



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS
RESIDUALES DEL VALLE DE MÉXICO. CASO CIUDAD DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

LIZBETH REYES ABONCE

MÉXICO, D.F.

2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: María Rafaela Gutiérrez Lara

VOCAL: Profesor: Landy Irene Ramírez Burgos

SECRETARIO: Profesor: José Gonzalo Cortés García

1er. SUPLENTE: Profesor: Abril Moreno Gutiérrez

2° SUPLENTE: Profesor: Dulce Merari Cid León

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

PROYECTOS DEL ÁNGEL, S.A. DE C.V.

ASESOR DEL TEMA:

ING. JOSÉ GONZALO CORTES GARCÍA

SUSTENTANTE:

LIZBETH REYES ABONCE



Agradecimientos

Este trabajo es la culminación de uno de los logros más gratificantes que he alcanzado hasta esta etapa de mi vida, el cual ha requerido de mi esfuerzo, tenacidad y dedicación, sin embargo, quiero agradecer el apoyo que he recibido para poder alcanzarlo y llegar a este momento.

- A mi madre Esther, que ha estado siempre a mi lado apoyándome, guiándome, dándome su cariño, enseñándome los valores necesarios para formar a un gran ser humano. Agradezco tu trabajo y todo lo que has hecho por mí, te amo.
- A mi tía Sara y mi abuelita Celia, que se que desde el cielo me cuida y que estaría orgullosa de mi. Estas mujeres me dieron lo mejor de ellas y me criaron con amor y los cuidados que necesita un individuo para crecer pleno y feliz. Gracias por lo que aportaron a mi vida.
- A mi padre Cuper y a mi hermana Brenda por estar siempre para mí, y por ser pilares en mi vida, los amo. Gracias a mi familia que con su ejemplo me ha enseñado que las cosas que quieres en la vida solo se consiguen con perseverancia y trabajo arduo.
- A mis grandes amigos, Marvin, Vio, Diana, Miriam, Yazmín, Iván y Angie, que el tiempo y la vida han puesto en mi camino, haciendo de esta una gran experiencia, llena de aprendizaje, alegría y gratos momentos. Y aunque por momentos la distancia nos ha llegado a separar, siempre he contado con ustedes. A mis amigos de Ingeniería Joje y Anaid, gracias por su cariño y apoyo incondicional, los llevo siempre conmigo.
- A mi asesor José Gonzalo Cortes, por todo su apoyo a lo largo de este largo proceso. Por el tiempo dedicado para verme y revisar mi trabajo, por su disponibilidad y amabilidad.

Finalmente agradezco a mi *alma mater*. Siempre estaré orgullosa de sus docentes y de haber pertenecido a la mejor institución educativa de México. Gracias a todas las personas que mencioné. ¡Sin ustedes no hubiera podido hacer esto posible!



Índice

Índice de tablas	6
Índice de figuras	8
Listado de acrónimos	9
Introducción.....	11
Objetivo	16
1. Descripción General de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México	17
1.1 Ubicación y delimitación geográfica de la región hidrológica-administrativa XIII	17
1.2 Situación socio-económica de la región hidrológica-administrativa XIII	22
2. Manejo de las Aguas Residuales Dentro de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México	28
2.1 Generalidades del agua residual	28
2.2 Descargas residuales dentro de la región hidrológica-administrativa XIII	31
2.3 Sistema de drenaje y alcantarillado del Valle de México	40
2.4 Reúso del agua residual dentro de la región hidrológica-administrativa XIII	49
2.5 Infraestructura para el tratamiento de aguas residuales dentro de la región hidrológica-administrativa XIII	54
2.6 Normatividad mexicana aplicable a nivel nacional para el control y manejo de las aguas residuales.....	58
3. Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de México	64
3.1 Infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México	64
3.2 Calidad del agua residual	76
3.3 Calidad del agua residual del influente de las plantas de tratamiento ubicadas en la Ciudad de México	78
3.4 Calidad del agua residual del efluente de las plantas de tratamiento ubicadas en la Ciudad de México	89



3.5 Resultados del análisis del agua residual del influente y efluente de la planta de tratamiento aguas residuales Cerro de la Estrella	95
3.6 Deficiencias estructurales y técnicas de las plantas de tratamiento de la Ciudad de México	103
4. Alternativas Para el Control de la Calidad de las Aguas Residuales de la Ciudad de México.....	108
4.1 Programa de mantenimiento a las plantas de tratamiento de la Ciudad de México	110
4.2 Regularización de las descargas de agua residual generadas por micro, pequeñas y medianas empresas.....	116
4.3 Construcción de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México	125
4.4 Captación y reciclaje de agua de lluvia.....	131
4.5 Dispositivos de desviación de orina	142
5. Conclusiones.....	150
6. Bibliografía	156
7. Anexos	160
Anexo 1	160
Anexo 2.....	160
Anexo 3.....	160



Índice de tablas

Tabla 1.1 Superficie territorial por subregión y entidad federativa.....	21
Tabla 1.2 Tasa de crecimiento de la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México (1940-2010).....	22
Tabla 1.3 Población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (1940-2010)	26
Tabla 2.1 Parámetros empleados para la determinación de contaminantes convencionales.....	30
Tabla 2.2 Municipios de la región hidrológica-administrativa XIII con mayor incremento poblacional (2000-2008)	32
Tabla 2.3 Número de unidades económicas por actividad económica y por subregión (Tula y Valle de México) al año 2009.....	34
Tabla 2.4 Aguas residuales generadas en la región XIII, Aguas del Valle de México, año 2009	36
Tabla 2.5 Componentes del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México	45
Tabla 2.6 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en la región hidrológica-administrativa XIII	55
Tabla 3.1 Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México	68
Tabla 3.2 Gasto medio anual de influentes de las PTAR's de la Ciudad de México. 2005-2009.....	70
Tabla 3.3 Gasto medio anual de efluentes de las PTAR's de la Ciudad de México. 2005-2009	70
Tabla 3.4 Nivel y tipo de tratamiento en las PTAR's de la Ciudad de México .	73
Tabla 3.5 Relación de unidades de proceso por PTAR ubicada en la Ciudad de México	75
Tabla 3.6 Compuestos orgánicos presentes en el agua residual doméstica (porcentajes)	78
Tabla 3.7 Porcentaje de nutrientes y de materia orgánica en el agua residual doméstica	79



Tabla 3.8 Composición típica del agua residual doméstica no tratada.....	81
Tabla 3.9 Número de unidades económicas en la Ciudad de México por tamaño, año 2004.	82
Tabla 3.10 Resultado promedio del análisis del influente de las PTAR's del SACM. Temporada de estiaje. Enero 2006 – abril 2009	85
Tabla 3.11 Resultado promedio del análisis del influente de las PTAR's del SACM. Temporada de lluvias. Enero 2006 – abril 2009.....	85
Tabla 3.12 Resultado promedio del análisis del efluente de las PTAR's del SACM. Temporada de estiaje. Enero 2006 – abril 2009	91
Tabla 3.13 Resultado promedio del análisis del efluente de las PTAR's del SACM. Temporada de lluvias. Enero 2006 – abril 2009.....	92
Tabla 3.14 Resultado del análisis del influente de la PTAR Cerro de la Estrella. Diciembre 2010.	99
Tabla 3.15 Resultado del análisis del efluente de la PTAR Cerro de la Estrella. Diciembre 2010	101
Tabla 3.16 Problemas estructurales de las plantas de tratamiento de la Ciudad de México	104
Tabla 4.1 Inversión para tratamiento y reúso en periodo 2011-2020.	113
Tabla 4.2 Inversión para tratamiento y reúso en periodo 2021-2030	113
Tabla 4.3 Meta de agua residual tratada en la Ciudad de México, 2011 a 2030	114
Tabla 4.4 Nuevas PTAR's en la Ciudad de México.....	126
Tabla 4.5 Nuevas PTAR'S en la ZMVM.	127
Tabla 4.6 Agua pluvial captada por superficie de captación.....	138
Tabla 4.7 Demanda mensual de agua pluvial y de agua potable por familia..	138
Tabla 4.8 Costo de cisterna de captación de agua pluvial por tipo y tamaño de obra	140



Índice de figuras

Figura 1.1 Regiones hidrológicas y la región hidrológica- administrativa XIII, Aguas del Valle de México	18
Figura 1.2 Regiones hidrológicas-administrativas y delimitación de la región XIII, Aguas del Valle de México y de sus subregiones	19
Figura 1.3 Conformación de la Zona Metropolitana del Valle de México	23
Figura 2.1 Salidas del drenaje profundo de la Ciudad de México	42
Figura 2.2 Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México	44
Figura 2.3 Reúso del agua en la región XIII, Aguas del Valle de México	50
Figura 2.4 Ciclo hidrológico de la región XIII, Aguas del Valle de México.....	53
Figura 2.5 Procesos de tratamiento empleados en las PTAR's de la región XIII.....	56
Figura 2.6 Especificidad de la política ambiental en materia de control de descargas de aguas residuales	63
Figura 3.1 Localización de las PTAR's de la Ciudad de México	66
Figura 3.2 Esquema del proceso de tratamiento de la PTAR "Cerro de la Estrella"	100
Figura 4.1 Croquis de localización de la PTAR Atotonilco	128
Figura 4.2 Suelo de conservación en la Ciudad de México por delegación política	135
Figura 4.3 Sanitarios con dispositivos de desviación de orina	142



Listado de acrónimos

CNA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
COT	Carbono Oxígeno Total
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DBO ₅	Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FCPyS	Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
GDF	Gobierno del Distrito Federal
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Geografía y Estadística
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental
LMP	Límite Máximo Permisible
NMP	Número Más Probable
NOM	Norma Oficial Mexicana
NOM's	Normas Oficiales Mexicanas
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
OCAVM	Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México
PEA	Población Económicamente Activa
PIB	Producto Interno Bruto
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
PTAR'S	Plantas de Tratamiento de Agua Residual
RNMCA	Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua
SACM	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SST	Sólidos Suspendidos Total



TIR	Tas Interna de Retorno
TEO	Túnel Emisor Oriente
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VPN	Valor Presente Neto
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México



Introducción

Hoy en día uno de los aspectos importantes que determinan la sustentabilidad social y ambiental de un país y de sus comunidades que la integran, es entre otros aspectos, la disponibilidad de agua potable para efectuar el abasto que satisfaga las necesidades diarias, así como el manejo de las aguas residuales que se generan en las diversas actividades industriales, comerciales, de servicios o domésticas. Este panorama representa un enorme desafío para los gobiernos de todas las naciones y México no es la excepción.

Con respecto a lo anterior, mediante el presente trabajo se efectúa la identificación de una parte de esta problemática actual, avocándose únicamente a la gestión de las aguas residuales que se generan, incluyendo su destino final y la gran proporción de aguas residuales que se desaprovechan, ello en específico para una de las ciudades más pobladas del mundo, la Ciudad de México.

Considerando los límites hidrológicos de la Ciudad de México establecidos por la Comisión Nacional del Agua (CNA), los cuales se enmarcan físicamente dentro de los límites administrativos de la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México, en el presente trabajo se identificó la situación actual de la gestión de las aguas residuales que son generadas en esta región, ello para obtener un panorama global del caso de la Ciudad de México en cuanto a generación, tratamiento y nivel de tratamiento, así como el uso y destino final de las aguas residuales que se desalojan de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR's) con las que se cuenta en la ciudad.

Es importante puntualizar que la región hidrológica-administrativa XIII, es la región del país que actualmente presenta los mayores problemas en cuanto a:

- Disponibilidad de agua potable
- Abatimiento del nivel freático de sus acuíferos



- Relativamente escasa proporción de aguas residuales que se envían a las PTAR's en comparación con los grandes volúmenes de aguas residuales que se generan
- Contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua superficial y subterránea

Este último punto se debe entre otras causas, a que las descargas de aguas residuales se han efectuado hasta ahora sin considerar totalmente las condiciones del medio ambiente donde se vierten, así como la concentración de los contaminantes que la integran, siendo el vertimiento directo a los cuerpos de agua superficiales y el suelo, los métodos de evacuación de aguas residuales más comunes dentro de la región hidrológica-administrativa XIII.

En el caso específico de la Ciudad de México, el volumen actual de aguas residuales que se genera es alrededor de 30,000 litros/segundo (L/s), las cuales están conformadas principalmente por aguas residuales de tipo doméstico o sanitaria, y cuyo volumen de tratamiento asciende a 3,430 L/s, lo que significa que poco menos del 11 % del agua residual que se genera recibe tratamiento alguno (CNA, 2009). Dentro de las contribuciones al gran volumen de aguas residuales que se generan en la ciudad se encuentra el creciente volumen de agua pluvial que se incorpora al sistema de drenaje de la ciudad. El incremento en el volumen de agua residual de tipo pluvial, se debe en gran parte entre otros factores, al crecimiento poblacional que ha experimentado a lo largo del tiempo la Ciudad de México, y que mediante asentamientos irregulares ha invadido las zonas de recarga natural de la ciudad, situación que incide directamente en el deterioro de la capacidad del suelo de conservación de captar el agua de lluvia.

