para contener el efluente tratado (Figura 3.23). Es importante resaltar el hecho de que, una vez tratada, el agua puede pasar mucho tiempo dentro del tanque antes de ser requerida para los usos que se le dan, es por esto que presenta una calidad pobre en relación a aquella con la que sale del tratamiento de la planta. También es importante resaltar las fallas estructurales debidas al hundimiento que se presentan en la imagen, la periferia del tanque presenta grietas grandes, además de que el edificio que con anterioridad se utilizaba como casa de máquinas se encuentra totalmente fuera de servicio debido a los grandes problemas de hundimiento que presentó, por lo que hubo que reubicar la maquinaria.



Figura 3.23 Vista general del tanque de almacenamiento de agua tratada. Se aprecian con claridad los daños que ha causado el hundimiento diferencial del terreno de la planta en la estructura del tanque.

Personal de operación

En la planta laboran aproximadamente 75 empleados por día, divididos en empleados de operación, laboratorio, mantenimiento, áreas verdes y limpieza general.

Usos del agua tratada

Las aguas tratadas de la planta San Juan de Aragón se utilizan principalmente para el relleno del lago y riego de áreas verdes en el bosque de San Juan de Aragón, riego de áreas verdes en las zonas circundantes a la planta y en ocasiones para lavado de automóviles.

Problemas actuales de la planta

El mayor problema que tiene esta planta de tratamiento hoy en día se debe a los hundimientos del terreno en el que se encuentra construida. Entre otras cosas, los hundimientos han causado desniveles no deseados que eventualmente han resultado en el incorrecto funcionamiento de las dragas utilizadas en los sedimentadores, tanto de nivel primario como secundario, varias de las cuales se encuentran actualmente fuera de servicio. El desnivel también es la causa principal de que para poder descargar al drenaje, el personal de la planta se tenga que ayudar de equipos de bombeo para vencer el desnivel actual. También en el tanque de almacenamiento de las aguas tratadas se pudieron observar numerosas fallas estructurales, incluyendo una estructura en la que solían estar ubicados los equipos de bombeo, los cuales tuvieron que ser reubicados. Además de los hundimientos, la antigüedad de las tuberías y algunos equipos de bombeo hacen que la planta trabaje al límite de la falla, la cual se puede presentar en cualquier momento. Para rehabilitación de la planta y construcción de redes de distribución para mejor cobertura de la demanda de agua tratada se estima que se necesita una inversión de aproximadamente \$50,000,000 de pesos.

3.2.5 PTAR “Chapultepec”

Se ubica en Camino de acceso por calle de Pedregal, esquina F.F.C.C. de Cuernavaca, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, Figura 3.24.

En el Cuadro 3.5 se presenta la información básica de la PTAR.

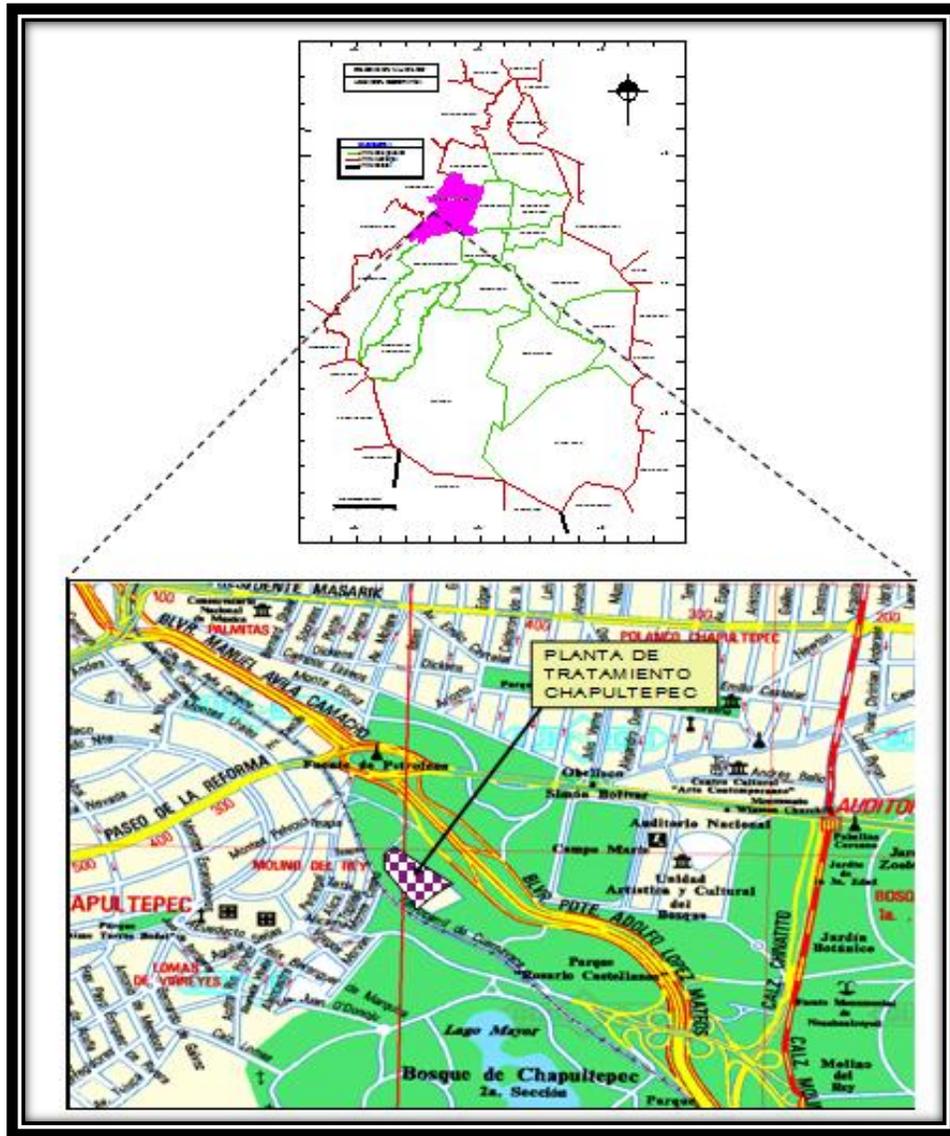


Figura 3.24 Ubicación PTAR Chapultepec

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.5 Información básica de la PTAR “Chapultepec”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
1956	160 l/s	110 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

La razón principal de que no se utilice la planta a su capacidad de diseño es que normalmente no llegan las cantidades necesarias de aguas residuales municipales debido a la falta de obras de drenaje con sus respectivas conexiones a la planta de tratamiento.

Área de influencia

Las aguas residuales que llegan a esta planta de tratamiento provienen de la zona habitacional y de oficinas de Bosques de las Lomas, y llegan a la planta a través de los colectores 100 casitas, Palmas y Moliere.

Tren de Tratamiento

- El agua llega por gravedad a la entrada de la planta, en la cual se encuentra una válvula de control de gasto. La función de esta válvula es de regular el gasto de agua residual que entra para tratamiento, con el objetivo de no permitir que la capacidad de la planta se vea sobrepasada. El conducto en el que está instalada esta válvula cuenta con una desviación de descarga directa al drenaje, para aquella agua que no entre a las instalaciones de tratamiento de la planta.
-
- Inmediatamente después de la válvula de control, se encuentran las rejillas de limpieza manual, cuya inclinación es de 45°, con una separación de 1" entre barras, y como segunda etapa del tratamiento primario se cuenta con canales desarenadores, cuya limpieza se lleva a cabo de forma manual (Figura 3.25).



Figura 3.25 Tratamiento primario que consiste en rejillas de limpieza manual y canales desarenadores.

- A la salida de los desarenadores se encuentran 5 bombas centrífugas que se encargan de mandar el agua a los sedimentadores primarios. Actualmente una de las bombas se encuentra fuera de servicio por reparación (Figura 3.26)



Figura 3.26 Instalación de bombas que se encargan de trasladar el agua hacia los sedimentadores primarios. Una bomba se encuentra desmontada para reparación y el resto presentan un estado de mantenimiento deficiente.

- A partir de este punto, la planta cuenta con 2 trenes de tratamiento. Primero, el agua llega a los sedimentadores primarios, uno de ellos con forma rectangular (Figura 3.27) y el otro con forma de semicírculo (Figura 3.28). En esta etapa, un sistema de rastras conformado por cadenas sinfin y maderos recorren el tanque recogiendo la nata flotante y las partículas sedimentadas en el fondo, las cuales se acumulan en una tolva y son descargadas directamente al drenaje.



Figura 3.27 Tanque de sedimentación primaria rectangular en tren de tratamiento I.



Figura 3.28 Tanque circular. En la parte interior del tanque se encuentra el sedimentador primario y en la exterior el reactor biológico. Forma parte del tren de tratamiento II.

- Posteriormente, el agua entra al tratamiento secundario, el cual consta de 2 reactores biológicos con aireación y recirculación de lodos, uno rectangular en el tren de tratamiento I (Figura 3.29) y uno circular en el tren de tratamiento II (Figura 3.30). En esta etapa, el tiempo de residencia del agua debe ser ente 7 y 8 horas. La aireación se lleva a cabo con la ayuda de 3 equipos sopladores, uno se encuentra fuera de servicio (Figura 3.31).



Figura 3.29 Vista general de reactor biológico rectangular en tren de tratamiento I.



Figura 3.30 Vista general de reactor biológico circular. Se encuentra en el borde extremo del círculo, en el interior se aprecia el sedimentador primario.



Figura 3.31 Equipos sopladores que abastecen de oxígeno a los reactores biológicos. Uno de los equipos se encuentra parcialmente desmontado.

- Después de los reactores biológicos, se cuenta con los sedimentadores secundarios, en los cuales se sedimentan los lodos, se recogen por medio de dragas y se mandan a recirculación en los reactores para favorecer el proceso biológico (Figura 3.32).



Figura 3.32 Tanques de sedimentación primaria en el tren de tratamiento I. Se observa que los motores de las dragas se encuentran deteriorados y no están protegidos contra el clima.

- Como última etapa, se cuenta con clarificadores y desinfección del efluente con hipoclorito por goteo (Figura 3.33).



Figura 3.33 Instalación para la desinfección del efluente del tratamiento secundario con hipoclorito por goteo.

Personal de operación

Para la operación de la planta se cuenta con una organización de 4 turnos y un total de aproximadamente 40 empleados.

Usos para el agua tratada

El efluente de aguas tratadas de la planta se utiliza para el llenado de los lagos de Chapultepec, al cual se bombea 3 veces al día, y para riego de todas las áreas verdes de los alrededores, incluyendo el panteón de Dolores, Parque México, Parque España, Paseo de la Reforma y camellones de Polanco.

Problemas actuales de la planta

La planta parece estar en bastante buen estado y en general no ha presentado problemas de gran magnitud, debido principalmente a la válvula reguladora de gasto instalada al principio de la planta. Al igual que algunas de las plantas visitadas, al principio de su operación se contaba con un tratamiento de lodos con secado a base de rodillos, pero conforme pasó el tiempo se fue eliminando esta parte del procedimiento y actualmente se ha retirado el equipo que era utilizado para este paso del tratamiento. En cuanto a rehabilitación, el personal opina que es necesario conectar más colectores con la planta y hacer la inversión necesaria para lograr tener un tratamiento mayor de l/s,

además de que se necesita tener en mente la instalación de equipos tecnológicos modernos. La planta requiere aumentar su capacidad de tratamiento, pues esta se ha visto sobrepasada por las necesidades de la zona. Para un correcto volumen de tratamiento SACMEX estima que se requiere una inversión de aproximadamente \$100,000,000 de pesos.

3.2.6 PTAR “Tlatelolco”

Se ubica en Calle Lerdo S/n. Entre Avenida Manuel González y Ricardo Flores Magón, Unidad Habitacional Nonoalco Tlatelolco, Delegación Cuauhtémoc, Figura 3.34.

En el Cuadro 3.6 se presenta la información básica de la PTAR.

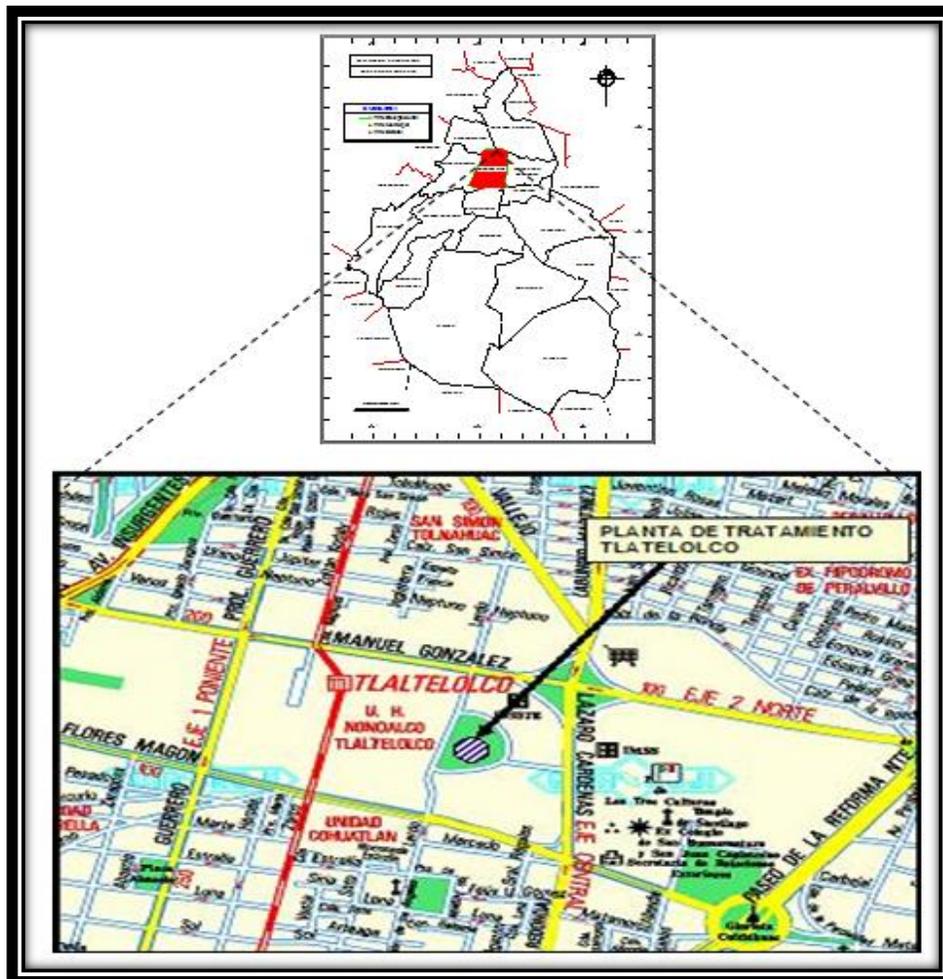


Figura 3.34 Ubicación PTAR Tlatelolco

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.6 Información básica de la PTAR “Tlatelolco”.

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
1965	22 l/s	11 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

Al igual que en otras de las plantas del sistema, en Tlatelolco no se opera con el gasto de diseño debido a que no llega el agua suficiente a la planta a través de la red de recolección de aguas residuales que se encuentra actualmente conectada a la planta.

Área de influencia

El agua que se trata en esta planta proviene exclusivamente de la Unidad Tlatelolco, que está integrada por 3 unidades. Esto es debido a que la planta fue concebida únicamente para el tratamiento de las aguas residuales generadas en esta zona habitacional.

Tren de tratamiento

- Como tratamiento primario se cuenta con rejillas de limpieza manual, no se cuenta con desarenadores ni sedimentadores primarios.
- Para el tratamiento secundario del agua residual se cuenta con un reactor biológico con recirculación de lodos.
- Posteriormente, el agua pasa al sedimentador secundario, para finalmente recibir el tratamiento de desinfección con hipoclorito.
- El agua tratada es almacenada en un tanque subterráneo.

Personal de operación

En la totalidad de los turnos disponibles laboran 15 personas.

Usos del agua tratada

Riego de áreas verdes de la unidad habitacional Tlatelolco, riego de la Alameda central y de Santa María la Ribera.

Problemas actuales de la planta

Gracias a la presencia de una válvula de control de gasto y un vertedor de regulación, no se han tenido grandes problemas dentro de esta planta, aunque al igual que muchas otras cuenta con equipo descompuesto y fuera de uso por falta de presupuesto. La planta requiere la construcción de más colectores para poder operar a su gasto de diseño y así satisfacer la demanda de la Alameda Central, esto tendría un costo de aproximadamente \$16,000,000 pesos.

3.2.7 PTAR “San Lorenzo”

Se ubica en Avenida Canal de Chalco y Avenida Heberto Castillo, Colonia Unidad Habitacional Villas de los Trabajadores del DF, Delegación Tláhuac, Figura 3.35.

En el Cuadro 3.7 se presenta la información básica de la PTAR.