A su vez, el tratamiento que se le da a las aguas residuales que se generan en la Ciudad de México, se hace a través de alguna de las 26 PTAR's que se encuentran en operación, de las 28 plantas existentes dentro del límite territorial de la ciudad, en donde el principal sistema de tratamiento empleado es por lodos activados.



Las plantas de tratamiento de aguas residuales antes citadas, reciben su influente a través de la red de drenaje urbano construido en la ciudad, sin embargo, este ha quedado rebasado en su capacidad de desalojo debido al crecimiento de la población, quien aporta grandes y crecientes volúmenes de aguas residuales que tienen que ser desalojadas, aunado al azolvamiento del sistema de drenaje, entre otros factores. Esta situación provoca inundaciones cada vez más frecuentes en zonas urbanas y semiurbanas de la ciudad.

A través del presente trabajo también se identifica la problemática general en cuanto a la calidad del agua residual y el agua residual tratada que se genera en la Ciudad de México, destacándose dentro de las principales causas, la falta de control en la diversidad de contaminantes presentes en las descargas residuales que son incorporadas a la red de drenaje urbano y que ingresan a las PTAR's, así como una deficiencia general en la etapa operativa y de mantenimiento de las mismas.

De acuerdo a la información disponible, existe una deficiente calidad en los influentes de las PTAR's de la Ciudad de México, debido principalmente a una alta cantidad de contaminantes, entre los que destacan la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), que en algunas zonas de la ciudad en época de estiaje alcanza una concentración de hasta 545.89 miligramos/litro (mg/L), así como de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), contaminantes que registran concentraciones hasta de 848.11 mg/L y 2,045.82 mg/L, respectivamente.

Como actividad práctica, en el presente trabajo se efectuó el aforo y caracterización del influente y efluente de la PTAR "Cerro de la Estrella" para así determinar la calidad del agua residual involucrada, esto mediante el análisis fisicoquímico realizado por un laboratorio de análisis de aguas residuales acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación. Para la realización de este análisis se tomaron como referencia los parámetros de contaminantes citados en la NOM-002-SEMARNAT-1996, ello bajo el supuesto de que el efluente de esta PTAR es conducido al drenaje urbano de la ciudad de México para su desalojo hacia canales de aguas negras con destino a



municipios conurbados del Estado de México o del Estado de Hidalgo. Actualmente el agua tratada en esta PTAR se utiliza para riego de áreas verdes urbanas y llenado de lagos recreativos principalmente.

El resultado obtenido del influente de la PTAR Cerro de la Estrella es típico de aguas residuales de tipo doméstica, con concentración de DBO₅ y SST de 88.7 mg/L y 114 mg/L respectivamente. Para el efluente se determinó una concentración de DBO₅ de 58.9 mg/L y SST de 39 mg/L. Los resultados obtenidos en el análisis fueron asimismo comparados con los valores de los límites máximos permisibles de los contaminantes referidos en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, norma que establece el límite máximo permisible (LMP) de contaminantes que debe contener el agua residual tratada que se reuse en servicios al público.

En la evaluación de la información técnica recopilada acerca de la etapa operativa de las PTAR's ubicadas en la Ciudad de México, y la concentración de contaminantes en el influente y efluente de las mismas, se encontró que debido a fallas operativas en equipos e instalaciones de las PTAR's, la calidad del efluente no cumplen con el LMP en la mayoría de los parámetros de descarga, situación que se complica considerando la calidad del agua residual que se recibe en estas instalaciones de tratamiento, en donde la calidad y caudal varía en la temporada pluvial y de estiaje. Esto ocasiona que el uso del agua residual tratada se vea limitado por no cumplir con la calidad requerida para ser utilizada en diversas actividades.

De esta forma en el presente trabajo se consideró por una parte que la calidad del agua residual que se genera en la Ciudad de México y el volumen que recibe tratamiento en alguna de las PTAR's de la ciudad, en muchos casos no satisface las necesidades de uso para distintas actividades en donde el uso de agua potable no es indispensable, pero que a falta de agua residual tratada de calidad se sigue utilizando. Considerando este factor, en el presente trabajo se proponen algunas alternativas para el control de la calidad del agua residual que se genera en la Ciudad de México, estas incluyen:



-
- a) Cumplimiento estricto y oportuno de programas de mantenimiento preventivo y correctivo en cada una de las PTAR's, o en su caso, la elaboración y cumplimiento del mismo.
 - b) Regularización de las descargas residuales generadas por las micro, pequeñas y medianas empresas.
 - c) Construcción de infraestructura para el tratamiento del creciente volumen de aguas residuales que se generan en la Ciudad de México.
 - d) Captación y reciclaje de agua pluvial.
 - e) Uso de inodoros con dispositivos de desviación de orina con bajo o nulo consumo de agua.

Con las propuestas anteriores se pretende incrementar y/o mejorar la calidad del agua residual para que pueda ser reutilizada en diversas actividades y evitar el uso innecesario de agua potable. De igual forma se pretende que sea una pequeña contribución en la mejora en algunos componentes del balance hidrológico en la zona aquí evaluada, principalmente en cuanto a recarga de acuíferos se refiere, ya que datos de la CNA señalan que la recarga de acuíferos a descendido hasta alcanzar un volumen de 54.24 m³/s.

Cabe resaltar que el éxito de las propuestas realizadas depende en gran parte de las mejoras que la autoridad ambiental o la sociedad acuerde impulsar y hacer cumplir en cuanto a la gestión del agua residual que diariamente se genera en la ciudad.

Objetivos



a) Proporcionar una visión global de la calidad, manejo, gestión y tratamiento de las aguas residuales que se generan en el Valle de México, en particular en la Ciudad de México.

b) Proponer alternativas para mejorar la calidad de las aguas residuales que se generan en la Ciudad de México.





1. Descripción General de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México

1.1 Ubicación y delimitación geográfica de la región hidrológica-administrativa XIII

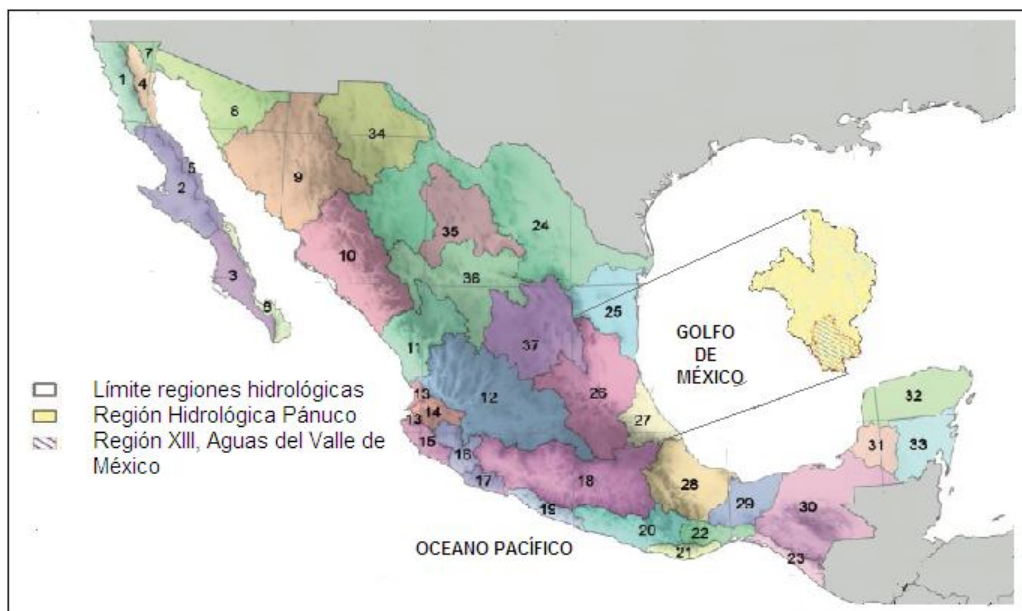
En la década de 1970, con el propósito de sistematizar estudios hidrológicos y de calidad del agua, la Dirección de Hidrología de la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizó una delimitación de las principales corrientes pluviales del país, agrupando en 37 regiones hidrológicas¹ (ver Figura 1.1) las 102 cuencas hidrológicas² que se habían delimitado en el Plan Nacional Hidráulico del año 1975. Posteriormente, se crea la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cual en 1998 con el objetivo de lograr una mejor gestión de los recursos hídricos del país y una descentralización de sus funciones³, reagrupó las 37 regiones hidrológicas y delimitó 13 regiones hidrológicas-administrativas⁴, ubicando a la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México, dentro de la región hidrológica 26, Pánuco (ver Figura 1.2).

¹ Área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos, cuya finalidad es el agrupamiento y sistematización de la información, análisis, diagnósticos, programas y acciones en relación con la ocurrencia del agua en cantidad y calidad, así como su explotación, uso o aprovechamiento. Normalmente una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas.

² Una cuenca hidrográfica se refiere al espacio geográfico que contiene los escurrimientos de agua y que los conducen hacia un punto de acumulación, mientras que cuenca hidrológica incluye también a las aguas subterráneas. PARE, Luisa., ROBINSON, Dawn. y GONZÁLEZ, Marco. *Gestión de cuencas y servicios ambientales: perspectivas comunitarias y ciudadana*. 1^{ra} ed. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales: Instituto Nacional de Ecología: ITACA: Raíces Sendas, A.C. WWF, 2008. 304 p. ISBN: 978-968-817-871-3

³ CARABIAS, Julia y LANDA, Rosalva. *Agua, medio ambiente y sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos*. (Con la colaboración de Jaime Collado, Polioptro Martínez; prólogo de Fernando Tudela). 1^{ra} ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México: El Colegio de México: Fundación Gonzalo Río Arronte, 2005. 221 p. ISBN 968-12-1202-9

⁴ Área territorial definida de acuerdo con criterios hidrológicos, integrada por una o varias regiones hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos y el municipio representa, como en otros instrumentos jurídicos, la unidad mínima de gestión administrativa en el país.



Regiones Hidrológicas

1. B.C. Noroeste	11. Presidio-San Pedro	21. Costa de Oaxaca	30. Grijalva-Usumacinta
2. B.C. Centro-Oeste	12. Lerma-Santiago	22. Tehuantepec	31. Yucatán Oeste
3. B.C. Suroeste	13. Río Huicicila	23. Costa de Chiapas	32. Yucatán Norte
4. B.C. Noreste	14. Río Ameca	24. Bravo-Conchos	33. Yucatán Este
5. B.C. Centro-Este	15. Costa de Jalisco	25. San Fernando-Soto La Marina	34. Cuencas Cerradas del Norte
6. B.C. Sureste	16. Armería-Coahuayana	26. Pánuco	35. Mapimí
7. Río Colorado	17. Costa de Michoacán.	27. Norte de Veracruz	36. Nazas-Aguanaval
8. Sonora Norte	18. Balsas	28. Papaloapan	37. El Salado
9. Sonora Sur	19. Costa Grande de Guerrero	29. Coatzacoalcos	
10. Sinaloa	20. Costa Chica de Guerrero		

Figura 1.1. Regiones hidrológicas y la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México.

Fuente: Elaboración propia con base en el *Compendio del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII*, CNA, 2010 y en el *Atlas del Agua en México 2011*, CNA.

La región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México está conformada por 13 sistemas acuíferos: Actopan-Santiago de Anaya, Ajacuba, Apan, Chalco-Amecameca, Chapantongo-Alfajayucan, Cuautitlán-Tizayuca-Pachuca, El Astillero, Ixmiquilpan-Tasquillo, Tecocomulco, Tepeji del Río, Texcoco, Valle del Mezquital, Zona Metropolitana, de los cuales seis se ubican en el Valle de México y siete en Tula⁵.

En términos generales, la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México, se localiza al sur de la Mesa Central, entre las latitudes norte 19° 05' y 20° 45' y las longitudes 98° 15' y 99° 45' y está completamente rodeada

⁵ MÉXICO. Comisión Nacional del Agua. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. México: CNA, 2001. 175 P. ISBN 968-817-502-1



de montañas, encontrando hacia el sur la más grande por su longitud y elevación, la gran planicie central, que tiene una altitud que varía entre 2,240 m en el sur y 2,390 m en el norte. Está alargada de norte a sur con una extensión amplia hacia el este. En su eje mayor, desde la sierra de Chichinautzin, en el sur, hasta el extremo del Valle del Mezquital, en el norte, mide unos 190 km; en su eje menor, desde la zona de valles y lomeríos de Jilotepec, en el oeste, hasta la sierra de Tepozán en el este, mide unos 160 km⁶.



Figura 1.2 Regiones hidrológicas-administrativas y delimitación de la región XIII, Aguas del Valle de México y de sus subregiones.

Fuente: *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*, CNA, 2009.

Para fines de planeación administrativa por parte de la CNA, la región XIII se dividió de acuerdo con el criterio de cuencas en Cuenca del Valle de México y Cuenca del Río Tula, ajustando sus límites según la consideración adoptada para la delimitación de las regiones hidrológicas-administrativas, que fue,

⁶ HERRERA, Edgar y LÓPEZ, Raúl. *Análisis del uso del agua en la región XIII "Valle de México" y perspectivas a mediano y largo plazo*. Trabajo de titulación (Ingeniero Civil). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 1999. [121] p.



conservar la unidad municipal a fin de evitar problemas político-administrativos que ocasiona el que algún municipio sea compartido por más de una región, así fue que se dividió a la región XIII en dos subregiones, Valle de México y Tula (ver Figura 1.2).

Las diferencias entre las cuencas que conforman la región XIII son notables, por su parte, la Cuenca del Valle de México se encuentra rodeada de cadenas montañosas que no se interrumpen en ningún punto, sin embargo, no es propiamente un valle, ya que no tiene una línea de drenaje general que la modele. Por otro lado, la Cuenca del río Tula es en términos generales más plana que la anterior, en la que se define una corriente principal que la drena que es el río Tula, el cual descarga sus aguas en el río Moctezuma.

En términos generales, la región XIII ocupa una superficie de 18,229 km² y está conformada por municipios de tres entidades federativas, más el Distrito Federal. Del total de la superficie, el 51 % corresponde al Estado de México con 62 municipios, el 32 % al Estado de Hidalgo con 39 municipios, el 13 % al Distrito Federal con sus 16 delegaciones políticas, y tan solo el 3 % al Estado de Tlaxcala con cuatro municipios (CNA, 2010).

A nivel de subregión, la subregión Valle de México es la más extensa de las dos, al abarcar una superficie territorial de 9,739 km² y contar con 69 municipios, de los cuales, 50 pertenecen al Estado de México, 15 al Estado de Hidalgo y cuatro al Estado de Tlaxcala, más las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal. Por su parte, la subregión Tula abarca una superficie total de 8,490 km² y la conforman 36 municipios, de los cuales, 24 pertenecen a Hidalgo y 12 al Estado de México (CNA, 2010). En la Tabla 1.1 se condensa esta información además de apreciarse la superficie territorial por entidad federativa.



Tabla 1.1 Superficie territorial por subregión y entidad federativa.

Subregión hidrológica	Entidad Federativa	Superficie territorial	Municipios y delegaciones
Valle de México	Estado de México	5111.14	50
	Hidalgo	2652.58	15
	Distrito Federal	1485.49	16
	Tlaxcala	490.43	4
Total subregión		9739.64	85
Tula	Estado de México	3198.13	12
	Hidalgo	5291.23	24
Total subregión		8489.36	36
Total		18229	121

Fuente: Elaboración propia con base en el *Compendio del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII*, CNA, 2010.



1.2 Situación socio-económica de la región hidrológica-administrativa XIII

La región XIII, Aguas del Valle de México es por mucho la región hidrológica-administrativa más pequeña del país, al contar con una superficie territorial de tan solo 16,438 km² (CNA, 2009) lo que equivale al 0.93 % de la superficie del territorio nacional, sin embargo, hay que resaltar que pese a lo anterior es la región con mayor número de habitantes, al alcanzar para el año 2009 una población de 21.42 millones de habitantes (CNA, 2009), lo que equivale al 19.1 % de la población nacional.

El crecimiento poblacional que muestra la región XIII en comparación con el resto de las regiones del país, tiene su razón de ser en la forma en que se dio el desarrollo político, económico y social en México. En la Tabla 1.2 se muestra el crecimiento poblacional que ha tenido la región XIII a través de los años.

Tabla 1.2 Tasa de crecimiento de la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México (1940-2010).

Tasa de crecimiento			
Subregión	Población (habitantes)		% de crecimiento
	año 1960	año 1970	
Valle de México	6073132	9905297	5.01
Tula	353859	445408	2.33
Subregión	1970	1990	% de crecimiento
Valle de México	9905297	16360350	2.54
Tula	445408	738468	2.56
Subregión	1990	2000	% de crecimiento
Valle de México	16360350	18749495	1.37
Tula	738468	853769	1.46
Subregión	2000	2010	% de crecimiento
Valle de México	18749495	20510000	0.90
Tula	853769	914942	0.69

Fuente: Elaboración propia con datos del *Atlas del Agua Región XIII*, CNA, 2011 y *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, CNA, 2004.

El fenómeno de crecimiento demográfico acelerado en la región XIII, Aguas del Valle de México y principalmente en la subregión Valle de México, se fundamenta en el hecho de que la subregión Valle de México alberga casi en



su totalidad a la Zona Metropolitana⁷ más poblada del país, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual en la actualidad está conformada por las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal, 59 municipios del Estado de México y uno del Estado de Hidalgo (CNA, 2009) (ver Figura 1.3).

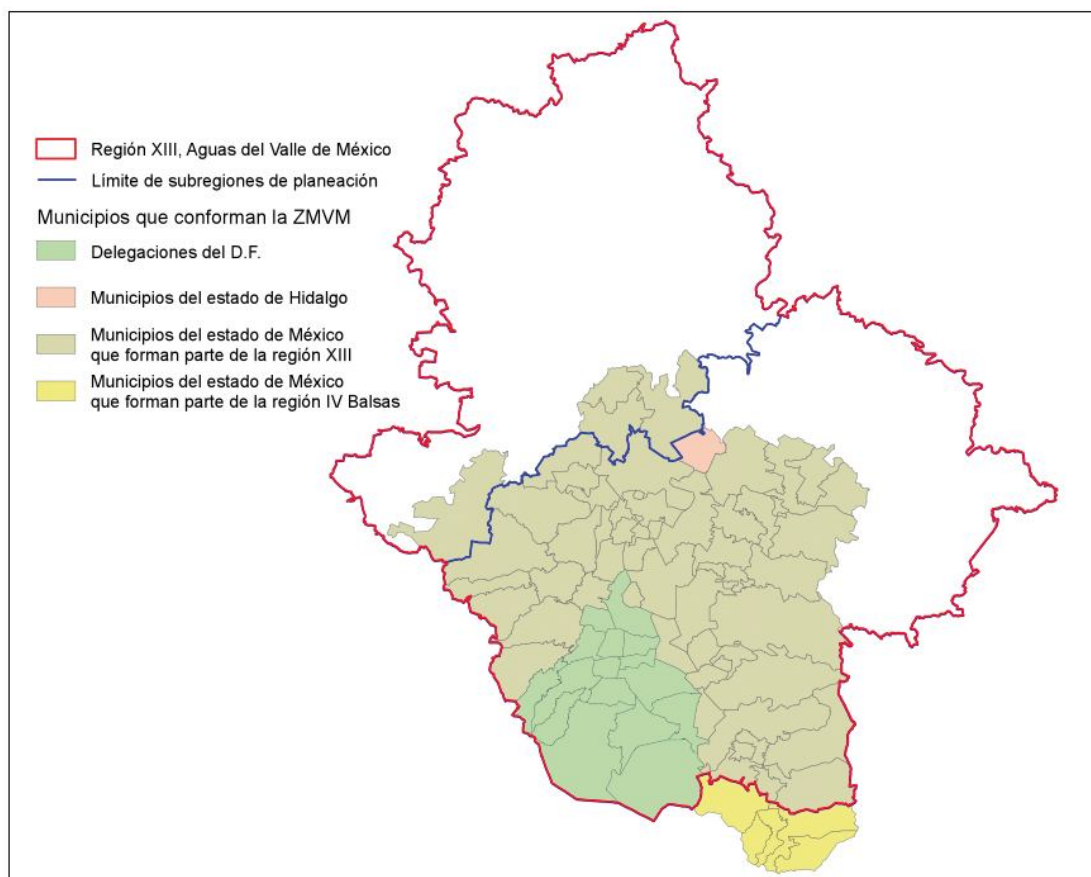


Figura 1.3 Conformación de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Fuente: *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*, CNA, 2009.

La ZMVM cuenta con una superficie territorial de 7,854 km², de los cuales, el municipio de Tizayuca, el único municipio del Estado de Hidalgo que forma parte de la ZMVM, para el año 2008 contaba con una población de 63,622 habitantes en un área geográfica de 77.20 km². Por su parte, el Distrito Federal

⁷ El término zona metropolitana se acuñó y desarrolló en Estados Unidos a partir de los años veinte del siglo XIX y se utilizaba la mayoría de las veces para referirse a una ciudad 'grande' cuyos límites rebasan los de la unidad político-administrativa que originalmente la contenía. SALAZAR, Héctor y NEGRETE, Eugenia. *Zonas metropolitanas en México, 1980*. Estudios demográficos y urbanos. 1 (1): 24-97, 1986.



cubre una superficie de 1,485 km² y es la entidad federativa más poblada de la ZMVM después del Estado de México. Tan solo para el año 2008, el Distrito Federal contaba con una población de 8,838,981 habitantes, mientras que el Estado de México contaba con una población de 11,001,757 habitantes a lo largo de una superficie de 6,293.23 km², superficie que equivale a más de cuatro veces la superficie del Distrito Federal (CNA, 2009).

Para entender el crecimiento demográfico de la ZMVM y por ende el crecimiento poblacional de la región XIII, debemos remitirnos la década de los años 40, periodo en el cual se inicia un proceso de industrialización intensiva del área urbana y en donde el modelo de desarrollo del Estado Mexicano fue el de darle preferencia al desarrollo industrial sobre al desarrollo agrícola⁸. Esto generó que el Estado dotara de infraestructura, equipamiento y servicios a aquellas regiones que contaban con alguna actividad industrial y un mercado con potencial de desarrollo importante⁹.

Tras el marco de desarrollo antes mencionado es que la Ciudad de México¹⁰ se convirtió en el principal captador de las inversiones públicas y privadas de capital nacional y extranjero, llegando a ser el centro urbano dominante de la República Mexicana y principalmente de la región central¹¹.

Dada la situación política y económica de ese periodo en el que la acumulación del capital se concentró en ciertas áreas del país, (caso Ciudad de México), inherentemente trajo consigo una tendencia de concentración económica y demográfica.

⁸ CAMPOSORTEGA, Sergio. Evolución y tendencias demográficas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En: Consejo Nacional de Población. La zona metropolitana de la ciudad de México: Problemática actual y perspectivas demográficas y urbanas. México, D.F.: Consejo Nacional de Población, 1992. 288 p. ISBN 968-805-926-9

⁹ FLORES, Carlos. Algunas consideraciones sobre política y economía en México 1930-1976. Trabajo de titulación (Licenciada en Economía). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía, 1979. 332 p.

¹⁰ En este punto, Ciudad de México se refiere tan solo a las 10 delegaciones políticas que para el año de 1940 la conformaban.

¹¹ Ángel Bassols divide a México en ocho regiones geoeconómicas, agrupando en la región centro a los estados de: México, D.F., Puebla, Querétaro, Hidalgo, Morelos y Tlaxcala. BASSOLS, Ángel. La división económica regional de México. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas 1967. 264 p.



En la década de 1950, en la Ciudad de México se comenzaron a dar las más altas tasas de crecimiento demográfico del país y la mancha urbana se extendió a través de los límites de la ciudad hacia las localidades vecinas, dando paso al proceso de metropolización de la Ciudad de México, para formar así la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Para ese periodo solo un municipio perteneciente al Estado de México formaba parte de la zona conurbada, así como 11 delegaciones políticas. Para el año de 1970, el número de municipios englobados en la ZMCM dada la expansión urbana, era de 11 municipios además de 15 delegaciones políticas. Para el año de 1980, la ZMCM era conformada por 18 municipios del Estado de México y 16 delegaciones políticas, en tanto que para el año 2000 el Consejo Nacional de Población (CONAPO), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) publicaron el libro *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México*, en donde cambió el nombre de ZMCM al de ZMVM, y se integraron 17 municipios más del Estado de México dentro de la ahora llamada ZMVM¹². Finalmente en el año 2005, una nueva publicación de CONAPO-INEGI-SEDESOL integraba a la ZMVM 24 municipios más del Estado de México y un municipio del Estado de Hidalgo.

El crecimiento demográfico que experimentó la ZMCM y posteriormente la llamada ZMVM, fue el mayor que el de la población nacional, al incrementar su población de 1.7 millones de habitantes en el año 1940, a 8.9 millones en 1970 y 20.1 millones en 2010 (ver Tabla 1.3).

La ZMCM además de convertirse en la mayor región urbana también se transformó en la región que mayor porcentaje aportaba del Producto Interno Bruto (PIB) a nivel nacional.

¹² La diferencia entre la anteriormente denominada Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y la del Valle de México actual (ZMVM), radica en el número de municipios que las conforman. La primera está conformada por las 16 Delegaciones Políticas del DF y 35 municipios conurbados del Estado de México. Mientras que la segunda, comprende 59 municipios del Estado de México, uno del estado de Hidalgo más las 16 Delegaciones Políticas del DF. MÉXICO. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. 1ra ed. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009. 163 p.