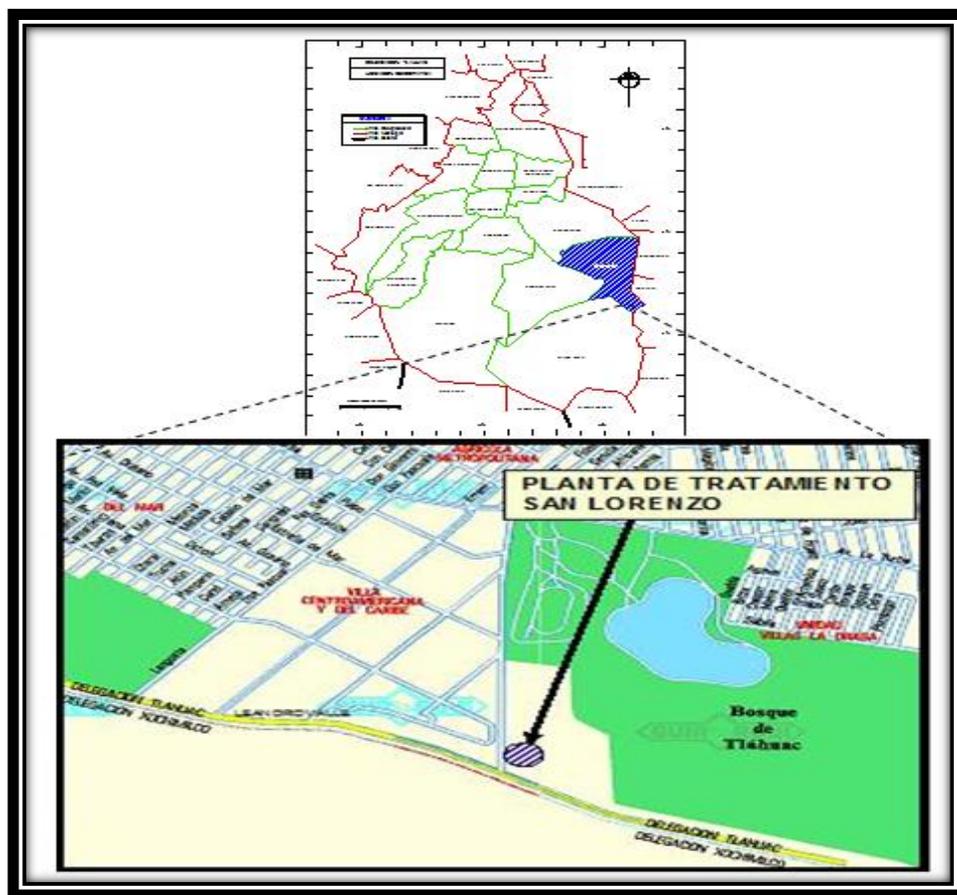


Figura 3.35 Ubicación PTAR San Lorenzo

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.7 Información básica de la PTAR “San Lorenzo”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
1998	225 l/s	50 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

Le eficiencia de operación es baja debido principalmente a la falla de equipo que no es reparado. De 3 trenes de tratamiento de la planta, existe uno que ha estado fuera de servicio alrededor de 8 años debido a fallas mecánicas y a lo costoso de su reparación, al mismo tiempo que no se tiene el gasto suficiente a la entrada para tratar más litros por segundo.

Tren de tratamiento

- Como tratamiento primario a la llegada a la planta, únicamente se cuenta con rejillas de limpieza mecánica, precedidas de compuertas reguladoras de gasto (Figura 3.36). Después el agua entra a un cárcamo del cual es bombeada directamente hacia el tratamiento secundario, pues no se cuenta con sedimentadores primarios.



Figura 3.36 Compuertas reguladoras de gasto y rejillas de limpieza mecánica a la entrada del agua residual a la planta.

- Como tratamiento secundario se cuenta con 3 reactores biológicos circulares con aireación y recirculación de lodos, de los cuales uno se encuentra fuera de operación. En los otros 2 reactores en operación se ha descompuesto el brazo mecánico que se encargaba del dragado de los lodos (Figura 3.37). La aireación

de los reactores se lleva a cabo a través de 6 sopladores, de los cuales solo funcionan 2 a la vez (Figura 3.38).



Figura 3.37 Vista general de uno de los reactores biológicos, los 2 reactores que se encuentran en operación presentan falla mecánica en el brazo recolector de lodos.



Figura 3.38 Equipos sopladores para la aireación de los reactores biológicos. Se encuentran en estado pobre de mantenimiento.

- Después de los reactores biológicos se cuenta con 3 sedimentadores secundarios, uno de los cuales se encuentra fuera de servicio (Figura 3.39). En esta etapa del tratamiento sí funcionan los brazos que dragan los lodos generados, los cuales se acumulan en una tolva y pasan por gravedad a una unidad de recirculación de lodos (la otra se encuentra fuera de servicio). Anteriormente se contaba con un sistema de tratamiento de lodos por medio de agitación, pero ha estado fuera de servicio alrededor de 8 años por fallas en el equipo mecánico que nunca fueron reparadas.



Figura 3.39 Vista general de uno de los tanques de sedimentación secundaria. Presenta un estado de pésimo mantenimiento pero funciona adecuadamente.

- Después de los sedimentadores secundarios se encuentra un sistema de filtros, también fuera de servicio actualmente, y posteriormente se pasa el efluente por un tratamiento de desinfección por goteo con hipoclorito, sustancia de la cual se usan alrededor de 200 litros por día para desinfección del efluente (Figura 3.40).



Figura 3.40 Sistema de desinfección del efluente por goteo de hipoclorito.

Personal de operación

Entre semana se cuenta con 4 operadores con turnos de 24 y 8 horas, mientras que los fines de semana la planta es operada por 3 personas durante los dos días. No se cuenta con personal de limpieza o mantenimiento, la planta se encuentra en un estado deplorable, los caminos no están pavimentados y la a la vegetación no se le da ningún tipo de atención.

Usos para el agua tratada

Riego de los ejidos de Xochimilco, relleno de laguna del bosque de Tláhuac y llenado de canales en San Gregorio Atlapulco.

Problemas actuales de la planta

Actualmente la planta no está produciendo aguas residuales tratadas, únicamente se encuentran activos los reactores biológicos y los sedimentadores secundarios para la recirculación de los lodos. Se ha estado en esta situación alrededor de 2 meses debido a una fuga en las tuberías que conducen el agua a los ejidatarios, las cuales se encuentran actualmente en trabajos de reparación. Los operadores aseguran que la planta volverá a operar con normalidad cuando termine la temporada de lluvias. También se tienen problemas serios de equipo mecánico descompuesto, los operadores aseguran que si las fallas son menores y se cuenta con la pieza de refacción, la reparación llega a tomar de 1 a 2 días, pero si la falla es de mayor magnitud no existe presupuesto para reparación, es por esto que uno de los trenes de tratamiento se encuentra totalmente fuera de servicio (Figura 3.41), y por la misma razón se dejó de operar el sistema de tratamiento de lodos con el que se contaba en un principio (Figura 3.42). La planta requiere de la ampliación de la red de agua tratada y las descargas en el ejido, además de la rehabilitación de los componentes fuera de servicio. SACMEX estima un costo de inversión de aproximadamente \$50,000,000 pesos para otorgar el agua necesaria a los ejidos.



Figura 3.41 Tanque de sedimentación secundaria, fuera de servicio por falla mecánica desde hace alrededor de 8 años por falta de presupuesto para su reparación.



Figura 3.42 Instalaciones para el tratamiento de lodos se encuentran sin operar y sin mantenimiento alguno, han sido desmanteladas en su mayoría.

3.2.8 PTAR “San Luis Tlaxialtemalco”

Se ubica en Avenida 5 de Mayo, Colonia San Luis Tlaxialtemalco, delegación Xochimilco, Figura 3.43

En el Cuadro 3.8 se presenta la información básica de la PTAR.

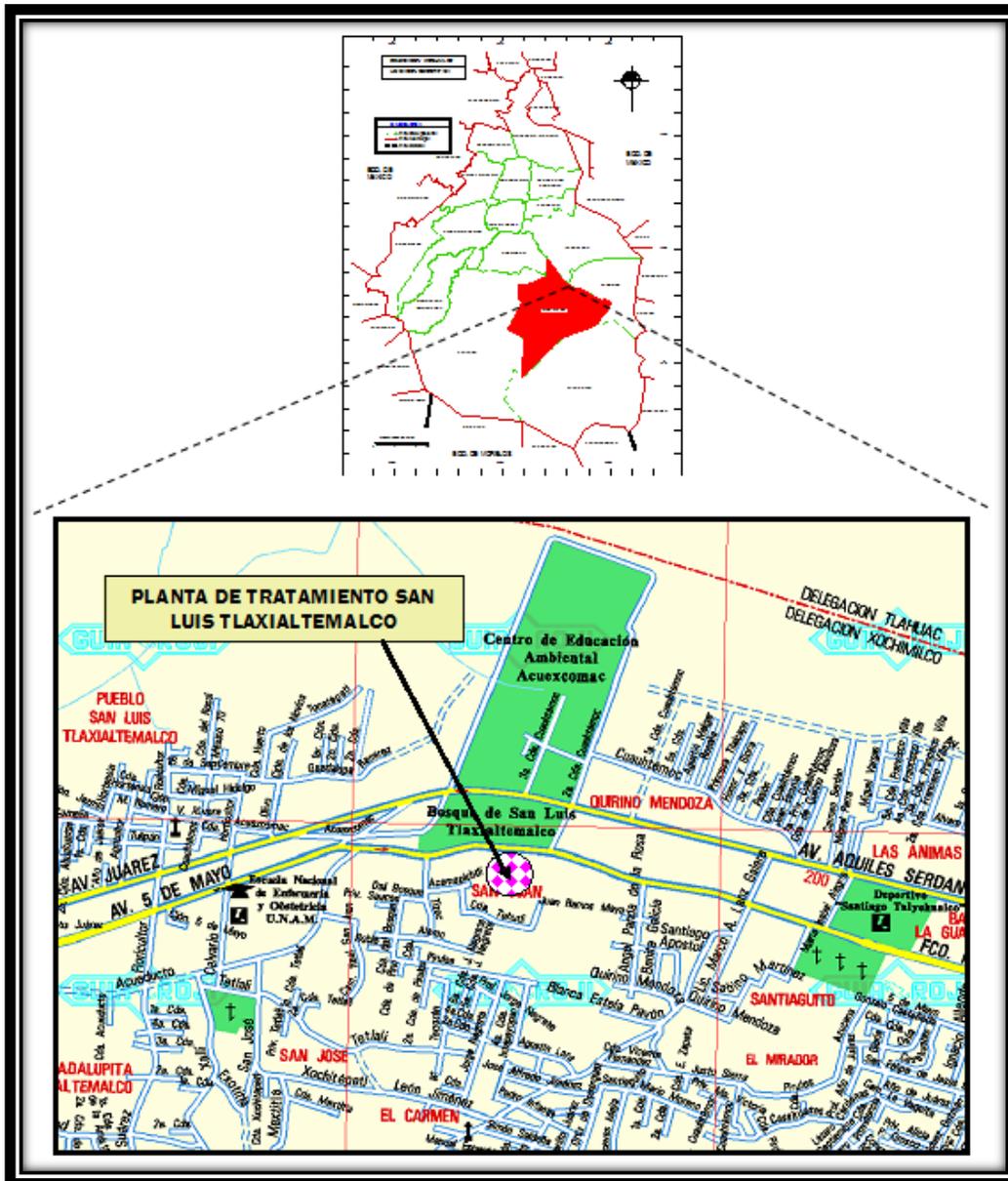


Figura 3.43 Ubicación PTAR San Luis Tlaxialtemalco

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.8 Información básica de la PTAR “San Luis Tlaxialtemalco”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN
1989	225 l/s	120 l/s

Fuente: SACMEX

Eficiencia de operación

Actualmente la planta tiene capacidad para tratar únicamente 150 l/s a través de 2 trenes gemelos de tratamiento, aunque el diseño original de la planta contemplaba 3 trenes con una capacidad de 75 l/s cada uno, por lo que el gasto de diseño de la planta se proporciona como de 225 l/s.

Área de influencia

La planta de Tlaxialtemalco trata las aguas residuales de 4 pueblos distintos, ubicados en la delegación Tláhuac: Nativitas, Santa Cruz Alcapixca, San Gregorio y San Luis Tlaxialtemalco. El agua recolectada de los 4 pueblos llega a un cárcamo de almacenamiento, del cual pasa por bombeo a la planta en cuestión.

Tren de tratamiento

- Se cuenta actualmente con 2 trenes de tratamiento gemelos. Se tiene un tanque de igualación de gasto a la entrada de la planta, lo cual permite entregar un gasto constante a los elementos de tratamiento. En el primer paso del tratamiento, el agua pasa a través de rejillas de limpieza manual, las cuales remueven la basura de mayor tamaño de las aguas municipales.
- Inmediatamente después de las rejillas se cuenta con canales desarenadores (Figura 3.44). El sedimento recolectado en el fondo de estos canales se desazolva y se usa dentro de la planta para relleno de desniveles. Dentro de los desarenadores se cuenta con aparatos digitales de medición de gasto.



Figura 3.44 Canales desarenadores con su respectivo aparato de medición digital de gasto

- Como último paso del tratamiento primario se cuenta con sedimentadores primarios circulares (Figura 3.45). En estos tanques se tiene un brazo mecánico en la superficie para desnatar las grasas, y dragas en el fondo para dirigir las partículas sedimentadas hacia una tolva, donde por medio de bomba se desecha lo recolectado hacia un espesador.



Figura 3.45 Vista general de uno de los sedimentadores circulares con que cuenta la planta de tratamiento.

- Originalmente la planta contaba con tanques espumadores, los cuales funcionaban de forma correcta pero se dejaron de utilizar debido al uso de detergentes biodegradables.
- Como primer paso del tratamiento secundario se cuenta con reactores biológicos con aireación y recirculación de lodos (Figura 3.46). Anteriormente la aireación de los reactores biológicos se llevaba a cabo de forma mecánica, pero recientemente se ha optado por introducir un sistema de difusión de aire extendida, la cual se lleva a cabo por medio de 3 aireadores de 50 HP (uno para cada reactor, el tercero está instalado para cuando se construya el tercer tren de tratamiento). El tiempo de residencia del agua en esta etapa del tratamiento es de 12 a 16 horas.



Figura 3.46 Vista general de uno de los reactores biológicos rectangulares de la planta. Se observa acumulación de lodos en la superficie debido a fallas eléctricas en los aireadores.

- Después de los reactores biológicos el agua pasa a los sedimentadores secundarios (Figura 3.47), los cuales cuentan con dragas de recolección y una tolva en la que se almacenan los lodos, para su posterior recirculación o tratamiento en el digestor.



Figura 3.47 Sedimentador secundario, se almacenan los lodos en una tolva y se recirculan hacia los reactores biológicos.

- Al salir de la sedimentación secundaria, el agua llega a una serie de filtros de antracita, arena y grava de diámetro variable entre 1 y 1.5 metros. Estos filtros cuentan con un sistema de retrolavado con la ayuda de 2 bombas de 50 HP y 2 bombas de 100 HP. El agua utilizada para el retrolavado de los mismos es recirculada al inicio de la planta para su tratamiento.
- Finalmente, se lleva a cabo la desinfección del efluente con hipoclorito por goteo (Figura 3.48). El agua permanece alrededor de 20 minutos en un laberinto y llega por gravedad al tanque de almacenamiento de agua tratada.



Figura 3.48 Instalación para la desinfección del efluente del tratamiento secundario con hipoclorito por goteo.

- A diferencia de otras plantas, en San Luis Tlaxialtemalco se cuenta con tratamiento de lodos. Primero los lodos a tratar llegan a un digestor con aireación, pasan al espesador y por último a los lechos de secado (Figura 3.49), donde tardan aproximadamente 30 días en secarse, dejando un lodo rico en nutrientes, el cual se usa para el relleno de desniveles dentro de los terrenos de la planta (Figura 3.50).



Figura 3.49 Interior de uno de los lechos de secado de lodos, del lado izquierdo se observa un lodo fresco, mientras que a la derecha se tiene un lodo a punto de finalizar su secado.



Figura 3.50 Vista de una cancha recreativa para los empleados de la planta, creada a partir del relleno de desniveles utilizando los lodos tratados en los lechos de secado.

Personal de operación

La planta es operada por alrededor de 35 personas diariamente, incluyendo personal de laboratorio, administración, operación y mantenimiento.

Usos para el agua tratada

El agua tratada es enviada por gravedad fuera de la planta para el riego de cultivos en las zonas agrícolas de los alrededores, así como para riego en las zonas aledañas que lo requieran por medio de pipas.

Problemas actuales de la planta

La planta parece estar en buenas condiciones, sin fallas en los dispositivos mecánicos ni problemas graves de operación de ningún tipo. Se tiene algo de desperdicio de espacio con los tanques espumadores que se encuentran entre los sedimentadores primarios y los reactores biológicos, pero el operador asegura que en fechas próximas serán sustituidos por bioselectores. También existen 12 lechos de secado, de los cuales sólo se utilizan 2 actualmente, los demás están abandonados o se utilizan como bodegas de almacenamiento en el mejor de los casos, debido principalmente a que con 2 lechos de secado es más que suficiente para el tratamiento de los lodos que la planta genera regularmente. Se han tenido en ocasiones problemas menores con el suministro de energía eléctrica, lo cual causa una ligera acumulación de lodos en la superficie de los reactores biológicos, pero esto se soluciona en cuanto se normaliza el suministro de la energía a la planta. En general no existen tampoco problemas de mantenimiento. Se necesita la ampliación de la red de agua tratada, SACMEX estima un costo de alrededor de \$50,000,000 de pesos.

Plantas de tratamiento operadas por el SACMEX cuya información fue proporcionada.

A continuación se presentarán el resto de las plantas operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México que no fueron visitadas por el autor, presentando de cada una información general proporcionada por la dependencia.