Tabla 1.3. Población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (1940-2010).

Año	Composición		Población	Tasa de crecimiento (%)
	Dfelegaciones	Municipios		
1940	10	0	1743619	-
1950	11	1	3135771	6.04
1960	14	4	5439350	5.66
1970	15	11	8909538	5.05
1980	16	18	13021048	3.86
1990	16	27	15793837	1.94
2000	16	35	17919158	1.27
2010	16	60	20137152	1.17

Fuentes: Elaboración propia con base en: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Censo de Población y Vivienda 2010.*, Camposortega Cruz, Sergio. Evolución y tendencias demográficas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En: CONAPO. *La Zona Metropolitana de la Ciudad de México: situación actual y perspectivas demográficas y urbanas*, 1992. e IZAZOLA, Haydea. *Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México.* En *Estudios Demográficos y Urbanos*, 16 (2): 285-320, Mayo-agosto 2003.

A partir de los años ochenta hubo algunos cambios en las políticas nacionales de desarrollo económico que orientaron a la economía mexicana al exterior y a la búsqueda de la estabilidad financiera¹³; asimismo, la ZMCM sufrió una descentralización de la industria nacional, en donde las actividades industriales perdieron importancia mientras que por otro lado, los sectores que aumentaron su participación en la economía de la ZMCM fueron las actividades terciarias como son: transporte, almacenaje y comunicaciones; servicios comunales, sociales y personales, sin embargo, el sector que sobresalió fue el de los servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler¹⁴.

La descentralización de la industria en parte fue estimulada por los gobiernos, en virtud de los peligrosos niveles de contaminación que se alcanzaron en esos

¹³ IRACHETA, Alfonso. Gobernabilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Papeles de población* [en línea]. Abril-jun 2003, vol. 036. [Fecha de consulta: Julio 2011]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/112/11203609.pdf> ISSN: 1405-7425.

¹⁴ PARNREITER, Christof. Ciudad de México: el camino hacia una ciudad global. *EURE (Santiago)* [en línea]. Diciembre 2002, vol. 28, no. 85. [Fecha de consulta: Julio 2011]. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612002008500006&lng=en&nrm=iso&tlng=es ISSN: 0250-7161



años, así como a los problemas urbanos derivados de la alta concentración demográfica¹⁵.

La reestructuración económica que sufrió el país también dio lugar a una mayor diversificación de las actividades productivas en el territorio nacional, es decir, trajo como consecuencia un cambio sustancial en los patrones de movilidad y localización de la población, a diferencia de la etapa de urbanización acelerada en la que predominó la migración de origen rural hacia las grandes ciudades.

En la actualidad, las ocho zonas metropolitanas (Puebla, Toluca, Cuernavaca, Cuautla, Pachuca, Tulancingo, Tula y Tlaxcala)¹⁶ de menor tamaño que rodean a la ZMVM, han constituido una alternativa residencial frente a la elevada concentración demográfica en la principal zona metropolitana del país, que es la ZMVM. Sin embargo, este proceso de movilidad poblacional no se extiende a lo largo de la ZMVM, ya que para el quinquenio 2000-2005, el Estado de México resultó ser la entidad federativa de mayor atracción poblacional con el 22.6 %, mientras que el Distrito Federal formó parte de las entidades federativas de mayor rechazo poblacional con el 50.1 %.

Tras los varios cambios sociales, económicos y políticos que ha sufrido la Ciudad de México, es que resulta tan complejo explicar la situación socio-económica de la región XIII, Aguas del Valle de México.

En la actualidad, la región XIII es sede del poder ejecutivo y es la región que mayor porcentaje aporta al PIB nacional con el 31.56%, y de acuerdo con proyecciones de CONAPO, se estima que para el año 2030 la población en la región XIII sea de más del doble de la población actual, al alcanzar aproximadamente los 47,392,669 habitantes.

¹⁵ MÉXICO. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008 [en línea]. 1ra ed. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2010. 137 p. [Fecha de consulta: julio 2011]
Disponible en:

http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/2008ie_criterio/2008ie_criterio01.pdf

¹⁶ ANZALSO, Carlos, HERNÁNDEZ, Juan C. y RIVERA, Ahidé. Migración interna, distribución territorial de la población y desarrollo sustentable. *En*: Consejo Nacional de Población. La situación demográfica de México 2008. México: CONAPO, 2008. 150 p.



2. Manejo de las Aguas Residuales Dentro de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México

2.1 Generalidades del agua residual

Las aguas residuales tal cual lo define la Ley de Aguas Nacionales, son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. Es así que según su procedencia, las aguas residuales se dividen principalmente en:

1. Agua residual domestica (también llamada sanitaria). Es el agua residual procedente de casas-habitación, instalaciones comerciales, públicas y similares. Son las aguas que provienen de núcleos urbanos. Contienen principalmente sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, deyecciones, basuras, productos de limpieza, jabones, etc.) sus principales contaminantes son los microorganismos patógenos y la alta carga de sólidos disueltos y en suspensión. También presentan altas concentraciones de nitrógeno y fósforo.
2. Agua residual industrial. Es aquella proveniente de los procesos de transformación de materias primas a materias elaboradas en gran escala. Los elementos contaminantes de este tipo de agua residual son muy variables, pero generalmente son muy específicos y se encuentran en muy altas concentraciones. Predominan metales pesados y diversas sustancias orgánicas muy tóxicas.
3. Agua residual agrícola. Es aquella que después de ser aplicada al suelo para auxiliar algún cultivo, drena superficial o subsuperficialmente. Sus principales contaminantes son sólidos en suspensión, sólidos inorgánicos disueltos y sustancias organofosforados y organoclorados (pesticidas).



4. Agua de lluvia. Son los arrastres de partículas y fluidos presentes en una superficie expuesta que al caer la lluvia se lleva a través de su recorrido. En términos generales, es el agua resultante de la esorrentía superficial.

De acuerdo con su naturaleza, los contaminantes tradicionales de las aguas residuales se distinguen en químicos, biológicos y físicos.

- Contaminantes químicos. Los compuestos químicos comprenden tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos y pueden ser de origen natural o sintético. Algunos son desechados directamente, otros se forman por la reacción entre diferentes compuestos en el agua y una pequeña parte se forman durante el procesamiento del agua.

De acuerdo con el tamaño del contaminante, existe:

- a) Materia suspendida. Corresponde a moléculas en fase dispersa con diámetro equivalente entre 1 y 100 μm .
 - b) Materia coloidal. Es materia suspendida con características similares a la materia disuelta. Tiene diámetro equivalente a 10^{-3} y 1 μm y se caracteriza por ser de sedimentación muy lenta.
 - c) Materia disuelta. Son moléculas o iones disueltos con diámetro equivalente entre 10^{-5} y 10^{-3} μm .
- Contaminantes biológicos. Son seres vivos como microorganismos, quistes y huevos de parásitos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies. Las más comunes en el hombre son la tifoidea, la salmonelosis, disentería, cólera y helmintiasis. Los agentes que la causan entran al agua a través de las heces fecales de humanos o animales.
 - Contaminantes físicos. Son alteraciones de las propiedades físicas del agua. Algunos contaminantes físicos incluyen: cambios térmicos, cambios de color, turbidez, conductividad y sabor.



Cabe resaltar que la cantidad de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua son los que determinan la composición de la misma.

Para determinar los contaminantes anteriormente mencionados en las aguas residuales se emplean diferentes parámetros dependiendo de la naturaleza de los contaminantes, entre los más comúnmente utilizados y que fueron los primeros en ser atendidos por la Ingeniería Ambiental se encuentran los citados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Parámetros empleados para la determinación de contaminantes convencionales.

CONTAMINANTES CONVENCIONALES	PARÁMETRO
Físicos	Color Olor Sabor Temperatura Turbiedad Sólidos Conductividad
Químicos	Alcalinidad Oxígeno disuelto pH No metales Metales Nutrientes (N y P) Dureza Cloro residual
Materia orgánica	Demanda química de oxígeno (DQO) Demanda biológica de oxígeno (DBO) Carbono orgánico total (COT) Extractables con cloroformo Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) Grasas y aceites Fenoles
Bacteriológicos	Coliformes fecales <i>Vidrio cholerae</i> <i>Shigella</i> <i>Salmonella</i> <i>Giardia Lamblia</i>

Fuente: (Jiménez Cisneros, Blanca E, 2001)



2.2 Descargas residuales dentro de la región hidrológica-administrativa XIII

En la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México, debido al desmedido crecimiento de la población, existe una problemática muy singular con respecto a la gestión de las aguas residuales. Servicios básicos como recolección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales no son suministrados al ritmo y capacidad que se requieren, debido a que en muchos casos la infraestructura hidráulica para estas actividades se encuentra deteriorada, con tecnología rezagada o rebasada por el gran volumen de aguas residuales que genera la creciente población y el incremento de las actividades socio-económicas en la región.

En lo que respecta específicamente a la descarga de aguas residuales dentro de la región XIII, esta se ha intensificado debido a la generación de volúmenes cada vez mayores de aguas residuales. A este respecto, un factor determinante ha sido el incremento en la cantidad de población que nace o que emigra a esta región procedente de muchas entidades del país, además de micro, pequeñas, medianas y/o grandes empresas que se establecen dentro de la región, población y sectores productivos que demandan mayores volúmenes de agua potable para satisfacer sus necesidades básicas y productivas, los mismos que generan mayor volumen de aguas residuales con incremento en la diversidad de contaminantes.

Asimismo, hay que considerar las descargas residuales de las poblaciones que en ocasiones se establecen en asentamientos irregulares o ilegales, lo que dificulta tanto la planeación del abastecimiento de agua potable, como el control de sus descargas residuales, tal como ocurre en barrancas del Valle de México, zonas de montaña o lomeríos que circundan la Ciudad de México, por ejemplo; en las delegaciones políticas de Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Xochimilco, Milpa Alta, Magdalena Contreras, Tlalpan, Gustavo A. Madero, Iztapalapa y Tláhuac, así como varios municipios del Estado de México, entre los que se encuentran: Tlanepantla, Valle de Chalco, Texcoco y Ecatepec, entre otros.



De acuerdo a datos estadísticos de población, tan solo en el periodo 2000-2008, los municipios que conforman los estados pertenecientes a la región XIII que presentaron mayor tasa de crecimiento fueron: Mineral de la Reforma y Tizayuca en el Estado de Hidalgo, pasando de 42,223 a 86,674 habitantes y de 46,344 a 63,622 habitantes respectivamente. En el caso del Estado de México, los municipios con mayor tasa de crecimiento en ese periodo fueron Chicoloapan, Tecámac y Huehuetoca, al pasar de una población de 77,579 a 227,551 habitantes, de 172,813 a 333,552 habitantes y de 38,458 a 73,784 habitantes respectivamente. Para el caso del Estado de Tlaxcala, cabe mencionar que la tasa de crecimiento no fue tan elevada en comparación con los municipios pertenecientes al Estado de Hidalgo y Estado de México, ya que la mayor tasa de crecimiento se registró en 1.72 % en el municipio de Calpulalpan, al pasar de 37,169 a 43,230 habitantes (CNA, 2009). La información antes citada se resume en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Municipios de la región hidrológica-administrativa XIII con mayor incremento poblacional (2000-2008).

Municipio	*Población	
	2000	2008
Mineral de la Reforma	42 223	86 674
Tizayuca	46 344	63 622
Chicoloapan	77 579	227 551
Tecámac	172 813	333 552
Huehuetoca	38 458	73 784
Calpulalpan	37 169	43 230

*Expresada en miles de habitantes

Fuente: Elaboración propia con base en *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*. CNA, 2009.

Por lo que respecta a las descargas residuales generadas por las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas ubicadas en la región hidrológica de interés, hay que considerar el número de unidades económicas existentes en esta, así como su giro de actividad productiva para determinar el tipo de contaminantes presentes en las aguas residuales. De acuerdo a registros del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), elaborado por el INEGI, indican que la región XIII, Aguas del Valle de México, contaba para el año 2010 con 883,461 unidades económicas, las cuales se agrupan



según el tipo de actividad económica en 21 sectores, que a su vez se subdividen en ramas y estas por tipo de actividad. La subregión Valle de México concentraba para ese año el mayor número de unidades económicas de la región, al contar con 847,315, mientras que la subregión Tula contaba con 36,146 (ver Tabla 2.3). Cabe resaltar que dependiendo de su tamaño y giro, todas estas empresas generan aguas residuales en mayor o menor cantidad.

Del número total de unidades económicas de la región XIII, 76,681 pertenecen a la industria manufacturera, lo que equivale al 8.68 % del total, mientras que poco más del 90 % del total de unidades económicas pertenecen al sector terciario (comercios, restaurantes, hoteles, transporte, almacenaje, comunicaciones, servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler, servicios comunales, sociales y personales, y servicios bancarios imputados)¹⁷. Ambos tipos de descargas residuales son incorporadas al drenaje, formando parte de las aguas residuales urbanas, sin embargo, las aguas residuales provenientes del sector terciario son las que por su composición más se asemejan a las aguas residuales de tipo doméstica.

Cabe mencionar que debido a la diversa composición de las descargas residuales que generan las empresas pertenecientes al sector industrial, estas son las fuentes fijas que más contaminación causan al medio ambiente, ya que sus descargas residuales al provenir de distintos procesos industriales, poseen una gran cantidad de contaminantes específicos y peligrosos, esto a pesar de que sus volúmenes de descarga son relativamente bajos en comparación con el volumen de descargas residuales de origen agrícola o doméstico. Considerando que aproximadamente la industria aporta el 6.8 % del agua residual generada en la región XIII, mientras que las descargas agrícolas y domésticas representan el 12.4 %, y el 80.8 % respectivamente.

¹⁷ SISTEMA DE CUENTAS NACIONALES 2001-2006 [en línea]. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, [fecha de consulta: agosto 2011]
Disponible en:
http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/regionales/pib/pibe2006.pdf



Tabla 2.3 Número de unidades económicas por actividad económica y por subregión (Tula y Valle de México) al año 2009.

Actividad económica	Unidades económicas		
	Total	Valle de México	Tula
Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	123	74	49
Minería	195	153	42
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	220	179	41
Construcción	2376	2329	47
Industrias manufactureras	76681	72344	4337
Comercio al por mayor	26117	25151	966
Comercio al por menor	421632	404424	17208
Transportes, correos y almacenamiento	3363	3262	101
información en medios masivos	3727	3563	164
Servicios financieros y de seguros	2402	2314	88
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	10188	9866	322
Servicios profesionales, científicos y técnicos	20930	20415	515
Corporativos	90	90	0
Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	21415	20582	833
Servicios educativos	24365	23401	964
Servicios de salud y de asistencia social	34873	33688	1185
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, otros servicios recreativos	11283	10820	463
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	87261	84029	3232
Otros servicios excepto actividades gubernamentales	125139	120256	4883
Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	7097	6553	544
No especificado	3984	3822	162
Total	883461	847315	36146

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del DENU. INEGI, 2010.

Es conveniente mencionar que debido al gran universo de fuentes generadoras de aguas residuales, resulta muy difícil determinar de manera precisa la cantidad de aguas residuales que son generadas en la región XIII, ya que depende del consumo o uso de agua per cápita, del volumen de aguas residuales desalojado por las empresas de servicios que predominan en número, de las empresas del sector industrial que se encuentran en menor número, tanto micro, pequeñas, medianas como grandes empresas, de la



eficiencia de la red colectora, así como del aporte de otras fuentes generadoras tales como fuentes no puntuales.

Para establecer la cantidad de aguas residuales producidas hay que tomar en consideración que existen dos tipos de fuentes de contaminación del agua: las puntuales y las no puntuales o dispersas. Las primeras son fijas y fácilmente identificables, producen cantidades de emisiones cuantificables, mientras que las fuentes no puntuales son difusas en una amplia área geográfica y no tienen claros ni los puntos de descarga ni los volúmenes de descarga¹⁸, por lo que resulta difícil evaluar su calidad y los efectos de degradación sobre la calidad del agua del cuerpo receptor. Ejemplo de este tipo de descargas dentro de la región XIII se encuentran los siguientes:

- Aguas de retornos agrícolas.
- Descargas de la actividad ganadera.
- Excedentes industriales y municipales.
- Lixiviado de basureros, rellenos sanitarios, confinamiento de residuos tóxicos o cementerios.
- Precipitaciones contaminadas por la contaminación atmosférica (lluvia ácida).
- Derrames accidentales de industrias o por transporte de sustancias peligrosas.
- Infiltración de las fosas de adsorción.
- Excedentes y fugas provenientes de fosas sépticas.
- Fecalismo al aire libre.

Por otra parte, dentro de las fuentes puntuales, cifras de la CNA (2009) citan que en la región XIII se genera un volumen total promedio de aguas residuales de 1,665.22 hm³/año, de los cuales, 1,300.94 hm³ son captados por las redes existentes y 364.28 hm³ son descargados directamente a corrientes naturales cercanas a sus localidades o en calles de las mismas. Del volumen total de

¹⁸ CABALLERO, Karina. Permisos comerciables para regular la contaminación del agua. *Economía informa*. (333): 56-71, Marzo-abril 2005. ISSN: 0185-0849



aguas residuales generadas en la región XIII, cabe resaltar que la subregión Valle de México aporta el mayor volumen de las descargas, con 1,255.80 hm³/año, mientras que la subregión Tula aporta tan solo 409.42 hm³/año. Siendo las aguas residuales urbanas las que conforman la mayor parte de las aguas residuales generadas, en comparación con el volumen de aguas residuales de origen agrícola o industrial, ya que en la región XIII se genera un volumen total de 1,345.04 hm³/año de aguas residuales urbanas, 206.56 hm³/año de aguas residuales agrícolas y 113.62 de aguas residuales industriales (ver Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Aguas residuales generadas en la región XIII, Aguas del Valle de México, año 2009.

Subregión	Aguas residuales generadas (hm ³ /año)			
	Urbana	Industrial	Agrícola	Total
Valle de México	1 083.10	73.75	98.95	1 255.80
Tula	261.94	39.87	107.61	409.42
Región XIII	1 345.04	113.62	206.56	1 665.22

Fuente: CNA. Disponible en:

<http://www.conagua.gob.mx/ocavm/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=a6487127-8189-494f-9cdb-ceb864703362%7CAcerca%20de%20la%20Cuenca%7C0%7C6%7C0%7C0%7C0>

Fecha de consulta: Agosto 2011.

Aunado a lo anterior, cabe mencionar que gran parte de las descargas puntuales de origen doméstico provenientes de la región XIII, son descargadas en el sistema de drenaje urbano, considerando que el 97.21 % de la población cuenta con sistema de alcantarillado (INEGI, 2005). En el caso de la población semiurbana y rural, que no cuenta con infraestructura de alcantarillado, como lo son por ejemplo, algunas zonas de los municipios de Morelos, de Villa del Carbón y Chapa de Mota en el Estado de México, y Ajacuba y Alfajayucan en el Estado de Hidalgo, por mencionar solo algunos, sus aguas residuales terminan en fosas sépticas, ríos y lagos cercanos a estas localidades, así como en el subsuelo debido a infiltraciones no controladas.

Como es de esperarse, la subregión Valle de México al poseer el mayor número de unidades económicas (empresas), así como la mayor cantidad de habitantes, es la subregión que aporta mayores volúmenes de descargas residuales de toda la región.



Cabe señalar que la CNA en su clasificación de tipos de descarga de aguas residuales considera a las aguas residuales urbanas como aquellas que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales, urbanos y rurales, y que contienen aguas residuales de origen doméstico, público urbano así como aguas residuales industriales o de servicios conectados a dichas redes y/o aguas de escorrentía pluvial. En las aguas residuales de tipo industrial se engloba a todas aquellas aguas residuales que se generan en procesos industriales o a través de los servicios auxiliares y que son descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional¹⁹, como es el caso de la industria autoabastecida²⁰, que incluye los usos agroindustrial, servicios, industrial y energía eléctrica; y dentro de las aguas agrícolas se incluyen descargas de los usos agrícola, acuacultura y pecuario.

Es importante mencionar que actualmente la mayoría de los cuerpos de agua superficial del país reciben descargas de aguas residuales, ya sea de tipo doméstico o industrial sin tratamiento, o en el mejor de los casos con deficiente tratamiento, lo que ha ocasionado grados variables de contaminación de los cuerpos de agua.

Tan solo a nivel regional, en el año 2009 la evaluación de la calidad del agua para los distintos organismos de cuenca, dio como resultado que dentro de las regiones hidrológicas-administrativas que destacan por sus altos índices de contaminación se encuentran: Lerma-Santiago-Pacífico región VIII, Balsas región VI, Aguas del Valle de México región XIII y Península de Baja California región I.

Las descargas directas de aguas residuales en las corrientes naturales de agua que se localizan dentro de la región XIII, así como las descargas que no son contabilizadas, han afectado notablemente la calidad del agua de dichas corrientes naturales. Lo anterior se ve reflejado en los resultados de las

¹⁹ Son las aguas propiedad de la nación en los términos del párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

²⁰ En México, la industria autoabastecida es representado por la industria que se abastece directamente de ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. Los principales rubros son industria química, azucarera, petróleo, celulosa y papel.



mediciones periódicas que el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM) lleva a cabo a través de la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua (RNMCA), con el fin de conocer el comportamiento de la calidad del agua en los cuerpos de agua superficial y en los acuíferos de la región XIII.

Con base en la información citada en el Programa Nacional Hidráulico (PNH)²¹ 2001-2007, entre los principales problemas relacionados con la contaminación de las fuentes de agua dentro de la región XIII, destacan la contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea, siendo la Cuenca del río Tula la más afectada por ser receptora de las aguas residuales que provienen de la ZMVM.

Para el año 2008, la región XIII contaba con 39 estaciones de monitoreo, de las cuales 25 se ubicaban en aguas superficiales y 14 en aguas subterráneas. De acuerdo con los resultados de la evaluación de la calidad del agua en el año 2008, y conforme a los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), se obtuvo que el único cuerpo de agua que presenta excelentes condiciones de calidad es el Río Magdalena²². Por otra parte, los cuerpos de agua que presentan mayor deterioro en la calidad de sus aguas debido a los altos niveles de DBO₅ son: Gran Canal, Río de las Avenidas, Río San Buenaventura y Río de la Compañía, mientras que entre los cuerpos de agua que están fuertemente contaminados considerando los altos niveles de DQO destacan los siguientes: el Río de los Remedios, Río San Juan Teotihuacán, Río San Buenaventura y el Río de la Compañía.

²¹ Documento en el cual se definen la disponibilidad, el uso y aprovechamiento del recurso, así como las estrategias, prioridades y políticas, para lograr el equilibrio del desarrollo regional sustentable en la cuenca correspondiente y avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos

²² Para evaluar la calidad del agua en cuerpos superficiales, actualmente la CNA está utilizando principalmente dos parámetros indicadores de la misma, la DBO₅ y la DQO. DBO₅: fuertemente contaminado (mayor a 120 mg/L), contaminado (120 mg/L \geq y > 30 mg/L), aceptable (30 mg/L \geq y > 6 mg/L), buena calidad (6 mg/L \geq y > 3 mg/L) y excelente (3 mg/L \geq). DQO: fuertemente contaminado (mayor a 200 mg/L), contaminado (200 mg/L \geq y > 40 mg/L), aceptable (40 mg/L \geq y > 20 mg/L), buena calidad (20 mg/L \geq y > 10 mg/L) y excelente (10 mg/L \geq). *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*. CNA, 2009.



En cuanto a la calidad de las aguas subterráneas de la región XIII, según los análisis de la calidad del agua llevados a cabo por el OCAVM, los cuerpos de agua subterránea que sufren un mayor grado de contaminación son los pozos de los ramales Tizayuca-Pachuca, Teoloyucan, Los Reyes-Ferrocarril, Reyes-Ecatepec, Tláhuac-Nezahualcoyotl, Mixquic-Santa Catarina y Texcoco-Peñón, principalmente.

La contaminación de las fuentes subterráneas puede deberse a distintos factores, entre los que destaca, el riego con aguas residuales sin tratar en la mayoría de los casos, lo que ocasiona que el agua residual se infiltre en el terreno, llevando consigo sólidos disueltos y sustancias tóxicas, como metales pesados, aceites y sales, entre otros, así como sólidos que el agua residual va disolviendo por las distintas capas insaturadas del terreno hasta alcanzar los mantos acuíferos. Asimismo, los servicios urbanos tal como el sistema de drenaje, puede convertirse en fuente de contaminación, debido a que este puede presentar derrames debido al escaso mantenimiento, fallas geológicas, entre otros factores, lo que provoca infiltración de aguas residuales al subsuelo. En cuanto a la magnitud y efectos de la contaminación sobre los acuíferos y aguas subterráneas, si bien es cierto que las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, cuando esta contaminación se produce, es más costosa y difícil de eliminar.



2.3 Sistema de drenaje y alcantarillado del Valle de México

Debido a que el Valle de México se localiza en una cuenca delimitada geográficamente por una serie de cadenas montañosas enlazadas entre sí; es que no existe una salida directa para las aguas que escurren superficialmente, tal como las aguas pluviales y las corrientes que se encuentran en el subsuelo, situación que provocó que desde siglos atrás se realizaran diversas obras hidráulicas con el fin de desalojar el agua del valle, evitar inundaciones y aprovechar el agua por parte de los asentamientos humanos.