3.2.9 PTAR “Picos Iztacalco”

Se ubica en Avenida Girasol S/n, Esquina Caazhuete y Raíz, colonia Unidad Habitacional fononavit Picos Iztacalco, Delegación Iztacalco, Figura 3.51

En el Cuadro 3.9 se presenta la información básica de la PTAR.

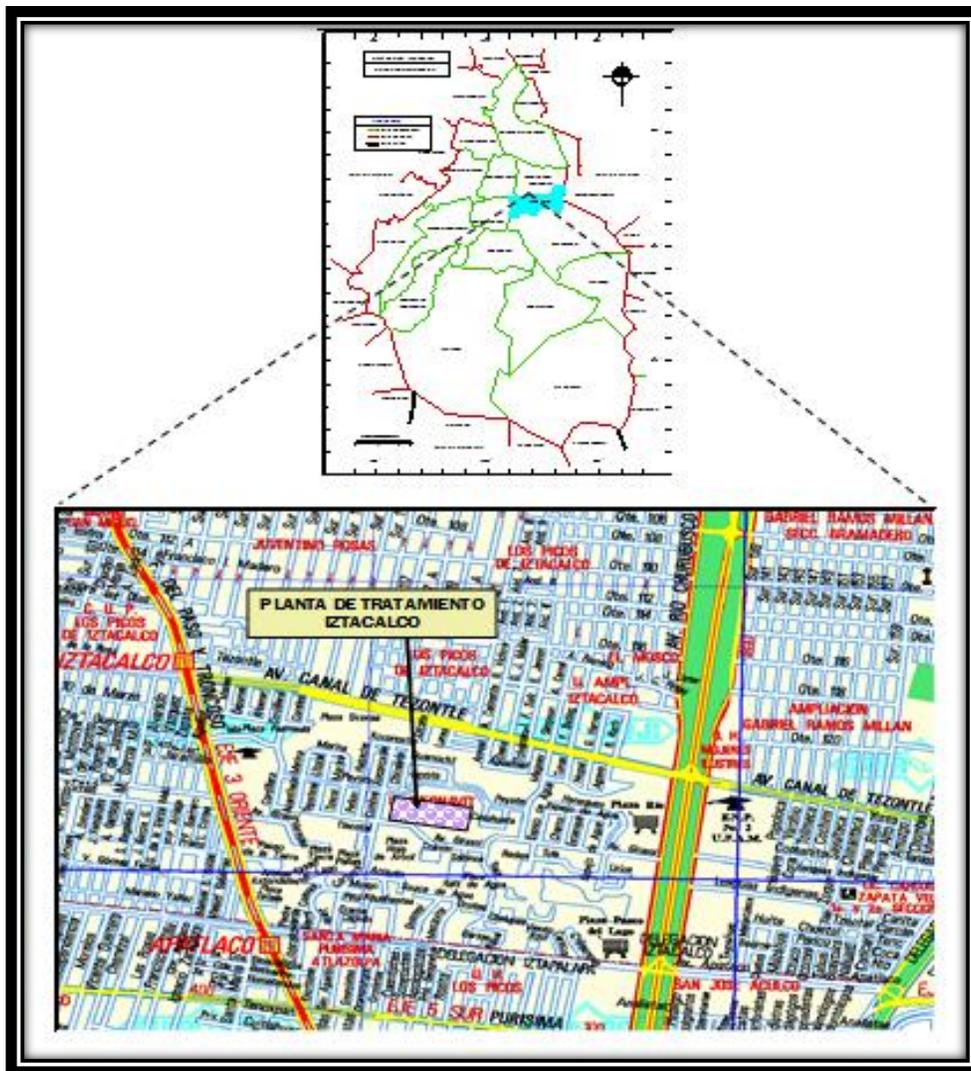


Figura 3.51 Ubicación PTAR Picos Iztacalco

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.9 Información básica de la PTAR “Picos Iztacalco”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1971	13 l/s	5 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Terciario	Riego de áreas verdes en la unidad Infonavit Iztacalco

Fuente: SACMEX

3.2.10 PTAR “Abasolo”

Se ubica en la Carretera México - Ajusco Km. 5 y Camino Real al Ajusco Pueblo de San Miguel Ajusco Deleg. Tlalpan, Figura 3.52.

En el Cuadro 3.10 se presenta la información básica de la PTAR.

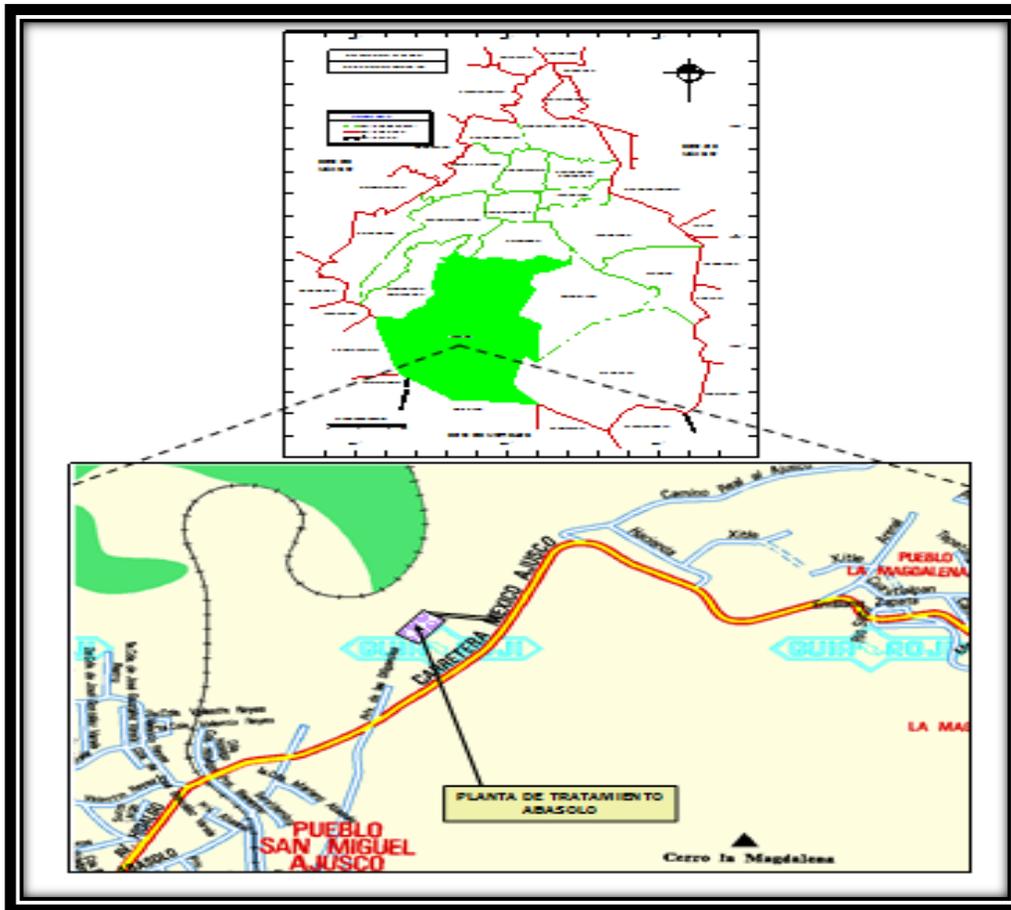


Figura 3.52 Ubicación PTAR Abasolo

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.10 Información básica de la PTAR “Abasolo”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1993	15 l/s	7 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Secundario con desinfección	Riego de áreas verdes y zonas de viveros

Fuente: SACMEX

3.2.11 PTAR “Pemex – Picacho”

Ubicada en Blvd. Presidente Adolfo Ruiz Cortínez (Periférico Sur) No. 4091, Col Fuentes del Pedregal Deleg. Tlalpan, Figura 3.53.

En el Cuadro 3.11 se presenta la información básica de la PTAR.

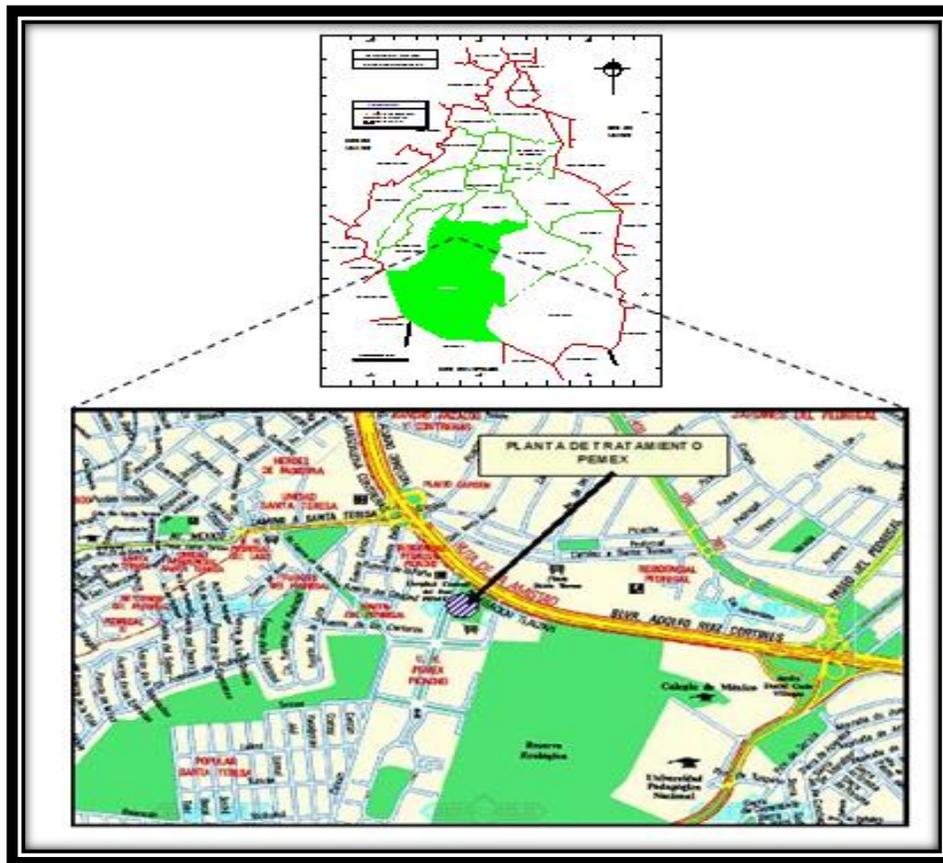


Figura 3.53 Ubicación PTAR Pemex – Picacho

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.11 Información básica de la PTAR “Pemex - Picacho”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1994	26 l/s	10 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Secundario con desinfección	Riego de áreas verdes

Observaciones: Es necesaria la construcción de redes de conducción y distribución, lo cual tendría un costo de \$1,000,000. La planta no ha recibido mantenimiento desde 1993.

Fuente: SACMEX

3.2.12 PTAR “San Miguel Xicalco”

Ubicada en Carretera Federal México - Cuernavaca Km. 25, Pueblo San Miguel Xicalco Delegación Tlalpan, Figura 3.54

En el Cuadro 3.12 se presenta la información básica de la PTAR.

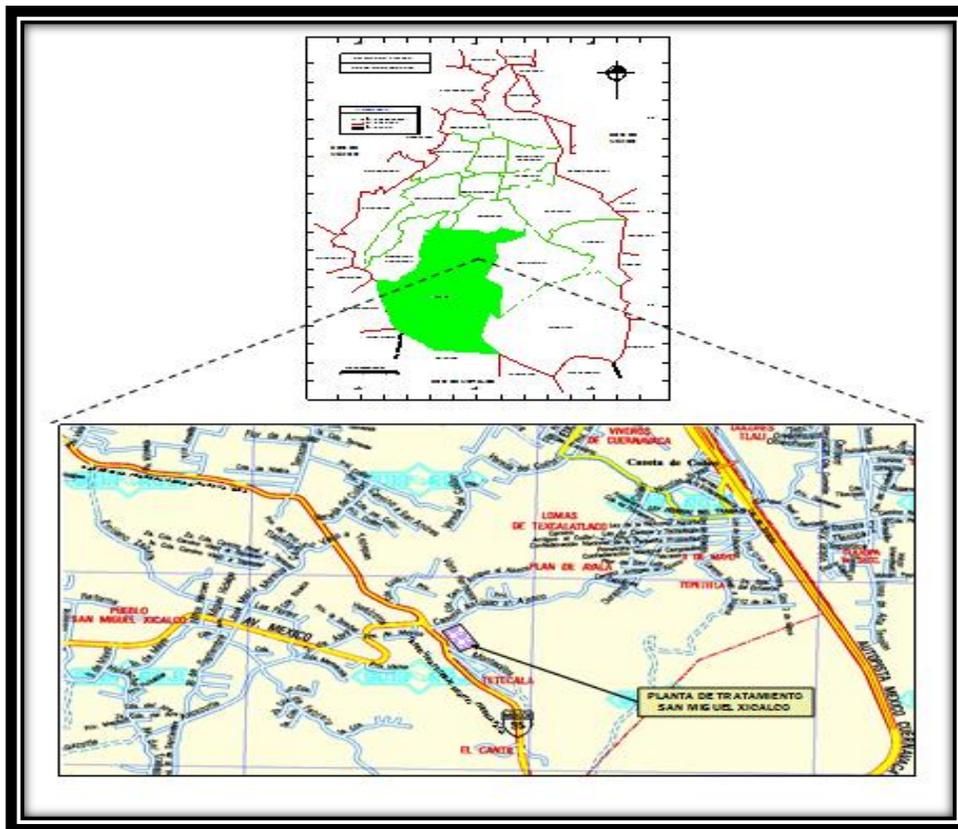


Figura 3.54 Ubicación PTAR San Miguel Xicalco

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.12 Información básica de la PTAR “San Miguel Xicalco”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1994	7.5 l/s	4 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Secundario	Riego de áreas verdes

Fuente: SACMEX

3.2.13 PTAR “Parres”

Ubicada en la Carretera Federal México - Cuernavaca Km. 38 Pueblo Parres - El Guarda Delegación Tlalpan, Figura 3.55.

En el Cuadro 3.13 se presenta la información básica de la PTAR.

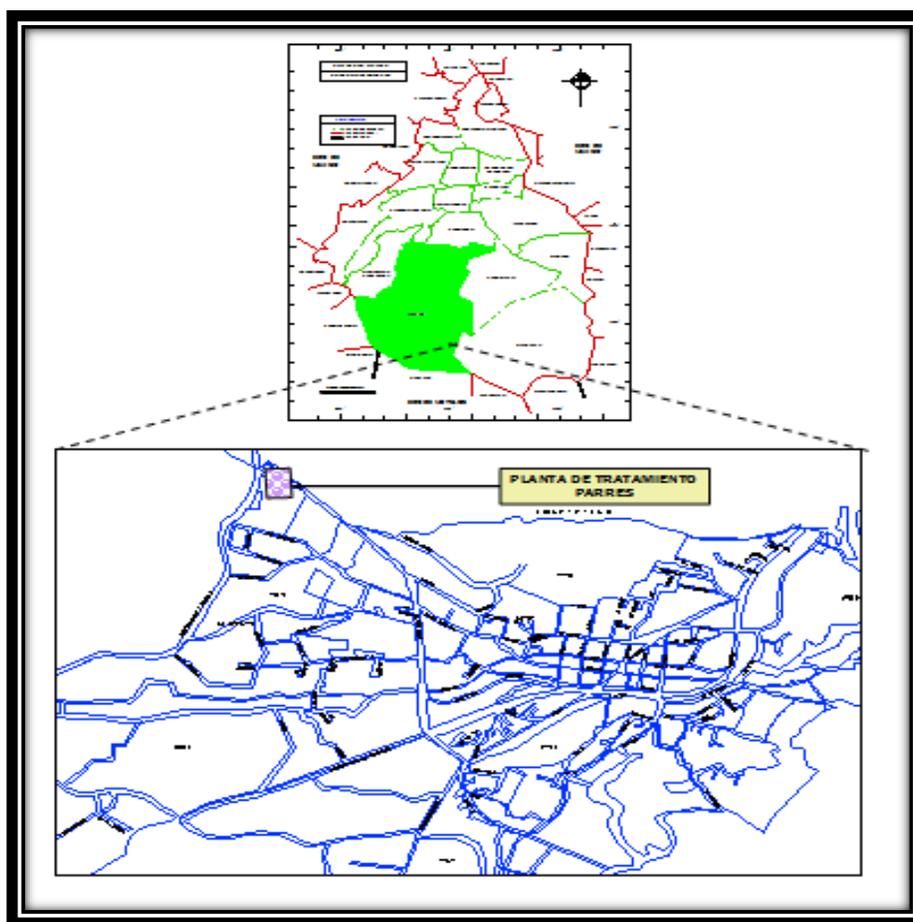


Figura 3.55 Ubicación PTAR Parres

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.13 Información básica de la PTAR “Parres”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1994	7 l/s	7 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Secundario con desinfección	Riego de áreas verdes y planta de asfalto

Fuente: SACMEX

3.2.14 PTAR “Reclusorio Sur”

Ubicada en Circuito Martínez De Castro S/n, Lado Poniente Del Reclusorio Sur Colonia Haxcallote, Pueblo San Mateo Xalpa Delegación Xochimilco, Figura 3.56.

En el Cuadro 3.14 se presenta la información básica de la PTAR.