Las primeras obras hidráulicas de gran tamaño que se construyeron en el Valle de México y que serían el parteaguas para la creación del sistema de drenaje del Valle de México que ahora conocemos, iniciaron en la época prehispánica con la construcción Albaradón de Nezahualcóyotl, alrededor del año de 1440, con la finalidad de prevenir el desbordamiento de los lagos Chalco, Xochimilco y Texcoco, principalmente.

Posteriormente en la época de la Colonia, fue necesario construir obras hidráulicas de mayor tamaño, como la construcción del túnel de Huehuetoca, el cual conectaba las aguas del lago de Citlaltépetl hasta el río Tula, este túnel se abrió en 1789, convirtiéndose en el Tajo de Nochistongo. Las obras hidráulicas de importante relevancia que a continuación se construyeron fueron, el Gran Canal de Desagüe y el primer Túnel de Tequixquiac, ambas en 1865, y para 1950 comenzó la construcción del segundo Túnel de Tequixquiac.

Alrededor del año de 1960 se inició la construcción del Interceptor del Poniente, el cual serviría para auxiliar al Gran Canal al desalojo de las aguas residuales y pluviales del Valle de México.

En la década de los años setenta, el gran crecimiento poblacional del Valle de México volvió insuficiente la capacidad de desalojo del sistema de drenaje existente, al incrementarse el volumen de aguas residuales y pluviales que se desalojaba del valle. Asimismo, la extracción de agua de los mantos acuíferos ocasionó que algunas partes de la Ciudad de México comenzaran a hundirse,



lo que provocó adicionalmente, una disminución en la capacidad de desalojo del sistema de drenaje, ya que algunas partes de este desalojaban las aguas residuales y pluviales por gravedad. Es por lo anterior que se necesitó de un sistema de drenaje que no se viera afectado y/o disminuido por estos factores, y es ahí cuando nace e inician los proyectos para la construcción del drenaje profundo de la Ciudad de México.

Fue así que el sistema de drenaje o alcantarillado de la Ciudad de México se convirtió en una obra de grandes dimensiones, colectando las aguas residuales y pluviales de la Ciudad de México y algunos municipios conurbados en un mismo conducto. A este tipo de sistema de drenaje se le llama unitario o combinado²³ y tendría como objetivo:

- Desalojar las aguas residuales de la Cuenca del Valle de México.
- Reducir encharcamientos e inundaciones

Todas las aguas residuales de la Cuenca del Valle de México son recolectadas a través del sistema de drenaje, y recorren muchos kilómetros de tubería para finalmente ser desalojadas por alguna de las cuatro salidas que son piezas clave del sistema de drenaje de la Ciudad de México (ver Figura 2.1).

²³ MERE, Francisco. Tratamiento y control de la contaminación de las aguas urbanas. Irapuato, Guanajuato: Universidad Quetzalcóatl en Irapuato, 2003. 222 p.



Figura 2.1 Salidas del drenaje profundo de la Ciudad de México.

Fuente: (¿Guerra por el agua en el Valle de México?: estudios sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México. Perló, Manuel y González, Arsenio. 2009).

- Tajo de Nochistongo. Ideado por Henry Martín aproximadamente en el año de 1580. Inicó su construcción como túnel en 1607 y fue terminando un año después, sin embargo, con el paso del tiempo quedó inutilizado debido a varios derrumbes. Fue así que se sustituyó por un tajo o zanja, el cual comenzó a operar en 1789. Recibe las aportaciones del Emisor Poniente.
- Primer túnel de Tequixquiac. Es parte del proyecto propuesto por el Ingeniero Francisco de Garay en 1856. Se inició su construcción en 1865 y se terminó en 1895. Recibe las aguas del Gran Canal del Desagüe desde 1900.
- Segundo túnel de Tequixquiac. Inicó su construcción en 1935 pero se terminó hasta 1954. Recibe caudales del Gran Canal del Desagüe.



- Emisor Central. Es parte del drenaje profundo y su construcción fue iniciada en el año 1966. Su función más importante es conducir fuera de la Cuenca del Valle de México las aguas residuales que provienen de los interceptores Centro-Poniente, Central y Oriente.

Para lograr lo anterior, el sistema de drenaje del Valle de México requiere para su correcto funcionamiento de instalaciones de bombeo para vencer desniveles, vasos reguladores (como son: lagos, lagunas y presas) para retardar la salida del agua pluvial, canales abiertos, ríos tales como: San Javier, de Los Remedios, Tlalnepantla y Cuauhtepac en la zona norte, y los ríos entubados como son: San Buenaventura, Churubusco, de La Piedad y Consulado en el interior del Distrito Federal, así como plantas de tratamiento para reusar el agua antes de que salga del valle.

Para desalojar el agua residual que se genera en la Cuenca del Valle de México, el sistema de drenaje lo hace mediante:

- Una red secundaria: con una extensión de más de 12,326 km de longitud, esta red recolecta las aguas residuales producidas por los usuarios del sistema hidráulico junto con los escurrimientos producidos por el agua de lluvia y los conduce a la red primaria.
- Una red primaria: la que constituye la liga entre la red secundaria y el sistema general de desagüe. La cual consta de más de 1,212 km de longitud.
- Un sistema de drenaje profundo: el que se encarga de regular y conducir fuera del Valle de México las aguas residuales y pluviales. Este se compone por más de 93 km de longitud.

Con el paso del tiempo la red de drenaje comenzó a resultar ineficiente al tratar de contener y/o regular las aguas residuales provenientes de zonas cada vez más pobladas o generadas por nuevos asentamientos humanos ubicados dentro de la Ciudad de México o municipios colindantes a esta. Fue así que durante los años siguientes se fueron construyendo pequeños tramos de drenaje (interceptores), que ampliarían la cobertura del drenaje profundo.



En la Figura 2.2 se observa la distribución actual del sistema del drenaje profundo de la Ciudad de México y en la Tabla 2.5 se muestran sus componentes principales.



Figura 2.2 Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México.

Fuente: Sistema Hidrológico del Valle de México. CNA, 2007.



Tabla 2.5 Componentes del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México.

Nombre del túnel	Diámetro (m)	Capacidad de conducción o hidráulica (m)	Profundidad promedio (m)	Longitud proyecto (km)	Longitud operacional (km)	Periodo de construcción	Nº de lumbreras
Emisor Central	6.5	220	40-220	50	50	1967-1975	23
Interceptores							
Central	5.0	90	22-41	22.28	16.1	1967-1975	15
Oriente	5.0	85	20-50	28	28	1967-1975 1987-1990	22
Oriente-Sur	5	40	20-25	13.8	13.8	1990-1997	9
Centro-Poniente	4	40	22-51	16	16	1975-1982	9
Poniente	4	25	12-35	16.2	16.2	1960	27
Centro-Centro	5	90	26	3.7	3.7	1986-1988	4
Oriente-Oriente	5	40	20	7.3	3.4	1997	6
Iztapalapa	3.1	20	10-16	5.5	5.5	1994	6
Canal Nacional-Canal de Chalco	3.1-3.2	20	10-18	16.3	11.64	1987	10
Obrero Mundial	3.2	20	16	0.8	0.8	1987	3
Gran Canal	3.1	90	-----	1.01	1.01	-----	-----
Indios Verdes	3.1	-----	15-28	-----	-----	-----	-----
Ermita	3.1	-----	15- 16	-----	-----	-----	-----
Cuautepec	3.1	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fuente: Sistema Hidrológico del Valle de México. CNA, 2007.

En la actualidad, el sistema de alcantarillado y drenaje del Valle de México capta anualmente 1,300.86 hm³/año (41.25 m³/s) de aguas residuales provenientes de la región XIII, además de recibir en promedio 560.71 hm³/año (17.78 m³/s) de agua pluvial a través de alguna de sus redes, y un promedio anual de 94.61 hm³/año (3 m³/s) debido a infiltraciones en la red, lo que significa que el sistema de alcantarillado y drenaje del Valle de México capta un volumen total de 1,956.18 hm³/año (62.03 m³/s), de los cuales, aproximadamente el 96%, es decir, 58.97 m³/s, provienen de la Zona Metropolitana del Valle de México (CNA 2009).

Cabe resaltar que el aporte de agua pluvial es variable a lo largo del año, siendo en los meses de junio, julio, agosto y septiembre cuando se reportan los más altos índices de precipitación en toda la región XIII, temporada en la cual cae el 68 % de la precipitación total anual de la región. Asimismo, los escurrimientos pluviales hacia el drenaje se han incrementado debido a la urbanización (principalmente pavimentación) de asentamientos humanos, así como de la expansión sin control de nuevas zonas habitacionales.

Debido a que un importante volumen de agua de escorrentía pluvial termina su trayecto en la red de drenaje mezclándose con aguas residuales portadoras de



un sinnúmero de contaminantes, es de vital relevancia darle otro destino y aprovechar este recurso, principalmente para subsanar el déficit de agua potable, y mitigar la sobreexplotación de los mantos acuíferos de toda la región XIII.

Debido a los grandes volúmenes de agua residual y pluvial que terminan en el sistema de drenaje, es que este se ha vuelto insuficiente para desalojarlos de la Cuenca del Valle de México, situación que ha provocado inundaciones que son de una intensidad cada vez mayor y más frecuentes, afectando a poblaciones cada vez más grandes y ocurriendo en zonas donde este no era un problema. Esto sucede en barrancas, áreas protegidas y/o zonas de alto riesgo que han sido invadidas por la mancha urbana.

Entre las diferentes causas que acentúan el problema de inundaciones en la Cuenca del Valle de México destacan las siguientes:

- Hundimientos del suelo. El sistema de drenaje ha estado sujeto a hundimientos generados por la sobreexplotación de los mantos acuíferos de la región, dificultando con esto la evacuación por gravedad de las aguas residuales.
- Disposición de la basura. El problema que se genera debido a la basura ocurre cuando los cauces del drenaje y calles son utilizados como basureros, lo que ocasiona que la basura se acumule y forme grandes tapones que impiden el libre tránsito de las aguas residuales por el drenaje, lo que reduce su capacidad de conducción y desalojo.
- El balance entre la capacidad de desalojo del sistema de drenaje y el volumen de descargas generadas ha sido cada vez más desfavorable para la primera, ya que las salidas para las aguas residuales del Valle de México han venido reduciendo paulatinamente su capacidad de desalojo.
- Mayor volumen de aguas pluviales que se incorporan al sistema de drenaje, debido a su vez al incremento de la escorrentía pluvial, la cual es ocasionada por un aumento en el número de zonas urbanizadas y disminución de zonas de infiltración.



Tal como resulta evidente, el sistema de drenaje profundo del Valle de México se ve afectado por una serie de factores que tienen como resultado una disminución en su capacidad de captación y desalojo de las aguas residuales.

Debido a lo anterior, es que el 13 de Agosto de 2008, como parte del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México²⁴, la CNA inició la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO), con finalidad de poner fin a los problemas del sistema de drenaje. Dicho túnel conformará un sistema de operación conjunta con el Emisor Central, en el que uno de los dos estará en funcionamiento mientras el otro recibe mantenimiento.

La inversión para la construcción del TEO asciende a 14 mil 538 millones de pesos, y se espera que para el año 2012 el túnel opere de forma parcial con 40 m³ de los 150 m³ que corresponde a su capacidad total de desalojo²⁵.

El TEO será una nueva salida para el caudal de aguas residuales que se generan en la Cuenca del Valle de México y contará con una longitud de 62 km, 6.5 m de diámetro y alrededor de 4,730.4 hm³/año (150 m³/s) de capacidad de evacuación. Iniciará su construcción en la segunda lumbrera del túnel Interceptor del Río de los Remedios y continuará hasta su descarga total en el río El Salto, ubicado en el municipio Atotonilco de Tula, en el Estado de Hidalgo, cerca del actual portal de salida del Emisor Central.

Entre los beneficios que se esperan obtener de su construcción se señalan los siguientes:

²⁴ El Programa de sustentabilidad hídrica de la Cuenca del Valle de México fue creado por el Gobierno Federal y en colaboración de la CONAGUA, mismo que fue anunciado por el Presidente de la República Mexicana en noviembre de 2007 y tiene entre sus principales objetivos el ampliar la capacidad de drenaje, mediante la construcción del túnel Emisor Oriente, lo que permitirá reducir el riesgo de inundaciones.

²⁵ COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Túnel Emisor Oriente [en línea]. México, D.F. [Fecha de consulta: septiembre de 2011]. Disponible en:
<http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/TunelEmisorOriente.aspx>



-
- Evitar inundaciones en el Valle de México en zonas urbanas o semiurbanas principalmente, al tener una mayor capacidad de evacuación de las aguas residuales y de lluvia.
 - Disminuir el riesgo de fallas del sistema de drenaje actual.
 - Implementar un procedimiento que permita inspeccionar el drenaje sin suspender su funcionamiento.
 - Mejoramiento ambiental.