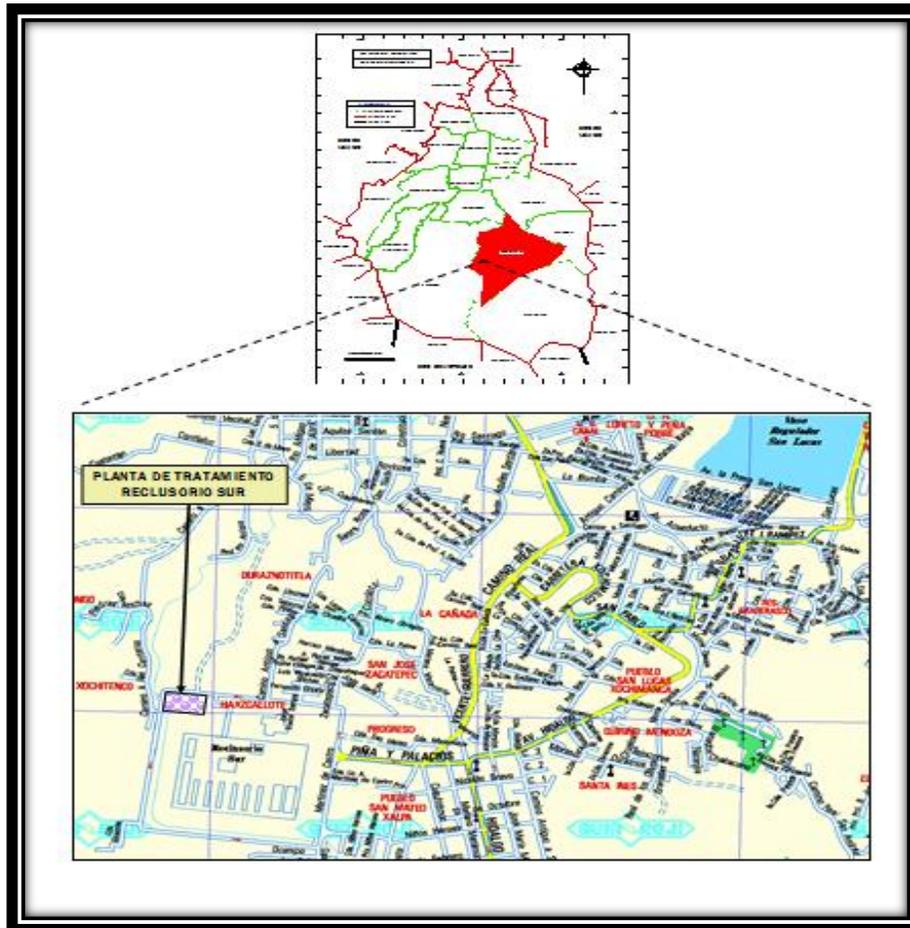


Figura 3.56 Ubicación PTAR Reclusorio Sur

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.14 Información básica de la PTAR “Reclusorio Sur”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1981	30 l/s	18 l/s	Lodos activados con tratamiento de lodos	Secundario	Servicios en el Reclusorio y descargas al río Santiago para control de la contaminación

Observaciones: La planta no recibe mantenimiento desde el año 1989, actualmente necesita una fuerte inversión para rehabilitación de \$15,000,000 de pesos.

Fuente: SACMEX

3.2.15 PTAR “San Andrés Mixquic”

Se ubica en Bordo Norte De Canal Ameca S/n, Casi Esquina Con Lázaro Cárdenas, Bo. Sta. Cruz, Pueblo de San Andrés Mixquic Delegación Tláhuac, Figura 3.57.

En el Cuadro 3.15 se presenta la información básica de la PTAR.

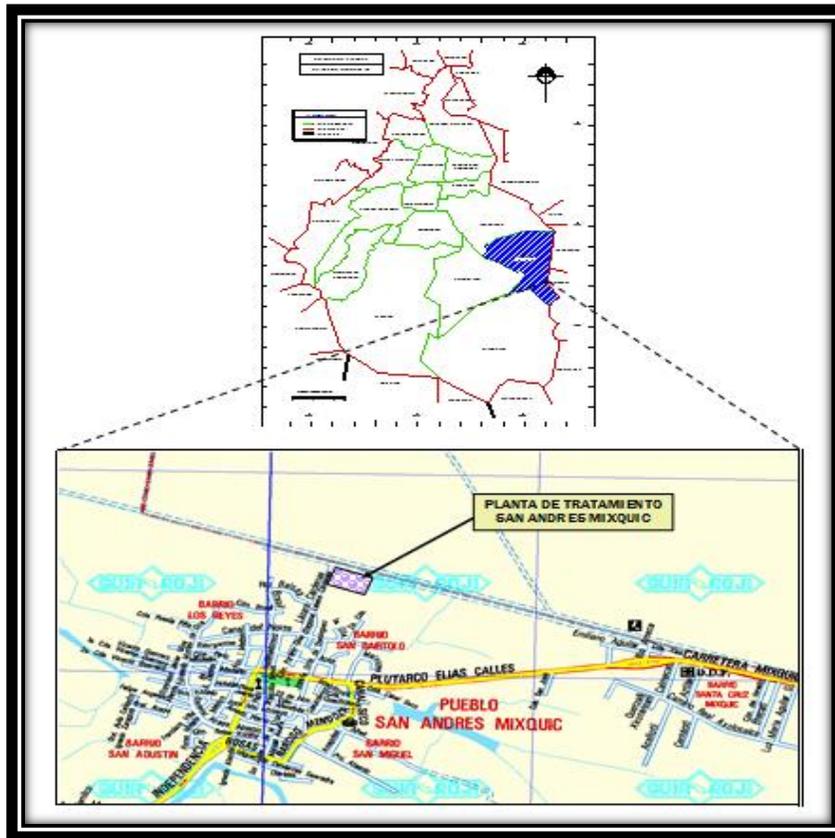


Figura 3.57 Ubicación PTAR San Andrés Mixquic

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.15 Información básica de la PTAR “San Andrés Mixquic”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1997	30 l/s	25 l/s	Lodos activados con tratamiento de lodos	Secundario con desinfección	Riego agrícola en la delegación Tláhuac

Fuente: SACMEX

3.2.16 PTAR “San Nicolás Tetelco”

Se ubica en Cda. 20 De Noviembre S/N Col. Emiliano Zapata Pueblo de San Nicolás Tetelco, Delegación Tláhuac, Figura 3.58.

En el Cuadro 3.16 se presenta la información básica de la PTAR.

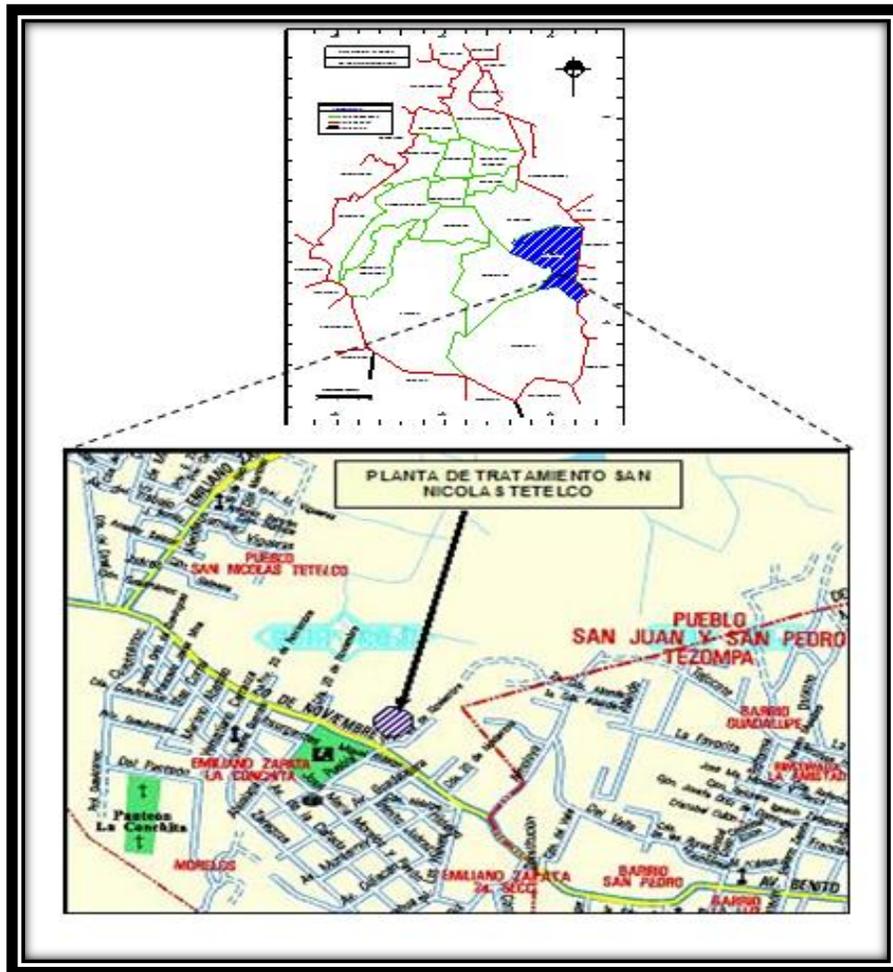


Figura 3.58 Ubicación PTAR San Nicolás Tetelco

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.16 Información básica de la PTAR “San Nicolás Tetelco”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1993	15 l/s	10 l/s	Lodos activados con tratamiento de lodos	Secundario	Riego en zona agrícola de San Nicolás Tetelco

Observaciones: se necesita aumentar el tratamiento a los 15 l/s de diseño pues actualmente no se satisfacen las necesidades de los productores, esto tendría un costo de alrededor de \$500,000.

Fuente: SACMEX

3.2.17 PTAR “La Lupita”

Ubicada en Calle Benito Juárez S/n, Esquina Allende Bo. La Lupita, Pueblo De San Juan Ixtayopan Delegación Tláhuac, Figura 3.59.

En el Cuadro 3.17 se presenta la información básica de la PTAR.

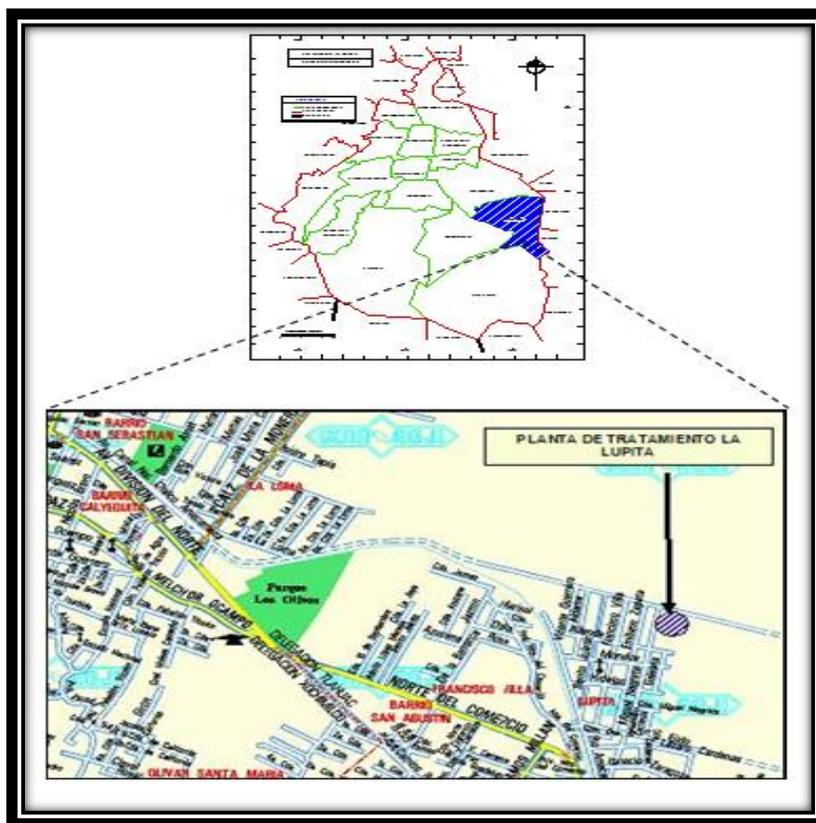


Figura 3.59 Ubicación PTAR La Lupita

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.17 Información básica de la PTAR “La Lupita”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1994	15 l/s	14 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Secundario	Riego en zona agrícola de San Juan Ixtayopan

Fuente: SACMEX

3.2.18 PTAR “San Pedro Atocpan”

Ubicada en la Carretera Xochimilco - Oaxtepec Km. 17 + 400, Esquina Con Camino Real, Pueblo De San Pedro Atocpan Delegación Milpa Alta, Figura 3.60.

En el Cuadro 3.18 se presenta la información básica de la PTAR.

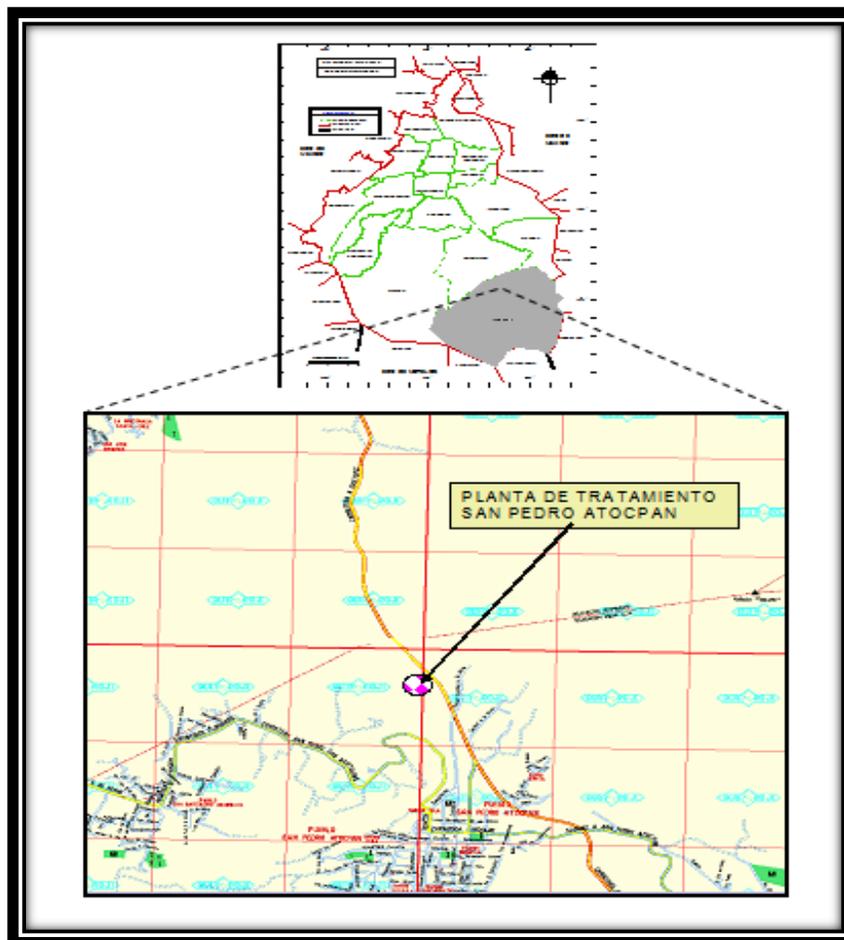


Figura 3.60 Ubicación PTAR San Pedro Atocpan

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.18 Información básica de la PTAR “San Pedro Atocpan”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1997	60 l/s	30 l/s	Lodos activados y anóxico con tratamiento de lodos	Secundario con desinfección	Riego de la zona agrícola en la delegación Milpa Alta

Fuente: SACMEX

3.2.19 PTAR “El Rosario”

Ubicada en Av. de las Culturas S/n. Esquina Eje 5 Norte, Col. Unidad Habitacional El Rosario, Delegación Azcapotzalco, Figura 3.61.

En el Cuadro 3.19 se presenta la información básica de la PTAR.

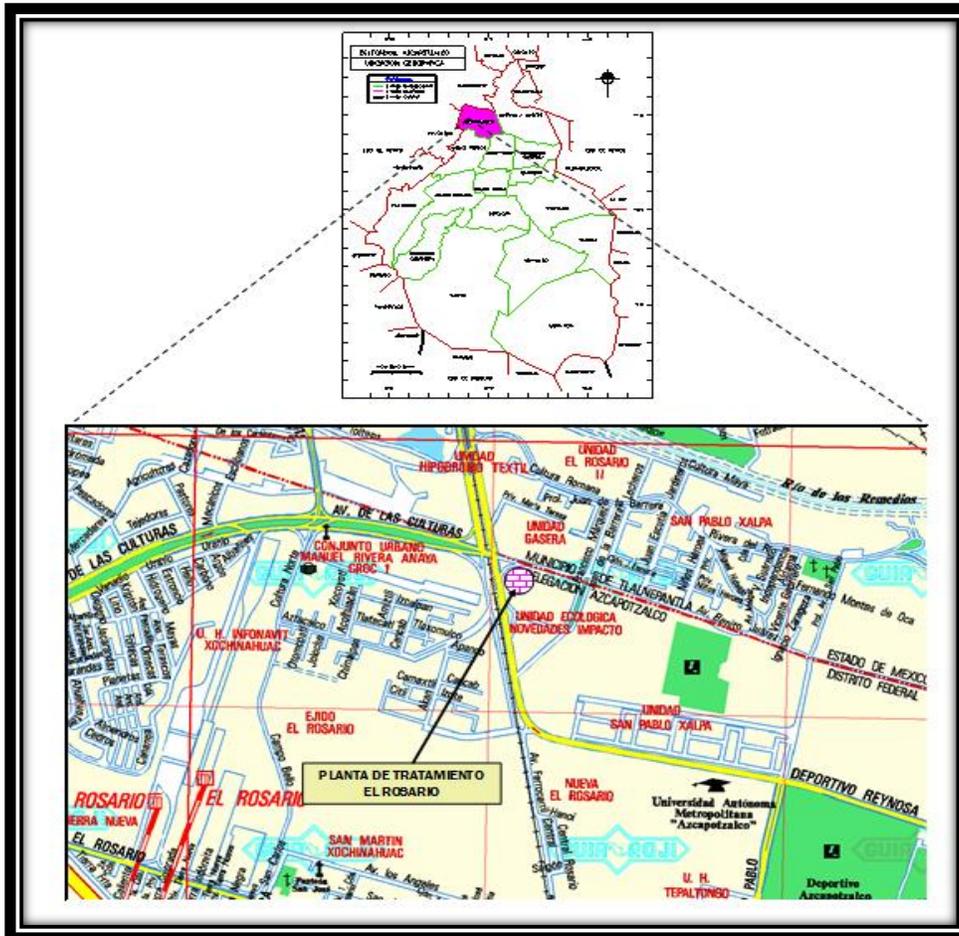


Figura 3.61 Ubicación PTAR El Rosario

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.19 Información básica de la PTAR “El Rosario”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1981	25 l/s	15 l/s	Lodos activados	Terciario con desinfección	Riego de áreas verdes en Azcapotzalco y llenado de lago en parque Tezozómoc

Observaciones: la planta requiere de inversión para aumentar su capacidad de tratamiento, pues actualmente no satisface la demanda del lago Tezozómoc y la Alameda del Norte.

Fuente: SACMEX

3.3 Plantas de Tratamiento Concesionadas

3.3.1 PTAR “Coyoacán”

Ubicada en Avenida Heroica Escuela Naval Militar No. 66, Colonia Paseos de Taxqueña, Delegación Coyoacán, Figura 3.62.

En el Cuadro 3.20 se presenta la información básica de la PTAR.

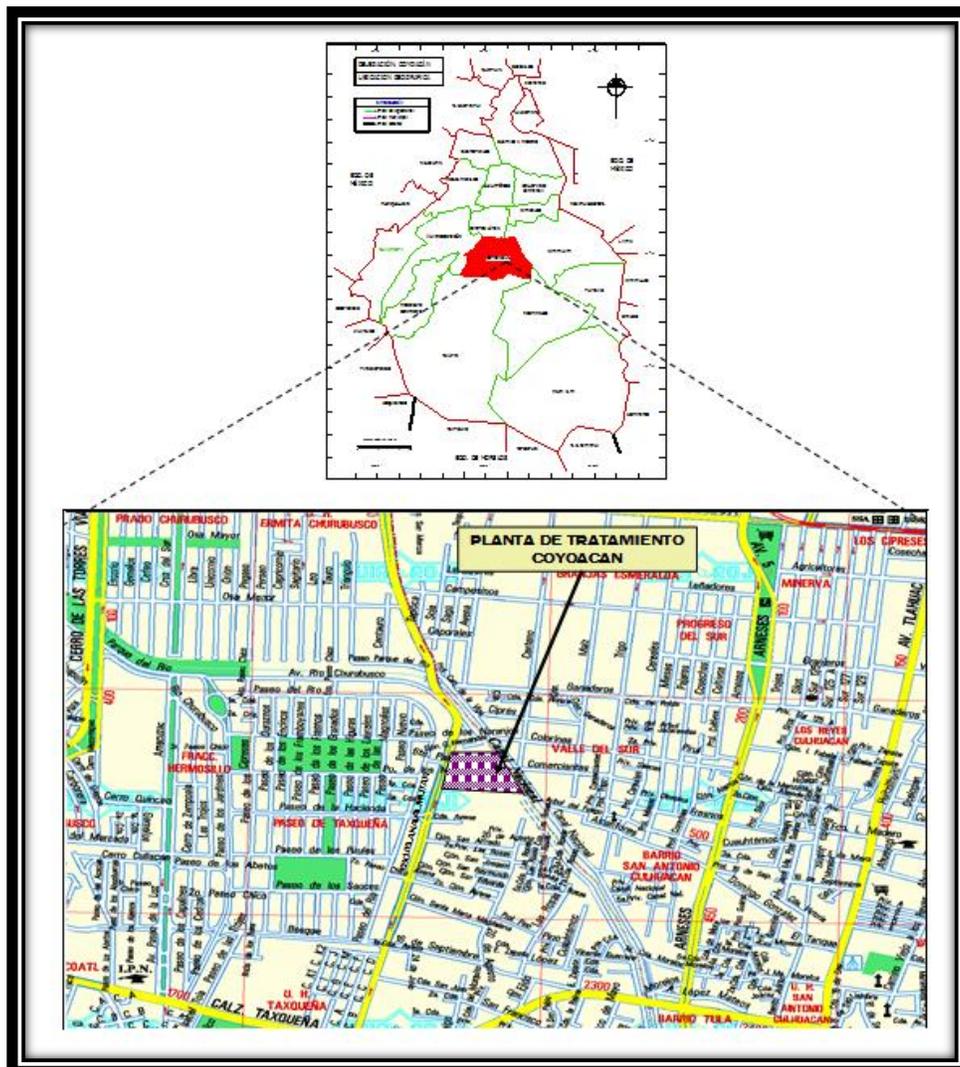


Figura 3.62 Ubicación PTAR Coyoacán

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.20 Información básica de la PTAR “Coyoacán”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1958	400 l/s	200 l/s	Lodos activados convencional	Secundario	Riego de áreas verdes en Coyoacán y delegaciones aledañas

Empresa concesionaria: Operadora de Ecosistemas, S.A. de C.V.

Fuente: SACMEX

3.3.2 PTAR “Ciudad Deportiva”

Ubicada en Lateral Del Viaducto Río de la Piedad S/n. Esquina Avenida Río Churubusco, Colonia Magdalena Mixhuca, Delegación Iztacalco, Figura 3.63.

En el Cuadro 3.21 se presenta la información básica de la PTAR.

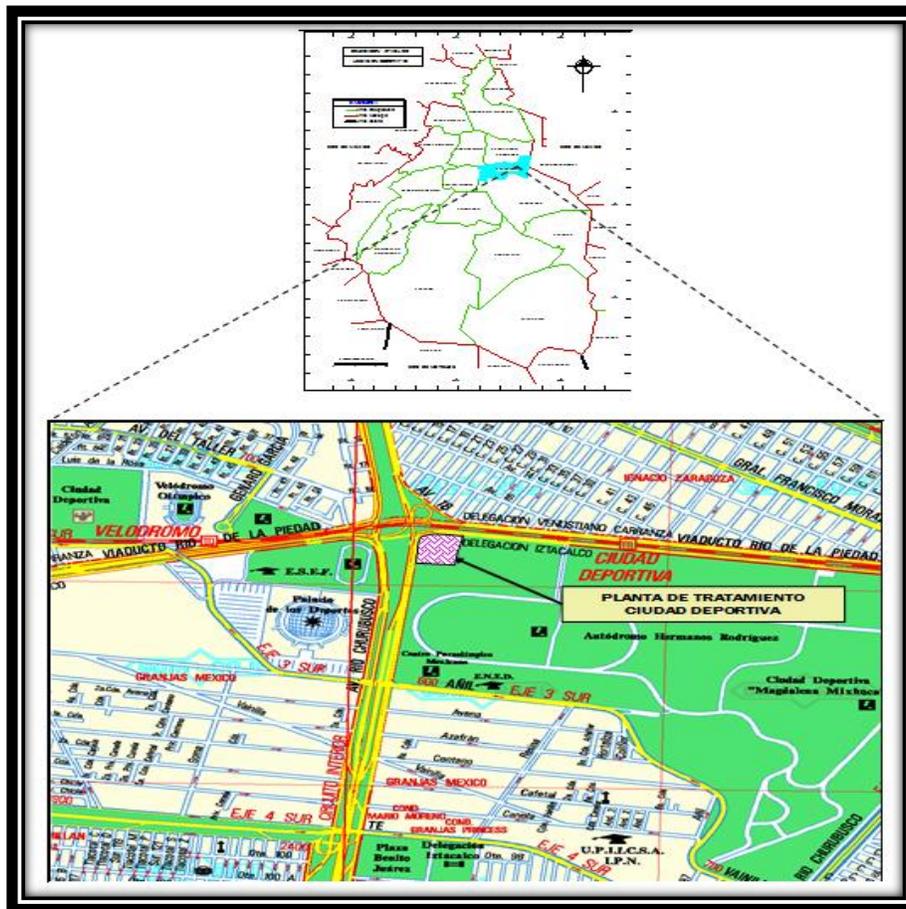


Figura 3.63 Ubicación PTAR Ciudad Deportiva

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.21 Información básica de la PTAR “Ciudad Deportiva”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1958	230 l/s	150 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Secundario con desinfección	Zonas industriales de Iztapalapa e Iztacalco. Riego de áreas verdes en el deportivo.

Empresa concesionaria: Aguas Tratadas de Iztacalco, S.A. de C.V.

Fuente: SACMEX

3.3.3. PTAR “Acueducto de Guadalupe”

Ubicada en Calle Piélago No. 27, Frac. Acueducto de Guadalupe, Delegación Gustavo A. Madero, Figura 3.64.

En el Cuadro 3.22 se presenta la información básica de la PTAR.

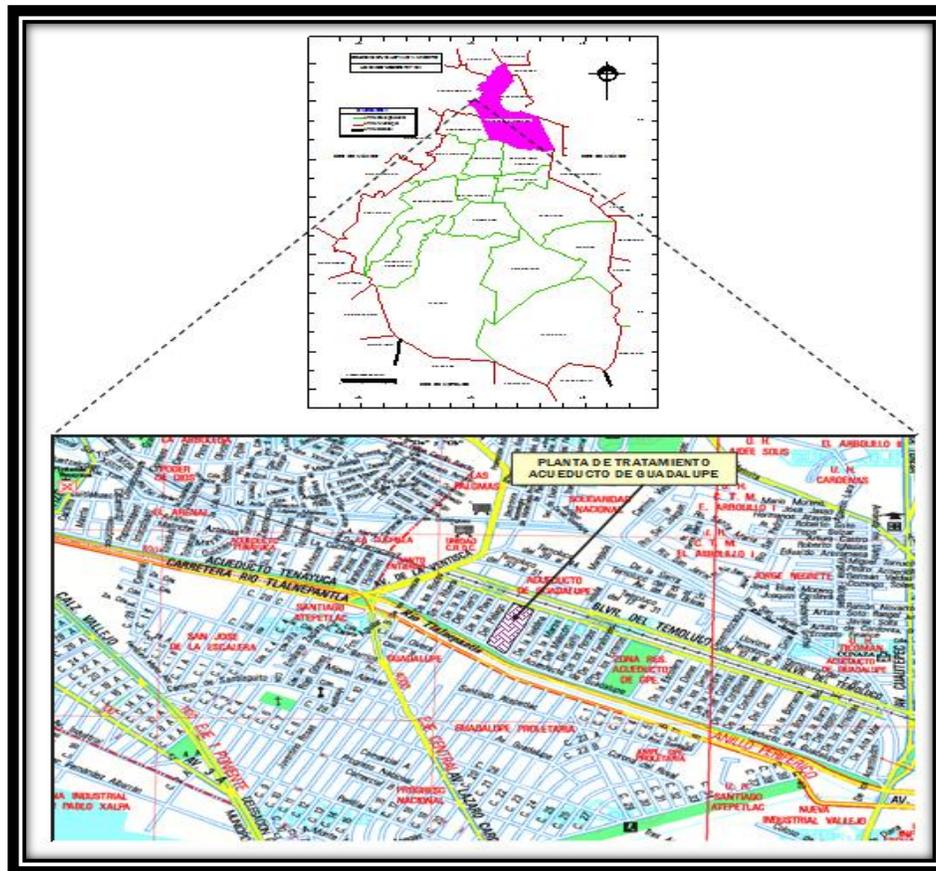


Figura 3.64 Ubicación PTAR Acueducto de Guadalupe

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.22 Información básica de la PTAR “Acueducto de Guadalupe”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1958	80 l/s	100 l/s	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Secundario con desinfección	Zona industrial Vallejo, riego de áreas verdes

Empresa concesionaria: Aguas Industriales de Vallejo, S.A. de C.V.

Fuente: SACMEX

3.3.4 PTAR “Santa Fe”

Ubicada en Calle Encinal S/n. Esquina Avenida Jalalpa Sur, Colonia Jalalpa Tepito, Delegación Álvaro Obregón, Figura 3.65.

En el Cuadro 3.23 se presenta la información básica de la PTAR.

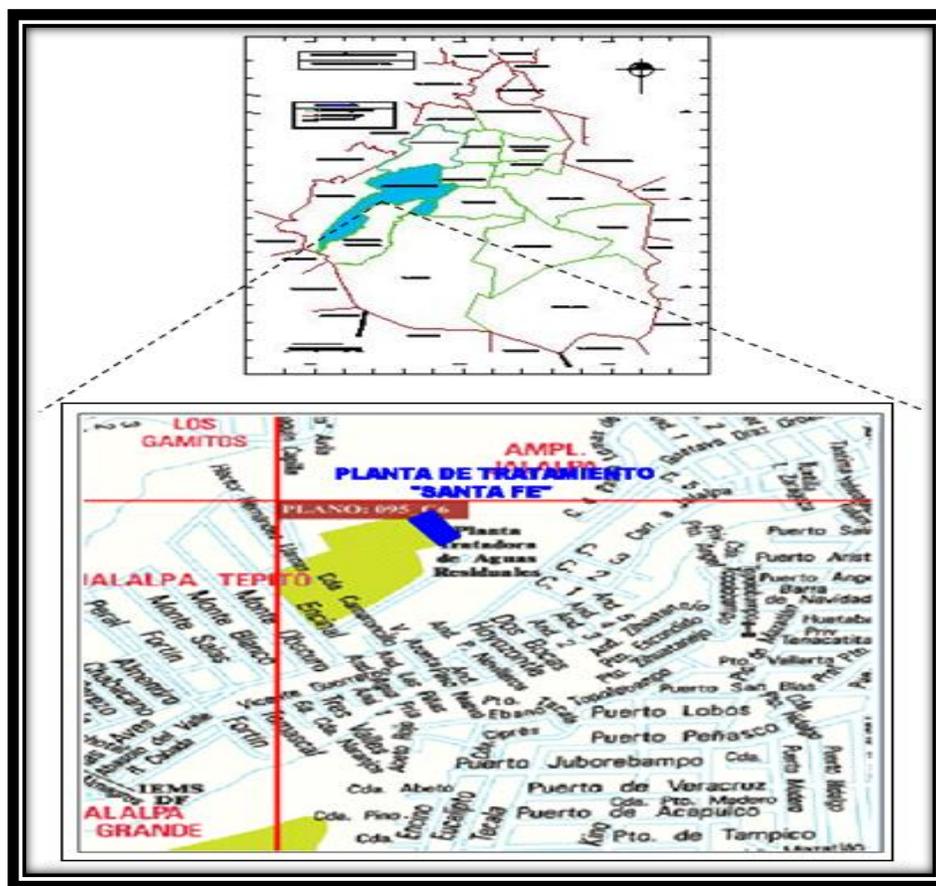


Figura 3.65 Ubicación PTAR Santa Fe

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.23 Información básica de la PTAR “Santa Fe”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1994	280 l/s	140 l/s	Lodos activados convencional con tratamiento de lodos	Terciario con desinfección	Riego de áreas verdes Zedec Santa Fé

Empresa concesionaria: H2Orizontes, S.A. de C.V.

Fuente: SACMEX

3.4 Plantas de Tratamiento en Rehabilitación y Fuera de Servicio

3.4.1 PTAR “El Llano” (en rehabilitación)

Ubicada en Bordo Sur del Canal Amecameca, Esquina Puente de Tubos, Colonia El Llano, Pueblo de San Juan Ixtayopan, Delegación Tláhuac, Figura 3.66.

En el Cuadro 3.24 se presenta la información básica de la PTAR.