2.4 Reúso del agua residual dentro de la región hidrológica-administrativa XIII

El reúso del agua permite satisfacer las necesidades de uso en aquellos lugares donde escasea el agua, y se ha convertido en un componente esencial de la gestión integral de los recursos hídricos, especialmente en la región XIII, Aguas del Valle de México, donde la disponibilidad natural media de agua²⁶ per cápita se estima en 136 m³/habitante (CNA 2009).

El reúso del agua en la subregión Valle de México es mínimo, se reutiliza para el riego de áreas verdes, lavado de autos, actividades industriales como son: enfriamiento, uso en calderas y en proceso, entre otros. Lo anterior se debe a que la infraestructura hidráulica del drenaje y saneamiento fue construida a lo largo de cuatro siglos con una sola finalidad: desaguar el Valle de México²⁷. En cambio, las aguas residuales generadas en la región XIII, cuyo aporte del 96 % proviene de la ZMVM (CNA, 2009), y que no son aprovechadas en la subregión Valle de México, son reutilizadas en la subregión Tula.

Desde principios del siglo XX los municipios del Valle del Mezquital localizados en la parte norte de la cuenca del río Tula, en el Estado de Hidalgo, empezaron a recibir las aguas residuales provenientes del Valle de México a través de las obras del túnel de Tequixquiac, infraestructura realizada durante el Porfiriato, y del Tajo de Nochistongo, construido dos siglos atrás.

En la actualidad, las aguas residuales que se generan en la región son utilizadas para el riego de 130.7 mil hectáreas del sector agrícola de la región XIII (CNA, 2009), el cual está conformado por cinco distritos de riego, los cuales son: 003 Tula, 073 La Concepción, 088 Chiconautla, 100 Alfajayucan y

²⁶ Disponibilidad natural media de agua es uno de los indicadores más utilizados en el mundo para detectar posibles problemas de agua. La disponibilidad natural media de agua considera únicamente el agua renovable, es decir, de lluvia que se transforma en escurrimiento superficial y en recarga de acuíferos y sólo se utiliza para fines de referencia.

²⁷ PERLÓ, Manuel y GONZÁLEZ, Arsenio ¿Guerra por el agua en el Valle de México?: estudios sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México. 2da ed. México: UNAM, Programa Universitario de Estudio sobre la Ciudad: Coordinación de Humanidades, 2009. 157 p. ISBN: 9789703229680.



112 Ajacuba; además de 350 unidades de riego registradas para el desarrollo rural²⁸.

El reúso del agua residual en la región hidrológica administrativa XIII asciende a un volumen anual de 1,956.18 hm³, lo que equivale a 62.03 m³/s, de los cuales, el 88.07 %, es decir, 54.63 m³/s se utilizan para riego, en donde 49.63 m³/s son enviados a la subregión Tula y los 5 m³/s restantes se utilizan en la subregión Valle de México; un 9.68 % del total, que equivale a 6 m³/s se utiliza para riego de áreas verdes, lavado de autos, entre otras actividades dentro de la subregión Valle de México; y el 2.25 % restante, es decir, 1.4 m³/s son utilizados en el sector industrial de ambas subregiones (CNA, 2009) (ver Figura 2.3).

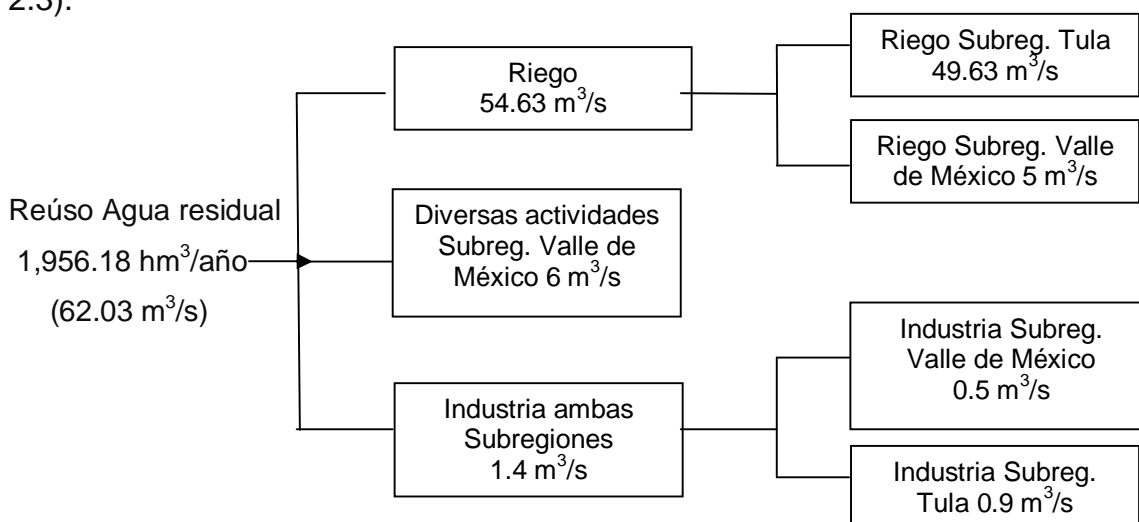


Figura 2.3 Reúso del agua en la región XIII, Aguas del Valle de México.

Fuente: Elaboración propia con base en *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*. CNA, 2009 y *Manejo de las Aguas Residuales para el Combate a la Pobreza en las Grandes Ciudades. El caso de la Ciudad de México*. En: IV Foro Mundial del Agua, México. CNA, 2006.

La exportación de agua residual de la subregión Valle de México a la subregión Tula modificó el régimen hidrológico de esta última, pues pasó de ser una cuenca de bajos escurrimientos, a contar con abundantes caudales provenientes del Valle de México. Sin embargo, a causa de la relativamente

²⁸ Las unidades de riego para el desarrollo rural son áreas agrícolas que cuentan con infraestructura y sistemas de riego, distintas de un distrito de riego y comúnmente de menor superficie. Pueden integrarse por asociaciones de usuarios u otras figuras de productores organizados que se asocian entre sí libremente para prestar el servicio de riego con sistemas de gestión autónoma y operar las obras de infraestructura hidráulica para la captación, derivación, conducción, regulación y desalojo de las aguas nacionales destinadas al riego agrícola.



baja capacidad instalada no solo en la subregión Valle de México sino en toda la región XIII para el tratamiento de las aguas residuales que son generadas, es que la mayor parte del agua se reutiliza sin previo tratamiento, salvo el que se puede alcanzar de forma natural a lo largo de su recorrido en cauces y en conductos cerrados, lo que ha originado potenciales riesgos para la salud de la población. Esto a causa de la gran cantidad de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y que pueden transmitir enfermedades a los seres humanos y animales tanto por ingestión de alimentos contaminados a causa del riego con aguas residuales como por el contacto con estas. Sin embargo, el contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo) como parte de los “contaminantes” ha servido para fertilizar e incrementar notablemente la productividad agrícola en la región, permitiendo el crecimiento considerable del cultivo de vegetales, así como eliminar los requerimientos de fertilizantes industriales.

No obstante, también se han manifestado otros efectos derivados del riego con aguas residuales en la subregión Tula, y este es la recarga no intencional del acuífero. Dicha recarga ha ocurrido por tanto tiempo y en tal magnitud que el nivel del agua subterránea se ha elevado considerablemente, dando lugar a la creación de nuevos pozos, norias y manantiales. La calidad del agua de dichas fuentes es buena ya que durante el transporte, almacenamiento y empleo del agua residual en riego es descontaminada mediante diversos mecanismos naturales, uno de ellos ocurre principalmente en el suelo, el cual remueve por adsorción, filtración, precipitación y biodegradación gran cantidad de contaminantes que hay en el agua. Desafortunadamente dicha capacidad de depuración tiene un límite, el cual ha comenzado a sobrepasarse en las zonas con mayor antigüedad bajo riego, ocasionando con esto la degradación del suelo.

Es así que para el uso de las aguas residuales ya sean tratadas o no, deben de considerarse aspectos de calidad con el fin de evitar riesgos a la salud pública y problemas ambientales. Estas han sido consideradas las principales razones para el establecimiento de guías y regulaciones para el uso seguro de las aguas residuales en diferentes aplicaciones (Metcalf y Eddy, 2003). Sin



embargo, en la mayoría de países existen disposiciones que prohíben el uso agrícola de aguas residuales de origen industrial, debido a que esto implica un riesgo de exposición prolongada frente a sustancias tóxicas.

Dada la preferencia de los agricultores por utilizar aguas residuales sobre agua potable debido a su cualidad fertilizante, es que la práctica más común y extensiva ha sido la de aprovechar las aguas residuales en el riego de productos agrícolas sin que exista aparentemente ningún control de tipo sanitario; de ahí que se ha planteado la necesidad de elaborar y aplicar criterios, reglamentos y normas para el uso y aprovechamiento de dichas aguas.

Las primeras normas que se aplicaron en México para el aprovechamiento de las aguas residuales para riego, fueron las Normas Técnicas Ecológicas (NTE) NTE-CCA-032-ECOL/1993 y NTE-CCA-033-ECOL/1993, donde la primera establecía los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola, mientras que la segunda establecía las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano, municipal o la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas. En la actualidad, la norma que se encarga de regular esta práctica es la Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Es importante mencionar que dado el ciclo hidrológico de la región XIII (ver Fig. 2.4), el reúso de las aguas residuales que se generan en la región es indispensable para tratar de compensar el desequilibrio que se tiene en la región por el alto volumen de agua que se extrae de los acuíferos en comparación con la recarga natural a través de la infiltración al subsuelo.

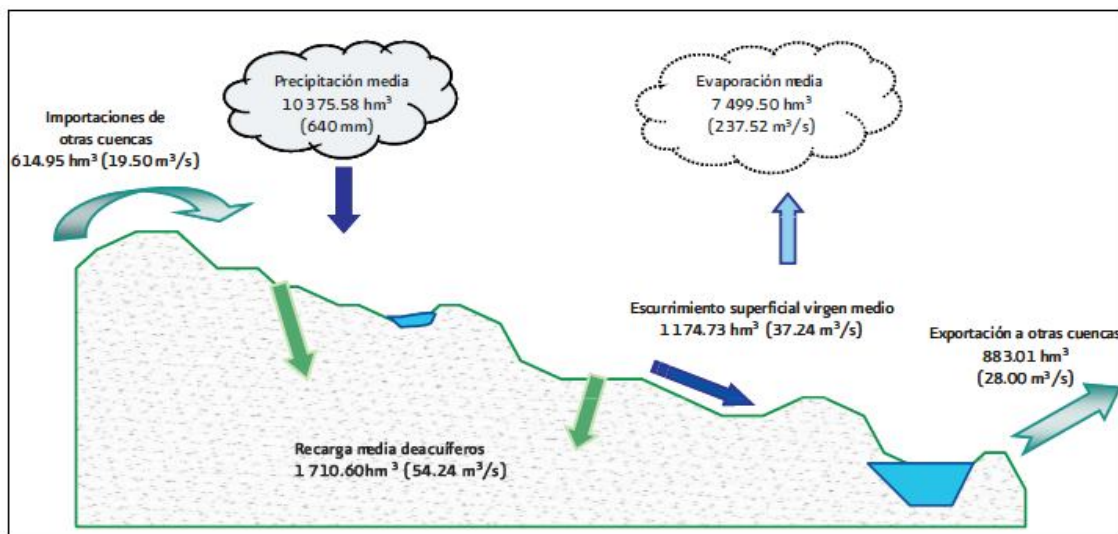


Fig. 2.4 Ciclo hidrológico de la región XIII, Aguas del Valle de México
Fuente: *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*, CNA, 2009



2.5 Infraestructura para el tratamiento de aguas residuales dentro de la región hidrológica-administrativa XIII

En México, las aguas residuales durante mucho tiempo han sido desperdiciadas indiscriminadamente y se ha buscado alejarlas lo más posible de las zonas donde se generan, sin embargo, debido a la escasez de agua limpia, es que este recurso empezó a ser valorado y se tuvo la necesidad de desarrollar procesos para el saneamiento de las aguas residuales, los cuales son alternos a los procesos naturales de autodepuración que el agua realiza a través de su ciclo natural.

Para el saneamiento de las aguas residuales domésticas generadas en la región hidrológica-administrativa XIII, Aguas del Valle de México, se construyó en el año de 1956 la primera planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) llamada Chapultepec, localizada en la delegación Miguel Hidalgo en el Distrito Federal. En la actualidad el efluente de esta planta se utiliza para el llenado del lago y las áreas verdes del parque de Chapultepec.