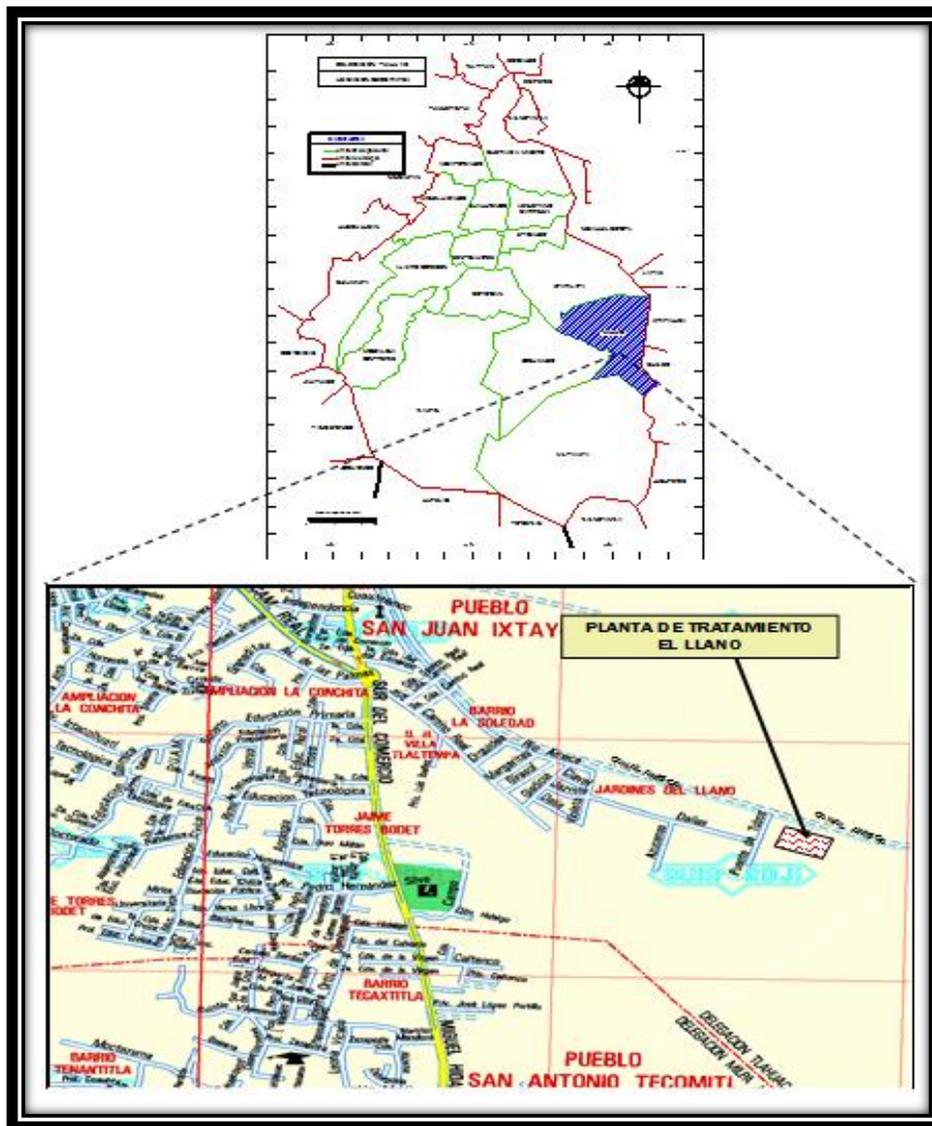


Figura 3.66 Ubicación PTAR El Llano

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.24 Información básica de la PTAR “El Llano”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
2000	250 l/s	-	Biológico facultativo con tratamiento de lodos	Terciario con filtración y desinfección con rayos ultravioleta	Riego agrícola y recarga de acuíferos

Costo total de la rehabilitación: \$50,000,000.00 de pesos

Fuente: SACMEX

3.4.2 PTAR “Rastro Milpa Alta” (Fuera de servicio)

Ubicada en Avenida Nuevo León Esquina Avenida Jalisco, Dentro del Rastro De Milpa Alta, Delegación Milpa Alta, Figura 3.67.

En el Cuadro 3.25 se presenta la información básica de la PTAR.

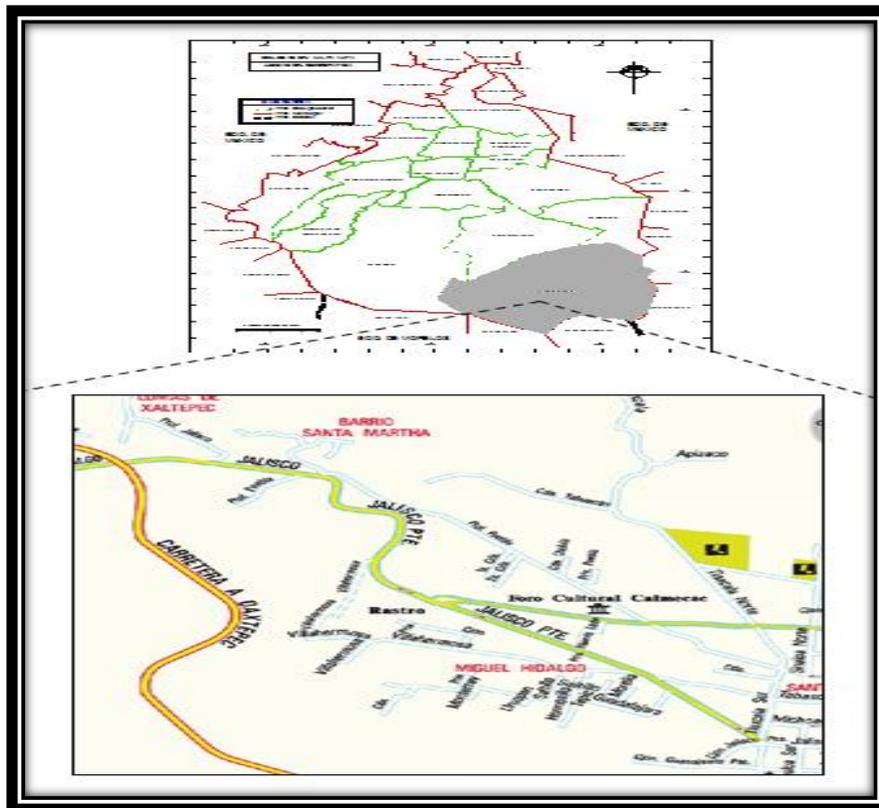


Figura 3.67 Ubicación PTAR Milpa Alta

Fuente: SACMEX

Cuadro 3.25 Información básica de la PTAR “Rastro Milpa Alta”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACIÓN	PROCESO BÁSICO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	USOS PARA AGUA TRATADA
1993	7 l/s	-	Lodos activados convencional sin tratamiento de lodos	Primario con reactor anaerobio	Riego de áreas verdes

Fuente: SACMEX

4. DIAGNÓSTICO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

4.1 Consideraciones técnicas

La operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales depende de la calidad y mantenimiento de su infraestructura que permita cumplir con su capacidad de diseño, al mismo tiempo se requieren de sistemas de recolección de aguas residuales en condiciones que las abastezcan adecuadamente. En la Ciudad de México son pocas las plantas de tratamiento que han sido construidas a partir del siglo XXI, por lo que en general presentan deficiencias asociadas a la edad de la infraestructura con la que operan actualmente, incluyendo la red de drenaje que las abastece, la cual ha sufrido junto con el resto de la ciudad los daños causados por los hundimientos que se presentan en diversas partes del suelo donde se encuentra asentada la Ciudad de México.

Las PTAR que operan actualmente en la Ciudad de México presentan, en su mayoría, fallas en el equipo mecánico, infraestructura que rebasa su vida útil y procesos de tratamiento fuera de servicio. Lo anterior representa un gran problema, pues sumado al hecho de que en la entidad sólo se trata el 15% de las aguas residuales que se generan diariamente, las plantas se encuentran en un proceso de deterioro que merma lentamente la capacidad de tratamiento de las mismas, creando una diferencia cada vez mayor entre el gasto para el que fueron diseñadas y el gasto al que pueden operar. Actualmente sólo un par de las 25 plantas con las que cuenta la ciudad se encuentran operando al gasto para el que fueron diseñadas, mientras que las demás, ya sea por fallas en la infraestructura, en el equipo o por falta de mantenimiento, se encuentran operando con gastos menores que aquellos para los que fueron diseñadas. En la Tabla 4.1 se presenta un resumen de los gastos de diseño y los gastos de operación actuales para cada una de las 25 plantas de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de México.

Tabla 4.1 Comparación entre gastos de diseño y gastos de operación de las P.T.A.R. de la Ciudad de México

Planta de Tratamiento	Gasto de Diseño (l/s)	Gasto de operación (l/s)
Cerro de la Estrella	4000	2300
Santa Martha	14	22
Bosques de las Lomas	55	16
San Juan de Aragón	500	250
Chapultepec	160	110
Tlatelolco	22	11
San Lorenzo	225	50
San Luis Tlaxialtemalco	225	120
Picos Iztacalco	13	5
Abasolo	15	7
Pemex-Picacho	26	10
San Miguel Xicalco	7.5	4
Parres	7	7

Reclusorio Sur	30	18
San Andrés Mixquic	30	25
San Nicolás Tetelco	15	10
La Lupita	15	14
San Pedro Atocpan	60	30
El Rosario	25	15
Coyoacán	400	200
Ciudad Deportiva	230	150
Acueducto de Guadalupe	80	100
Santa Fe	280	140
El Llano	250	-
Rastro Milpa Alta	7	-
TOTAL:	6,691.5	3,614

Fuente: SACMEX, 2012

Para comprender mejor el nivel de rezago de la Ciudad de México en el tratamiento de las aguas residuales que generan sus habitantes, es conveniente comparar las estadísticas resultantes de la Tabla 4.1 con las de las demás entidades que conforman la República Mexicana. En la Tabla 4.2 se observa cómo se encuentra la Ciudad de México en el ámbito del tratamiento en relación al resto de las entidades del país.

Tabla 4.2 Caudal de aguas residuales municipales tratadas, en plantas de tratamiento por entidad federativa, 2010

Entidad Federativa	En Operación			
	Nº de plantas	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cobertura de tratamiento (%)
Aguascalientes	131	4 583.0	2 931.2	100
Baja California	36	7 568.6	6 697.6	100
Baja California Sur	23	1 447.5	1 062.8	56.7
Campeche	22	143.0	99.8	5.6
Chiapas	21	1 392.5	918.2	26.4
Chihuahua	154	9 173.1	6 433.8	74.1
Coahuila	23	5 206.5	4 026.0	50.7

Colima	65	1 809.2	1 368.4	51.8
Ciudad de México	25	6 691.5	3 614.8	15.1
Durango	175	4 371.9	3 359.6	68.2
Guanajuato	62	5 990.4	4 443.6	53.2
Guerrero	57	3 875.8	3 355.0	88.5
Hidalgo	17	377.5	367.2	14.5
Jalisco	124	4 366.6	3 811.3	26.7
México	136	8 396.0	5 999.6	26.1
Michoacán	25	3 583.0	2 793.1	30.5
Morelos	42	1 726.7	1 336.6	20.5
Nayarit	64	2 393.6	1 628.4	79.0
Nuevo León	61	13 249.0	10 138.9	100
Oaxaca	69	1 520.5	995.1	41.9
Puebla	74	3 178.0	2 571.1	43.8
Querétaro	83	2 278.4	1 499.3	46.2
Quintana Roo	31	2 216.5	1 725.2	62.6
San Luis Potosí	30	2 333.7	1 906.2	61.7
Sinaloa	185	5 645.4	4 809.6	73.6
Sonora	81	4 685.3	2 960.4	35.7
Tabasco	76	1 911.0	1 561.0	21.8
Tamaulipas	42	7 088.8	4 962.5	69.0
Tlaxcala	57	1 312.8	900.1	58.7

Veracruz	106	6 859.9	4 603.3	35.9
Yucatán	25	422.2	130.7	3.4
Zacatecas	61	970.8	875.0	21.3
Total Nacional	2 186	126 847.5	93 600.2	44.8

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2012. CONAGUA

Se observa en la Tabla 4.2 que la Ciudad de México se encuentra en el antepenúltimo lugar de cobertura de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional, sólo por encima de los estados de Yucatán y Campeche. Lo anterior es preocupante, ya que en la zona centro del país, y particularmente en la Ciudad de México, es donde se concentra la gran mayoría de la población del país, y por lo tanto es la zona con mayor densidad de habitantes. Resulta preocupante que una de las ciudades más grandes y más pobladas del mundo trate únicamente el 15% de las aguas residuales generadas.

Análisis del funcionamiento de la infraestructura actual de tratamiento de la Ciudad de México

En general, todas las plantas cuentan con un proceso similar consistente en: tratamiento primario, secundario (biológico) y desinfección con cloro. El tratamiento de las aguas residuales con reactores biológicos es uno de los que más se utilizan en las grandes ciudades, debido al poco espacio disponible para otros tipos de tratamiento que requieren grandes extensiones de terreno para su instalación (ej. lagunas de estabilización) y porque con este método se obtienen, en general, buenos resultados en la calidad del agua del efluente del tratamiento.

En la Tabla 4.3 y Tabla 4.4 se presenta un promedio de las mediciones de los parámetros de calidad del agua para las P.T.A.R. que fueron visitadas por el autor, y la comparación con los límites máximos permisibles que se establecen en las normas NOM-001-ECOL-1996 “LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES” y NOM-003-ECOL-1997 “LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO”.

Tabla 4.3 Comparación de parámetros de calidad del influente y efluente de las plantas visitadas con los parámetros que acepta la NOM-001-ECOL-1996 (Mediciones promedio realizadas en el primer semestre del año 2012)

Parámetro	Unidad	Cerro de la Estrella		Santa Martha		Bosques de las lomas		San Juan de Aragón		Chapultepec		San Lorenzo		San Luis Tlaxialtemalco		NOM-001-ECOL-1996
		INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	
Temperatura	°C	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	40
Grasas y Aceites	mg/l	13.43	5.64	21.46	4.82	177.31	3.75	102.3	4.95	23.7	4.86	60.33	7.7	13.08	5.05	15
Sólidos Sedimentables	ml/l	0.6	0.1	0.7	0.1	7.5	0.1	3.1	0.1	6.19	0.1	0.51	0.1	0.27	0.1	1
Sólidos Suspendidos totales	mg/l	142.16	6.83	206.92	16.91	438.5	7.21	241.08	6.33	309.37	6.72	183.5	36	148.25	12.1	75
DBO-5	mg/l	122.33	3.5	251.41	10.66	225.5	4.08	203.21	3.97	288.52	2.65	149.5	29.25	148.58	3.5	75
Nitrógeno Total	mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	40
Fósforo Total	mg/l	5.75	4.07	10.6	10.5	9.85	2.85	10.255	7.68	8.5	4.5	7.11	6.1	7.51	5.95	20
Arsénico	mg/l	0.0065	0.006	0.0024	0.0035	0.0008	0.0008	0.055	0.0097	0.0008	0.0013	0.0063	0.0009	0.0027	0.0017	0.1
Cadmio	mg/l	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.063	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.1
Cianuros	mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1
Cobre	mg/l	0.045	0.045	0.057	0.045	0.045	0.045	0.091	0.045	0.063	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	4
Cromo	mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.5
Mercurio	mg/l	0.0012	0.0007	0.0018	0.001	0.0013	0.0009	0.002	0.0009	0.0124	0.0008	0.0009	0.0009	0.0006	0.0009	0.005
Níquel	mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2
Plomo	mg/l	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.078	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.2
Zinc	mg/l	0.0876	0.054	0.116	0.057	0.093	0.071	0.26	0.054	0.114	0.117	0.184	0.062	0.119	0.054	10

 Cumple con norma

 No cumple con norma

 Parámetro No Determinado

Fuente: SACMEX. Datos de mediciones llevadas a cabo el primer semestre del año 2012

Tabla 4.4 Comparación de parámetros de calidad del influente y efluente de las plantas visitadas con los parámetros que acepta la NOM-003-ECOL-1997 (Mediciones promedio realizadas en el primer semestre del año 2012)

Parámetro	Unidad	Cerro de la Estrella		Santa Martha		Bosques de las lomas		San Juan de Aragón		Chapultepec		San Lorenzo		San Luis Tlaxialtemalco		NOM-003-ECOL-1997	
		INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	INF	EFL	Contacto directo	Contacto indirecto
Coliformes fecales	Col/100ml	3.36E+06	3.90E+02	4.70E+06	2.97E+02	6.23E+06	7.11E+03	1.56E+07	1.28E+03	1.35E+07	3.29E+03	4.98E+06	4.02+04	6.35E+06	5.78E+03	240	1,000
Huevos de helminto	h/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	5
Grasas y aceites	mg/l	13.43	5.64	21.46	4.82	177.31	3.75	102.3	4.95	23.7	4.86	60.33	7.7	13.08	5.05	15	15
DBO-5	mg/l	122.33	3.5	251.41	10.66	225.5	4.08	203.21	3.97	288.52	2.65	149.5	30.25	148.58	3.5	20	30
Sólidos suspendidos totales	mg/l	142.16	6.83	206.92	16.91	438.5	7.21	241.08	6.33	309.37	6.72	183.5	36	148.25	12.1	20	30

 Cumple con norma

 No cumple con norma

 Parámetro No Determinado

Fuente: SACMEX. Datos de mediciones llevadas a cabo el primer semestre del año 2012

Debido a la antigüedad de los componentes de la mayoría de las plantas y al pobre o nulo mantenimiento; el equipo mecánico, la infraestructura y las tuberías se han ido deteriorando, al punto de presentar fallas considerables, lo cual en algunos casos ha llegado a inhabilitar trenes de tratamiento completos, causando una baja considerable en la eficiencia de operación de algunas de las plantas. La falta de presupuesto y el mal

diseño también han causado que varias plantas que tenían al inicio de su operación sistemas de tratamiento avanzados actualmente hayan tenido que eliminarlos, ya sea por falta de presupuesto o personal para operación de los mismos o debido a fallas en las instalaciones, cuyo costo de reparación sobrepasa los beneficios que traería su operación.

Algunos ejemplos son las plantas de Cerro de la Estrella, Santa Martha y San Lorenzo. En Cerro de la Estrella el sistema de filtros se encuentra actualmente fuera de servicio debido a falta de presupuesto para su correcta operación, en Santa Martha ha sido desmantelada casi en su totalidad la instalación para el tratamiento químico de los lodos que se generan en los reactores biológicos, debido a que el sistema de tratamiento fue mal diseñado desde el principio y nunca se logró que operara de manera eficiente, mientras que en San Lorenzo se encuentra de igual forma desmantelada la instalación para el tratamiento de lodos, la cual funcionaba de forma adecuada pero fue sacada de servicio debido a una falla en los equipos mecánicos para la cual nunca se tuvo presupuesto de reparación.

Existen otros aspectos que han influido negativamente en la operación de varias de las plantas. Por ejemplo, en la Planta de Tratamiento San Juan de Aragón se tienen serios problemas de hundimiento, lo cual ha causado su pérdida y en ocasiones la necesidad de reubicación de equipos, al mismo tiempo que han inhabilitado algunos componentes del proceso de tratamiento, como las dragas que se utilizan en los tanques de sedimentación primaria. También se tienen problemas de pendientes negativas en algunas partes de la conducción de las aguas dentro de la planta, por lo que ha sido necesaria la instalación de equipos de bombeo adicionales para lograr que el agua pueda circular de manera eficiente a través de las diferentes etapas del tratamiento. En la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella se tienen problemas también, con tanques sedimentadores primarios fuera de servicio por falla en los motores que mueven las dragas encargadas de la recolección, además de que el proceso de ampliación de los reactores biológicos se lleva a cabo de forma lenta, por lo que existen actualmente algunos trenes de tratamiento fuera de servicio dentro de la planta. En San Lorenzo la falta de mantenimiento ha causado la clausura total de uno de los tres trenes de tratamiento de los que dispone la planta, además de que los brazos mecánicos de los reactores biológicos de los dos trenes que se encuentran en operación actualmente presentan falla mecánica. Esta planta también tiene problemas de pendientes negativas en una de las conducciones de agua residual hacia uno de los tanques de sedimentación secundaria, debido al hundimiento ocasionado por tezontle colocado en una de las orillas de los terrenos de la planta. En la planta de tratamiento Bosques de las Lomas se tenían inicialmente 3 reactores biológicos con aireación superficial, de los cuales solo uno opera actualmente, mientras que los 2 restantes se utilizan como tanques de almacenamiento para el agua tratada.

En la mayoría de las plantas visitadas se observó que en algún punto del proceso de tratamiento existía equipo mecánico fuera de operación, lo cual representa pérdida de capacidad de tratamiento instalado, incluso en un par de visitas se encontraron las plantas fuera de operación por fallas mayores, como fue el caso de la Planta de Tratamiento de

Santa Martha, en donde las bombas para el abastecimiento de la planta se encontraban fuera de servicio, y el caso de la Planta de Tratamiento San Lorenzo, donde únicamente se encontraban recirculando los lodos para evitar su descomposición, pues una fuga considerable en el sistema de distribución de aguas tratadas a los agricultores estaba siendo reparada.

En muchas de las plantas, aunado al problema de las fallas en los equipos mecánicos y a la edad de la infraestructura de tratamiento, se tiene el problema de que el caudal que llega no es suficiente, razón principal por la que no se opera a la capacidad de diseño de las plantas. La Ciudad de México es la entidad con mejor cobertura de alcantarillado a nivel nacional, pues el 99% de las viviendas en la ciudad cuentan con conexión a la red de alcantarillado, como se puede observar en la Figura 4.1. Lo anterior contrasta fuertemente con la estadística de cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales de la Ciudad de México, que se encuentra en el lugar 30 a nivel nacional, con tan solo el 15% tratado del total de las aguas residuales generadas. Sumado al hecho de que el porcentaje de aguas tratadas es muy bajo, en la mayoría de las plantas de tratamiento se tiene el problema de falta de caudal necesario para funcionar con porcentajes de operación más eficientes. Esto se debe principalmente a la falta de conexiones de los colectores de la ciudad con las plantas de tratamiento. Por supuesto, la construcción y conexión de más colectores representa un gasto sustancial para el gobierno de la ciudad, pero debe ser considerado como prioritario, pues actualmente se tiene un gran desperdicio en la capacidad instalada de tratamiento, pues contando con una capacidad de 6,691.5 l/s, se tratan únicamente 3,614.8 l/s.

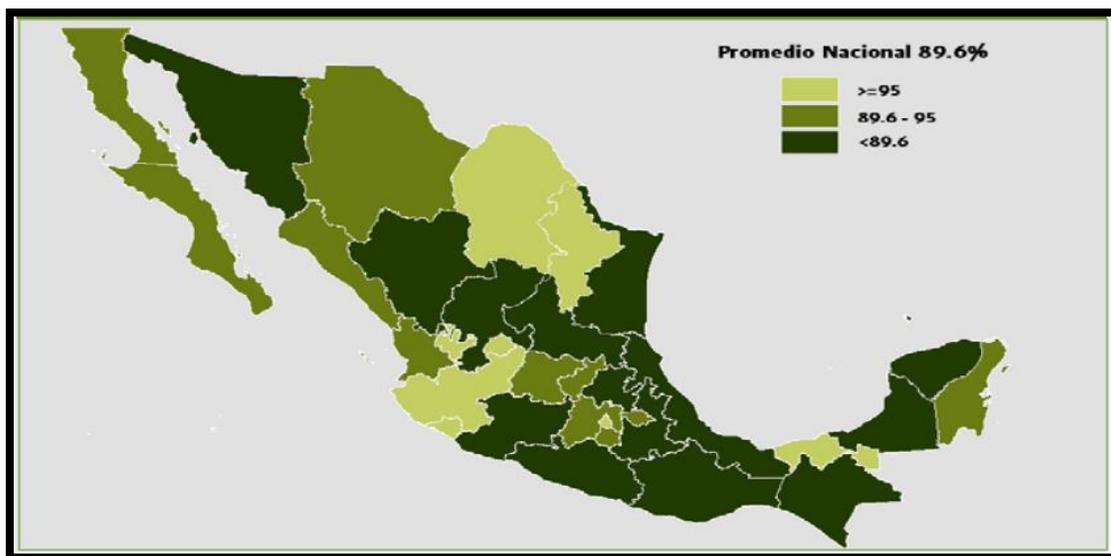


Figura 4.1 Cobertura de la red de alcantarillado en las entidades de la República Mexicana.

Fuente: XIII Censo de Población y Vivienda, INEGI 2010

Los lodos generados dentro del proceso de tratamiento de las plantas también representan un gran problema, pues de las plantas visitadas solo una, la de San Luis Tlaxialtemalco, contaba con sistema de tratamiento de lodos, y del total de 25 plantas operando actualmente en la Ciudad de México, solo 7 cuentan con este tipo de tratamiento. Estas son San Luis Tlaxialtemalco, El Llano (en rehabilitación), Reclusorio Sur, San Andrés Mixquic, San Nicolás Tetelco, San Pedro Atocpan y Santa Fe (concesionada). El resto de las plantas descargan los lodos directamente al drenaje sin estabilización o tratamiento alguno, lo cual está estrictamente prohibido según lo establecido en la NOM-002-ECOL-1996 “LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL”. Es importante resaltar que la disposición de lodos sin tratar resulta muy perjudicial para los terrenos y sus respectivos ecosistemas.

4.2 Consideraciones económicas

El estado en el que se encuentra en general la infraestructura de casi la totalidad de las plantas de tratamiento en la Ciudad de México actualmente, se deriva principalmente de la mala administración del presupuesto que el gobierno destina para el mantenimiento y mejoramiento de los servicios hidráulicos de la Ciudad de México. La prioridad que se ha dado desde siempre al abastecimiento de agua potable sobre los servicios de saneamiento de aguas residuales, ha causado que la gran mayoría de los recursos que el gobierno destina para los servicios hídricos sean utilizados en asegurarse de que las personas tengan acceso a agua de buena calidad dentro de sus domicilios, lo cual resulta en sólo poder utilizar un bajo porcentaje del presupuesto para tratar las aguas residuales que generan los habitantes de la ciudad.

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México es actualmente el organismo desconcentrado que goza de mejor presupuesto en la entidad, según lo establecido en el Decreto de Presupuesto de Egresos del Distrito Federal, como se puede apreciar en la Tabla 4.5, donde se presenta el presupuesto que recibe el SACMEX en relación al resto de los organismos desconcentrados que operan en la Ciudad de México, acorde a los presupuestos de egresos de los años 2011 y 2012. En la Tabla 4.6 se presenta una comparación entre el presupuesto asignado al SACMEX y el resto de las dependencias del gobierno de la Ciudad de México que no están clasificadas como organismos desconcentrados.

Tabla 4.5 Presupuesto asignado a los órganos desconcentrados de la Ciudad de México para los años 2011 y 2012 (Millones de pesos)

Órgano desconcentrado	Monto asignado (2011)	Monto asignado (2012)	Porcentaje del total (2011) (%)	Porcentaje del total (2012) (%)
Centro de atención a emergencias y Protección Ciudadana de la Ciudad de México	1,875,553,186	1,376,984,705	7.7	6.28
Sistema de Radio y Televisión digital del Gobierno del Distrito Federal	71,886,164	45,743,589	0.29	0.2
Sistema de Aguas de la Ciudad de México	9,949,077,326	9,815,458,377	40.86	44.76
Planta de Asfalto	593,083,347	549,776,037	2.43	2.5
Proyecto Metro	6,268,201,121	4,518,260,472	25.74	20.6
Instituto para la Atención de los Adultos Mayores en el Distrito Federal	5,431,507,189	5,477,193,835	22.31	24.98
Instituto técnico de Formación Policial	123,636,044	109,413,145	0.50	0.5
Instituto de Formación Profesional	32,636,044	32,776,198	0.13	0.15
TOTAL	24,345,580,421	21,925,606,358	100	100

Fuente: Decreto de presupuesto de egresos del Distrito Federal para el ejercicio fiscal 2011 y Decreto de presupuesto de egresos del Distrito Federal para el ejercicio fiscal 2012

Tabla 4.6 Presupuesto asignado a las dependencias de la Ciudad de México para los años 2011 y 2012 (Millones de pesos)

Dependencia	Monto asignado (2011)	Monto asignado (2012)
Jefatura de Gobierno del Distrito Federal	177,193,253	155,682,310
Secretaría de Gobierno	2,270,618,950	2,279,081,822
Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda	256,106,785	215,180,144
Secretaría de Desarrollo Económico	180,159,044	148,366,979
Secretaría de Turismo	83,066,207	56,292,917
Secretaría del Medio Ambiente	956,586,151	970,721,634
Secretaría de Obras y Servicios	5,709,817,170	5,634,579,240
Secretaría de Desarrollo Social	1,469,382,095	1,535,927,550
Secretaría de Finanzas	1,817,159,999	1,813,358,687
Secretaría de Transportes y Vialidad	1,091,704,777	1,080,601,808
Secretaría de Seguridad Pública	11,450,734,863	11,682,980,763
Secretaría de Salud	5,432,066,419	5,648,125,830
Secretaría de Cultura	433,168,896	458,411,341
Secretaría de Trabajo y Fomento al Empleo	825,998,764	835,386,380
Secretaría de Protección Civil	154,068,092	132,832,434
Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades	195,280,045	194,776,281
Sistema de Aguas de la Ciudad de México	9,949,077,326	9,815,458,377

Fuente: Decreto de presupuesto de egresos del Distrito Federal para el ejercicio fiscal 2011 y Decreto de presupuesto de egresos del Distrito Federal para el ejercicio fiscal 2012

Puede hacerse una comparación del presupuesto destinado en la Ciudad de México al sector de los servicios hídricos, con el presupuesto que se destina al tratamiento de aguas residuales en Nueva York, una de las ciudades más importantes del mundo, que además tiene una población bastante aproximada a la de la Ciudad de México. Como puede verse de la Tabla 4.5 y la Tabla 4.6, el presupuesto anual del SACMEX es cercano a los 9,900 millones de pesos, monto que debe repartirse adecuadamente para proporcionar los servicios de abastecimiento y tratamiento de aguas, mientras que la ciudad de Nueva York cuenta con un presupuesto anual de 376 millones de dólares (Aproximadamente 4,820 millones de pesos) destinado únicamente al sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual consta de 14 plantas de tratamiento que se encargan de tratar el 100% de las aguas residuales que diariamente generan los 8 millones de habitantes con que cuenta la ciudad.

Como país en desarrollo, México debe invertir grandes cantidades del presupuesto en la ampliación de los servicios hídricos. En la Tabla 4.7 se presenta la inversión en los diversos componentes del sector hídrico por entidad federativa ejercida en el año 2012 y en la Tabla 4.8 se presenta únicamente la inversión en saneamiento por entidad federativa y el porcentaje respecto al total nacional.

Tabla 4.7 Distribución de la inversión en el sector hídrico por entidad federativa, 2011 (Millones de pesos)

Entidad Federativa	Aplicación					Total
	Agua Potable	Alcantarillado	Saneamiento	Mejoramiento de eficiencia	Otros	
Aguascalientes	107.9	81.8	142.4	93.6	21.9	447.6
Baja California	118.7	92.3	11.2	264.8	6.0	493.9
Baja California Sur	174.0	155.1	60.5	35.4	12.2	437.1
Campeche	358.0	15.3	33.5	3.6	66.6	477.0
Chiapas	689.9	393.4	124.6	111.5	103.8	1 423.2
Chihuahua	379.4	332.0	243.5	198.6	30.0	1 183.5
Coahuila	83.3	105.3	33.3	98.8	0.1	320.8
Colima	64.4	71.2	204.5	64.3	14.3	418.8
Distrito Federal	430.9	919.4	14.6	1 368.0	88.9	2 821.8
Durango	130.3	162.5	110.2	41.1	9.3	453.5
Guanajuato	274.0	420.3	204.1	178.3	302.5	1 379.2
Guerrero	578.6	276.3	172.4	146.4	70.7	1 244.4
Hidalgo	234.3	179.0	2 114.9	50.5	20.7	2 599.4
Jalisco	304.0	647.5	1 276.3	211.6	52.3	2 491.8
México	601.7	924.0	212.8	276.5	164.7	2 179.8
Michoacán	298.7	321.9	440.4	184.3	63.4	1 308.6
Morelos	143.3	123.8	149.9	102.6	44.4	563.9
Nayarit	111.1	101.9	114.3	1.5	21.8	350.6

Nuevo León	735.5	389.3	142.9	170.0	334.4	1 772.2
Oaxaca	173.0	184.7	99.4	40.4	36.9	534.4
Puebla	222.1	345.1	65.2	132.0	284.2	1 048.7
Querétaro	403.0	306.3	111.1	57.0	53.6	930.9
Quintana Roo	277.2	217.6	135.2	25.0	30.3	685.3
San Luis Potosí	189.0	160.7	350.2	53.1	74.4	827.5
Sinaloa	235.5	248.9	234.1	111.4	7.3	837.2
Sonora	378.5	317.0	201.6	158.2	24.4	1 079.8
Tabasco	151.8	606.7	4.9	9.2	36.2	808.7
Tamaulipas	222.6	282.7	33.3	67.9	34.2	640.7
Tlaxcala	59.5	53.4	95.8	12.9	8.2	229.8
Veracruz	547.8	663.2	266.8	121.7	64.1	1 663.6
Yucatán	229.8	56.1	152.9	59.2	42.0	540.0
Zacatecas	118.5	147.6	110.0	138.1	50.1	564.2
Total	9 026.3	9 302.3	7 666.8	4 587.5	2 173.9	32 757.9

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
Edición 2012. CONAGUA, Septiembre de 2012

Tabla 4.8 Distribución de la inversión en saneamiento de aguas por entidad federativa y su porcentaje representativo del total en el país, año 2011 (Millones de pesos)

Entidad Federativa	Saneamiento	Porcentaje del total (%)
Aguascalientes	142.4	1.86
Baja California	11.2	0.15
Baja California Sur	60.5	0.79
Campeche	33.5	0.44
Chiapas	124.6	1.63
Chihuahua	243.5	3.18
Coahuila	33.3	0.43
Colima	204.5	2.67
Distrito Federal	14.6	0.19
Durango	110.2	1.44
Guanajuato	204.1	2.66
Guerrero	172.4	2.25
Hidalgo	2 114.9	27.6
Jalisco	1 276.3	16.6
México	212.8	2.78
Michoacán	440.4	5.74
Morelos	149.9	1.96
Nayarit	114.3	1.49
Nuevo León	142.9	1.86
Oaxaca	99.4	1.3

Puebla	65.2	0.85
Querétaro	111.1	1.45
Quintana Roo	135.2	1.76
San Luis Potosí	350.2	4.57
Sinaloa	234.1	3.05
Sonora	201.6	2.63
Tabasco	4.9	0.06
Tamaulipas	33.3	0.43
Tlaxcala	95.8	1.25
Veracruz	266.8	3.48
Yucatán	152.9	1.99
Zacatecas	110.0	1.43
Total	7 666.8	100

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2012. CONAGUA, Septiembre de 2012

Se observa que la Ciudad de México se encuentra en penúltimo lugar en cuanto a inversión en saneamiento de aguas se refiere, sólo por debajo de los estados de Tabasco y Baja California, con un porcentaje de 0.19% del total de inversión ejercida en el país durante el año 2012.

Inversión necesaria en las plantas de tratamiento

A pesar de que la mayoría de las plantas requieren de rehabilitación y mantenimiento, existen algunas que necesitan de inversión de forma más urgente. En la Tabla 4. se presentan las plantas que, acorde a los datos proporcionados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, requieren de inversión urgente para mejorar su capacidad de tratamiento, así como el monto de inversión necesario.

Tabla 4.9 Inversión estimada para rehabilitación de PTAR operadas por el SACMEX (Millones de pesos)

P.T.A.R.	Tipo de Rehabilitación	Costo rehabilitación (millones de pesos)
Chapultepec	Ampliación de capacidad de tratamiento	100,000,000
El Rosario	Ampliación de capacidad de tratamiento	6,000,000
Pemex-Picacho	Corrección de deficiencias mayores	1,000,000
Reclusorio Sur	Corrección de deficiencias mayores	15,000,000
San Nicolás Tetelco	Corrección de deficiencias mayores	500,000

Santa Martha	Corrección de deficiencias mayores	500,000
Tlatelolco	Corrección de deficiencias mayores	16,000,000
Cerro de la Estrella	Construcción de redes de alcantarillado y distribución de agua tratada	29,200,000
Parres	Construcción de redes de alcantarillado y distribución de agua tratada	5,000,000
San Juan de Aragón	Construcción de redes de alcantarillado y distribución de agua tratada	50,000,000
San Lorenzo	Construcción de redes de alcantarillado y distribución de agua tratada	50,000,000
San Luis Tlaxialtemalco	Construcción de redes de alcantarillado y distribución de agua tratada	50,000,000
		TOTAL: 323,200,000

Fuente: SACMEX

5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

El tratamiento de las aguas residuales es un servicio al que no se le ha prestado la atención necesaria en la Ciudad de México, razón por la cual el porcentaje de agua tratada en relación a la que se genera en la actualidad está muy por debajo del nivel que exige la capital de uno de los países en desarrollo más importantes del mundo. Este asunto se ha visto atendido de mejor forma con la construcción reciente del túnel emisor oriente (TEO) y la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco, cuya construcción se está llevando a cabo en el municipio del mismo nombre en Hidalgo, pero aun así es necesario tomar las medidas necesarias para contar con infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en buenas condiciones de operación dentro de la Ciudad de México, para así poder aprovechar los beneficios que el agua residual tratada puede traer a la comunidad.

Presupuesto del SACMEX

En la actualidad el presupuesto del SACMEX se destina casi en su totalidad al servicio de abastecimiento, debido principalmente a los problemas y grandes costos que representa traer agua de otras cuencas para su uso en la Ciudad de México a través de una red de abastecimiento en la que hasta el 35% del agua se pierde en fugas y tomas clandestinas. Por tanto, el presupuesto destinado para atender las necesidades de saneamiento de las aguas residuales que generan más de 8 millones de habitantes en la ciudad por día no es suficiente. Debido a lo anterior es fundamental que se analice la posibilidad de establecer tarifas y sistemas de cobro adecuados para el servicio de tratamiento de aguas residuales, lo cual a su vez permitirá cubrir los costos de operación, mantenimiento y renovación o rehabilitación de las PTAR, situación que favorecería incrementar la capacidad de tratamiento instalada.

Debieran iniciarse una serie de acciones para lograr que exista presupuesto suficiente para brindar un servicio de saneamiento de aguas residuales adecuado, empezando por la reducción de los subsidios al servicio de agua potable, lo cual resultará en la reducción del consumo y el pago en tiempo y forma por parte de los usuarios. Los subsidios en los servicios de abastecimiento, drenaje y saneamiento de la ciudad alcanzan niveles de hasta 90% de su costo total, se debe buscar reducir esta cifra de forma paulatina para evitar golpear de forma muy fuerte la economía de las familias más necesitadas de la ciudad. Con la reducción de los subsidios se podrá disponer de mayor capital para mejorar el manejo de los servicios de abastecimiento y saneamiento, al mismo tiempo que se reducirá la cantidad de agua que debe extraerse de los acuíferos, muchos de los cuales se encuentran en estado de sobreexplotación. Al SACMEX le corresponde analizar y proponer al Jefe de Gobierno del Distrito Federal los montos para el cobro de derechos de los servicios de agua potable, agua residual tratada, descargas de aguas residuales y

demás servicios hidráulicos que proporciona, y por lo tanto son ellos mismos quienes tienen la tarea de convencer al gobierno de la ciudad acerca de la necesidad de reducir o eliminar los subsidios para contar con mayor presupuesto para el mantenimiento y construcción de un mejor sistema de servicios hidráulicos, aunque en materia de política es bastante complicado lograr la aprobación de estas medidas, aun cuando su objetivo principal sea reducir los impactos adversos en los cuerpos de agua e incrementar la calidad de vida de los habitantes de la Ciudad de México.

Estado de las PTAR

Con base en la información presentada en el Capítulo 3, la falta de mantenimiento adecuado y constante ha provocado que las capacidades de tratamiento de las PTAR hayan ido disminuyendo a lo largo de los años, presentando equipo electromecánico con fallas, trenes de tratamiento fuera de servicio y problemas de otra índole, como los hundimientos que se han presentado en la PTAR San Luis de Aragón, al punto de que actualmente se tratan 3,614.8 l/s teniendo una capacidad instalada de 6,691.5 l/s, lo que resulta en un porcentaje de agua tratada del 54%. Por otro lado se trata únicamente el 15% del total de las aguas residuales generadas diariamente en la ciudad, mientras que el restante 85% es descargado sin tratamiento alguno, ocasionando daños a los ecosistemas y a la salud general de los seres vivos.

El total del costo de rehabilitación de las plantas que han recibido poco o nulo mantenimiento asciende a una cifra de aproximadamente 323 millones de pesos (Tabla 4.9), acorde a lo estimado por personal del SACMEX, lo cual contrasta contra la inversión de apenas 14.6 millones de pesos que se llevó a cabo en el sector de saneamiento en la Ciudad de México en el año 2012 (Tabla 4.8).

En plantas como Cerro de la Estrella y Santa Martha los operadores se quejan de que prácticamente no existe un servicio de mantenimiento. En caso de que haya fallas en los equipos, se tiene que esperar mínimo 5 días a partir del aviso de la falla para que la brigada de mantenimiento se presente para analizar el alcance del daño, y un tiempo indeterminado para la solución del problema, debido principalmente a la falta de personal de mantenimiento, pues no existe presupuesto para poder costear un mejor servicio de atención a las fallas en las PTAR. Es frecuente la situación en que las plantas se ven obligadas a detener su producción de agua tratada debido a estas fallas sin atender, lo cual afecta de forma temporal en porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento de la Ciudad de México. De las plantas visitadas, 2 se encontraron únicamente recirculando los lodos dentro de sus instalaciones, el caso de la PTAR Santa Martha por una falla en el equipo de bombas que abastece la planta de agua residual y en la PTAR San Lorenzo, debido a una falla en la tubería de emisión de agua tratada a los ejidatarios. Fallas de este

tipo son comunes en algunas de las plantas, pero hubo casos de plantas que se encontraron en muy buenas condiciones de operación, como fue el caso de Chapultepec y San Luis Tlaxialtemalco, en las cuales los operadores aseguran no haber tenido problema alguno en las fallas de los equipos electromecánicos o en alguno de los pasos del tratamiento de las aguas residuales.

A pesar de que existen plantas que operan de forma adecuada, existe un gran problema de falta de conexiones de las redes de alcantarillado con las PTAR, pues en casi todas las plantas que se visitaron los operadores mencionaron que la razón más importante por la que se tiene un déficit tan grande entre la capacidad de diseño y la capacidad de operación es que no llega el agua suficiente a las plantas a través de las conexiones existentes, por lo que a pesar de que la planta se encuentre en buenas condiciones de operación resulta muy difícil alcanzar la capacidad de diseño. Tal es el caso de las PTAR Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco, San Juan de Aragón y San Lorenzo, que son 4 de las plantas más grandes que opera actualmente el SACMEX, con una capacidad de tratamiento conjunta que representa el 74.4% de la capacidad total del sistema de saneamiento de la Ciudad de México (4975 l/s). A pesar de lo anterior no se ha realizado la inversión necesaria para dotar a las plantas mencionadas de conexiones con el alcantarillado acordes a las capacidades de tratamiento de las mismas, por lo que continuamente se tiene una pérdida en la cantidad de agua residual tratada de la que se podría disponer en la ciudad. En el futuro debe ponerse especial cuidado en evitar la inversión en construcción de redes de alcantarillado sin plantas de tratamiento y viceversa, pues esto se traduce en proyectos incompletos e inversiones dispendiosas.

Calidad del agua tratada

Para el caso de la calidad de los efluentes de agua residual tratada de las PTAR se tiene una situación medianamente aceptable, pues se cumple en la mayoría de los casos con los límites establecidos por las normas oficiales mexicanas (Tablas 4.3 y 4.4), aunque en la mayoría de los casos no se cuenta con el presupuesto para adquirir el equipo necesario de medición de algunos de los parámetros. A pesar de que se tienen niveles aceptables de contaminantes en los efluentes de las PTAR, en ninguna de las plantas visitadas se cumple de forma adecuada con uno de los parámetros que representan un gran peligro para las personas que tengan contacto directo con las aguas tratadas, que son los coliformes fecales. Es necesario ajustar los sistemas de tratamiento para que éste parámetro de la norma se cumpla al igual que los demás en todas las PTAR que operan dentro de la Ciudad de México, pues el agua tratada que se genera en las plantas normalmente se utiliza para el riego de cultivos que posteriormente son puestos a disposición del público general, creando un riesgo potencial para su salud.

Uso del agua tratada

Uno de los puntos más importantes que se deben rescatar del texto que se ha presentado, es que el agua residual tratada tiene mucho potencial para sustituir al agua potable en muchos usos que no requieren una calidad de agua muy alta, como por ejemplo el riego de zonas agrícolas, venta a las industrias (lo cual a su vez ayudaría a financiar la inversión que el sistema requiere para su óptimo funcionamiento) e incluso pensar en la posibilidad de recargar los acuíferos que día con día se sobreexplotan para poder dotar de agua potable a los habitantes de la Ciudad de México, creando grandes problemas de hundimientos, que a su vez afectan a la red de abastecimiento y drenaje.

Como se explicó a lo largo del Capítulo 3, el intercambio de agua de calidad potable por agua residual tratada en algunos usos como el riego de cultivos y el lavado de autos es algo común hoy en día en la Ciudad de México, pues el efluente tratado de las PTAR tiene como destino estas actividades, sin embargo, el sistema de distribución actual es algo desordenado y el agua residual tratada es poca en relación a la que se podría generar diariamente si se realizaran las inversiones de capital necesarias para aumentar la capacidad de operación de las plantas y así otorgar un caudal mayor de aguas residuales tratadas. Es importante darse cuenta de que en una ciudad con un problema tan grande de abastecimiento de agua potable es necesario ahorrar toda el agua posible y utilizarla sólo en actividades que requieran un nivel de potabilización óptimo, como el consumo para seres humanos, al mismo tiempo que se debe buscar utilizar toda el agua residual posible para así reducir la cantidad de agua potable que debe ser extraída de los acuíferos y traída de otros estados para asegurarse de que los habitantes de la ciudad no carezcan de este servicio.

Hundimientos y recarga de acuíferos con agua residual tratada

Parte de los ingresos obtenidos del retiro de subsidios pueden ser utilizados en programas de recarga de los acuíferos a través de un tratamiento adecuado de las aguas residuales, lo cual permitiría equilibrar al ecosistema del que tanto se ha aprovechado la ciudad desde hace mucho tiempo.

Otra de las grandes ventajas de invertir en programas de recarga de los acuíferos sería el ahorro de miles de millones de pesos al detener los hundimientos que se generan en algunos puntos de la ciudad y que provoca daños a la infraestructura urbana, debido a que se saca mucha más agua de los acuíferos de la que después se regresa. Desde hace tiempo han existido esfuerzos para crear un programa de recarga de acuíferos con agua

residual tratada, pero a falta de presupuesto y una organización adecuada, es un proyecto que a la fecha no ha podido concretarse. Tal es el caso de la PTAR San Luis Tlaxialtemalco, cuyo operador hizo el comentario de que actualmente se tiene un programa piloto de recarga del acuífero, el cual no se ha llevado a cabo por falta de presupuesto, pues actualmente ya existe una norma vigente en la materia de reinyección de acuíferos (NOM-014-CONAGUA-2003). El programa consiste en conducir parte del agua tratada en la planta hacia el pozo "San Luis 15", cuya profundidad es suficiente para alcanzar el acuífero. El agua residual tratada almacenada en el pozo se filtra hacia el acuífero, y se cuenta con un pozo de observación a una distancia prudente del pozo de adsorción, y en dirección del flujo subterráneo, con el que se pretende tomar muestras del agua que circula dentro del acuífero para determinar si su calidad es la correcta. En el futuro deberían incentivarse muchos proyectos de este tipo, pues recargar los acuíferos traería muchos beneficios y muchas preocupaciones menos, pues los hundimientos no sólo afectan estructuralmente a los edificios, sino que además dañan de forma severa a otro de los grandes componentes del sistema hídrico de la ciudad: las redes de abastecimiento y alcantarillado. Inicialmente, la red de alcantarillado de la Ciudad de México fue diseñada para funcionar por gravedad, pero debido a los hundimientos de la ciudad, las pendientes de los componentes de la red se han modificado, de forma que ahora son necesarias estaciones de bombeo para poder librar las pendientes negativas que se tienen hoy en día y desalojar en su totalidad las aguas residuales que generan los habitantes, lo cual representa un costo extra considerable dentro de las actividades entre las que el SACMEX debe repartir su presupuesto de operación. Los hundimientos también han causado la fractura de algunos de los componentes, los cuales deben ser sustituidos junto con los elementos que rebasan su vida útil por un costo adicional, tanto en la red de abastecimiento como en la red de drenaje.

En conclusión, la Ciudad de México se encuentra actualmente muy rezagada en el ámbito del tratamiento de aguas residuales, y a pesar de que esfuerzos en los últimos años han resultado en las grandes obras del Túnel Emisor Oriente (TEO) y la macroplanta de tratamiento de aguas de Atotonilco, es importante tener en mente que en una ciudad con las características de la capital del país se necesita tener disposición de agua residual tratada para su uso dentro de las fronteras con el objetivo de bajar los altos costos que involucra dotar de agua potable a la población, para lo que es necesario establecer esquemas de cobro adecuados para los servicios hidráulicos (abastecimiento, alcantarillado y saneamiento), lo cual permitirá dar el mantenimiento y remodelación que tan urgentemente necesitan muchas de las PTAR de la ciudad, permitiendo que poco a poco se pueda contar con más agua residual tratada para las actividades que no requieren de calidad potable.

BIBLIOGRAFÍA

- César Valdez Enrique, Vázquez González Alba B. *“Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales”*. Fundación ICA, 2003.
- Metcalf & Eddy, INC. *“Ingeniería Sanitaria”*. Segunda Edición, Editorial Labor S.A., 1985.
- Ramalho R.S. *“Tratamiento de Aguas Residuales”*. Segunda Edición, Editorial Reverté S.A., 1993.
- Tchobanoglous George, Crites Ron. *“Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones”*. Editorial McGraw-Hill, 2000.
- Norma Oficial Mexicana *NOM-001-ECOL-1996*. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana *NOM-002-ECOL-1996*. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- Norma Oficial Mexicana *NOM-003-ECOL-1997*. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se eusen en servicios al público.
- Norma Oficial Mexicana *NOM-004-SEMARNAT-2002*. Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). *“Plantas de Tratamiento de Agua Residual del Distrito Federal”*.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), Dirección Ejecutiva de Operación-Dirección de Drenaje, Tratamiento y Reúso- Subdirección de Tratamiento y Reúso. *“Nota Informativa 061-13-B”*
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), Dirección Ejecutiva de Operación-Dirección de Drenaje, Tratamiento y Reúso- Subdirección de Tratamiento y Reúso. *“PTAR 2013 Características Básicas”*.

- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), Dirección Ejecutiva de Operación-Dirección de Drenaje, Tratamiento y Reúso- Subdirección de Tratamiento y Reúso. “*STYR Plantas de Tratamiento*”.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). “*Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México*”. México, D.F., diciembre 2007. Disponible en http://www.sma.df.gob.mx/dgpcp/images/ProgAgua_Cd.pdf

MESOGRAFÍA

- <http://www.explorandomexico.com.mx>. “*Geografía del Distrito Federal*”. Disponible en <http://www.explorandomexico.com.mx/state/32/Distrito-Federal/geography/>
- <http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx>. “*Fuentes de abastecimiento del Distrito Federal*”. Disponible en http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=86%3Afuentes-de-abastecimiento&catid=57%3Aimpactos-en-la-vida-cotidiana&Itemid=415
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). “*Perspectiva Estadística del Distrito Federal, Diciembre 2012*”. Disponible en http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/estd_perspect/df/Pers-df.pdf
- www.obras.df.gob.mx. “*Recolección, transferencia, selección y disposición final de residuos sólidos*”. Disponible en http://www.obras.df.gob.mx/?page_id=85
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). “*Acciones de Infraestructura de Drenaje y Abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012*”. Septiembre de 2012. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/Noticias/InformeDifusionIngenieriaPSHCV M.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). “*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco*”. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelValledeMexico/proyectodrenajes.aspx>

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). “*Programa Nacional Hídrico 2007-2012*”. Disponible en <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=28>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). “*Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*”. Edición 2012. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-40-12.pdf>
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. “*Decreto de Presupuesto de Egresos del Distrito Federal para el Ejercicio Fiscal 2011*”. Disponible en <http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/2011/decretoEgresos2011.pdf>
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. “*Decreto de Presupuesto de Egresos del Distrito Federal para el Ejercicio Fiscal 2012*”. Disponible en http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/2012/decreto_presupuesto_egresos_2012.pdf