En los años posteriores, el desarrollo de infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales domésticas siguió en aumento. Para el año 2010 se contaba con 132 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR's) en toda la región XIII, en donde el Estado de México es la entidad federativa que posee el mayor número de PTAR's, al contar con 85, en segundo lugar se encuentra el Distrito Federal con 28 PTAR's, seguida por el Estado de Hidalgo y Tlaxcala, con 11 y ocho PTAR's respectivamente (CNA, 2009). Sin embargo, la falta de presupuesto destinado al mantenimiento preventivo y correctivo de las PTAR's, así como para la adquisición de nueva tecnología de tratamiento, ha provocado que 28 de estas plantas estén fuera de operación. Lo que deja actualmente al Estado de México con 69 PTAR's en etapa operativa, al Distrito Federal con 26 y a los estados de Hidalgo y Tlaxcala con cinco y cuatro respectivamente.

A pesar de que en el Estado de México se cuenta con casi el triple número de PTAR's que el Distrito Federal, este último en el año 2008 fue la entidad federativa de la región XIII que mayor volumen de aguas residuales trató en



sus plantas de tratamiento, al tratar un caudal de 3,430 L/s, mientras que el Estado de México en ese mismo año trató 3,018.47 L/s, en tanto que en los estados de Hidalgo y Tlaxcala se trataron 196 y 39.6 L/s, respectivamente (ver Tabla 2.6).

Tabla 2.6 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en la región hidrológica-administrativa XIII.

Entidad Federativa	No. total de plantas de tratamiento	No. de plantas en operación	Capacidad instalada (L/s)	Caudal tratado (L/s)
D.F.	28	26	6760.00	3430
Hidalgo	11	5	290.90	196.00
México	85	69	4285.50	3018.47
Tlaxcala	8	4	98.28	39.60
Total	132	104	11434.68	6684.07

Fuente: Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. CNA 2009.

Si se compara la cantidad de agua residual y pluvial que se colecta en la región XIII a través de sus sistemas municipales de alcantarillado, que es alrededor de 1,956.18 hm³/año (62,030 L/s) contra la cantidad de agua residual que es tratada en la totalidad de las PTAR's en operación de la región, y que asciende a 210.79 hm³/año (6,684.07 L/s) (CNA, 2009), se puede observar que el porcentaje de agua residual que no recibe tratamiento alguno es aproximadamente de 89.22 %, lo que equivale a 55,345.93 L/s de agua residual. Como es evidente, únicamente el restante 10.77 % representa el porcentaje global de agua residual que es tratada en la región.

Ahora bien, si se compara la cantidad de agua limpia que dentro de la región XIII se demanda anualmente, que es alrededor de 4,515.96 hm³/año, de los cuales, la subregión Valle de México utiliza 2,582.80 hm³/año y el restante 1,933.16 hm³/año es para la subregión Tula (CNA, 2009), contra los 210.79 hm³/año (6,684.07 L/s) de aguas residuales que son tratadas en las plantas de tratamiento de la región, se observa que el volumen de aguas residuales que recibe tratamiento en la región XIII, representa el 4.67 % de la demanda total de agua potable de la región, lo que denota un severo desequilibrio hídrico en la región, así como una inadecuada gestión de las aguas residuales.



Una parte importante de la depuración de aguas residuales es sin duda alguna el proceso técnico de tratamiento empleado. Entre los procesos de tratamiento más utilizados en las PTAR's de origen municipal se puede citar en primer lugar el proceso de lodos activados, el cual es el principal proceso de tratamiento empleado en la región XIII, utilizándose actualmente en el 63 % de las plantas de tratamiento en etapa operativa, seguido por los reactores anaerobios y las lagunas de estabilización, con el 9 % y el 7 % de presencia respectivamente (ver Figura 2.5).

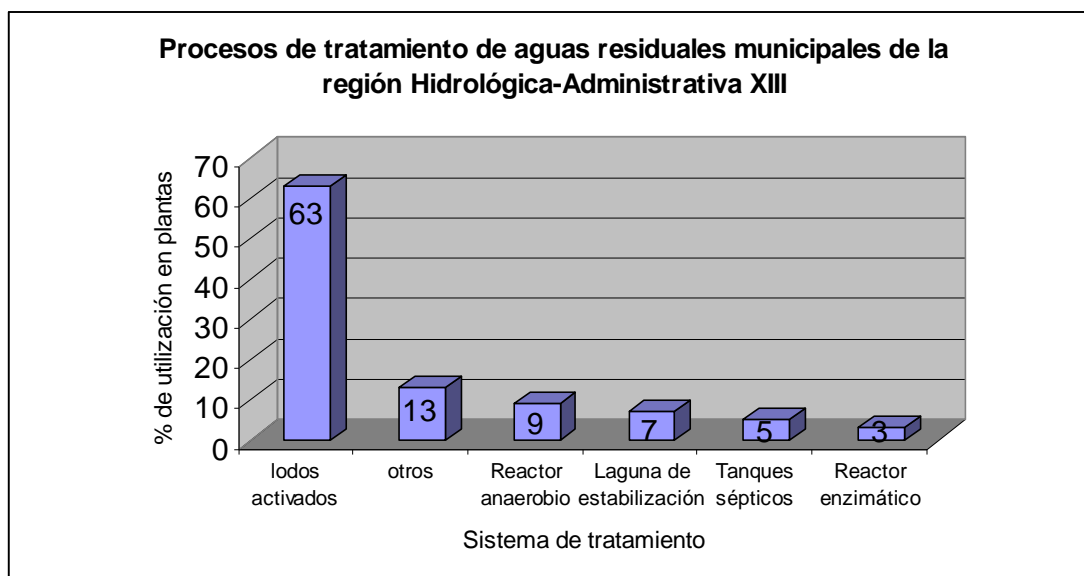


Figura 2.5 Procesos de tratamiento empleados en las PTAR's de la región XIII.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. CNA, 2009.

Ahora, si se compara la infraestructura con la que se cuenta en la región XIII para el tratamiento de las aguas residuales municipales o no industriales, contra la infraestructura del resto de las regiones hidrológicas-administrativas del país, se identifica que para el año 2009 la región XIII era una de las tres regiones con menor número de PTAR's en operación, al contar con tan solo 85 plantas, compartiendo las últimas posiciones con la región I, Península de Baja California y la región XII, Península de Yucatán, con 54 y 72 PTAR's respectivamente. Para ese mismo año las regiones con mayor número de plantas de tratamiento en operación eran las regiones VIII, Lerma-Santiago-Pacífico con 513 plantas; la región III, Pacífico Norte con 282 y la región VI, Río



Bravo con 205. Sin embargo, cabe resaltar que aunque la región XIII se encuentre entre las regiones hidrológico-administrativas con menor número de PTAR's, esta se posiciona entre las cuatro primeras regiones que mayor volumen de aguas residuales tratan.

A pesar de que la región XIII, se encuentra entre las regiones mejor posicionadas por la CNA en cuanto a caudal tratado, cabe señalar que su eficiencia de tratamiento es la menor de todas las regiones, al tratar 6,684.07 L/s mientras que su capacidad instalada es de 11,434.68 L/s, lo que equivale a una cobertura de tratamiento de aproximadamente el 58 %.

En cuanto a las cifras antes expuestas respecto al volumen de aguas residuales tratadas en las PTAR's de la región y la capacidad de tratamiento que se tiene instalada en estas, resulta evidente que la infraestructura que se tiene en la región XIII para el tratamiento de las aguas residuales es ineficiente en su operación, ya que por las condiciones en las que se encuentra esta infraestructura, no es posible que las PTAR's operen a su capacidad instalada o de diseño. Aunado a esto está el hecho de que una cantidad importante de plantas de tratamiento permanecen sin funcionar, lo que en términos monetarios se traduce en recursos financieros provenientes del Estado desperdiciados.



2.6 Normatividad mexicana aplicable a nivel nacional para el control y manejo de las aguas residuales

En México, hasta mediados de los años setenta no hubo una política integral y/o de cumplimiento obligatorio para el manejo de los recursos naturales (INE, 2003). El marco jurídico existente en ese entonces regulaba materias como el agua, tierra (tenencia y uso), bosques, pesca, etc. y apenas abordaba algunos elementos ambientales, debido a que estaba más enfocado en la salud humana y no tanto al medio ambiente como tal.

Fue a partir del año de 1971 con la expedición de la primera Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación (INE, 2007) que el gobierno de México empezó a controlar el comportamiento ambiental.

La base de la actual legislación ambiental, y en específico de la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos en el país, es la siguiente:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Un gran paso se dio en el año de 1987, cuando los artículos 27 y 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos fueron reformados con la finalidad de señalar la obligación del Estado de dictar las medidas necesarias para ayudar a mantener el equilibrio ecológico, asimismo, se facultó al Congreso de la Unión para expedir leyes en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico²⁹. Específicamente en el artículo 115 constitucional, se establece que cada estado, así como el Distrito Federal, tendrán a su cargo los servicios públicos tales como: agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, entre otros.

²⁹ Artículo 27 y 73, Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 13 de Octubre de 2011.



Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental

La primera regulación federal que se creó después de las modificaciones a los artículos 23 y 73-XXXIX-G constitucionales, fue la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA) en el año de 1988, sin embargo, tuvo que ser reformada posteriormente en 1997 y 2011.

La primera mención que se hace en la LGEEPA referente al tratamiento del agua residual se establece en su artículo 92, el cual señala que con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente del agua, así como el tratamiento de aguas residuales y su reúso. Posteriormente, del artículo 88 al 92 se hace mención del aprovechamiento sustentable del agua y del 117 al 133 se establecen los requerimientos para la preservación y control de la contaminación del agua.

Ley Federal de Derechos

La Ley Federal de Derechos (LFD) fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 31 de Diciembre de 1981, con la finalidad de pagar por el uso de los bienes del dominio público de la Nación. Esta ley contiene disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales, a las cuales originalmente se les consideró de vital importancia y fundamentales, debido a que estas disposiciones serían el instrumento principal para regular el acceso al agua, ordenar su disponibilidad y controlar su contaminación, sin embargo, en la actualidad, el carácter de esta ley y su práctica son meramente recaudatorios.

La LFD con relación al agua residual establece en la sección segunda, “servicios relacionados con el agua y con sus bienes públicos inherentes”, artículo 192, que tanto las personas físicas como morales que deseen realizar descargas de aguas residuales a cuerpos receptores³⁰, deben de contar con un registro y un permiso de descarga, los cuales variarán en costo dependiendo la

³⁰ Las corrientes, depósitos naturales de agua, ríos, aguas costeras, suelo, estuarios, humedales naturales, embalses, cauces o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar el suelo, subsuelo o los acuíferos



procedencia de las aguas residuales. Si las descargas residuales son de procedencia industrial, de acuerdo a la cuota actual el costo será de \$3,758.93, mientras que si las descargas residuales son no industriales, el costo del registro y permiso de descarga será de \$1,252.90. Aunado a lo anterior, los artículos 276 y 278 de esta misma ley establecen que el pago de derecho por el uso o aprovechamiento de los bienes de dominio público de la nación como cuerpos receptores de aguas residuales, ya sean descargas permanentes o intermitentes, variará dependiendo de la clasificación del cuerpo receptor (A, B o C) en el que se descarguen las aguas residuales, del volumen de descarga y de los contaminantes vertidos de acuerdo con los límites máximos permisibles que establece la misma Ley Federal de Derechos.

Ley de Aguas Nacionales

En el año de 1992 fue aprobada y publicada la Ley de aguas Nacionales (LAN), sin embargo, posteriormente se han realizado diversas reformas, tal como la reforma publicada en el DOF el 29 de abril de 2004, denominada como “Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales”.

En materia de agua residual, el artículo 7 en sus fracciones VI y VIII hace énfasis en contribuir a alcanzar la gestión integrada de los recursos hídricos, así como al mejoramiento de la calidad de las aguas residuales, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reúso de dichas aguas, además de la construcción y operación de obras de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales se especifican más claramente del artículo 85 al 98³¹ de este decreto.

³¹ Estos artículos se encuentran en el Capítulo I, Prevención y Control de la Contaminación del Agua del título séptimo, Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas y Responsabilidad por Daño Ambiental de la Ley de Aguas Nacionales. Ley de Aguas Nacionales, decreto por el que se reforma y adicionan los artículos 7 Bis y 18. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 20 de Junio de 2011.



Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

Por lo que respecta al contenido de este reglamento, en su capítulo único del título séptimo, Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas (artículos 133 a 156), se establecen las acciones a ejecutar para dar cumplimiento a las fracciones IV, V y VII del artículo 7 de la LAN, que se refieren como ya se mencionó anteriormente, al restablecimiento del equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, restablecimiento del equilibrio de los ecosistemas vitales vinculados con el agua y el mejoramiento y control de la calidad de las aguas residuales.

Normas Oficiales Mexicanas

Con el objetivo principal de integrar en un solo sector la planeación y ejecución de la política mexicana en torno a la protección, restauración, y conservación del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales, es que en diciembre de 1994 se crea la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), la cual más recientemente en diciembre de 2000, se transformó en la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual tiene entre sus múltiples atribuciones en materia hídrica, el expedir las normas oficiales mexicanas (NOM's).

Los antecedentes de las NOM's datan de la década de 1980, periodo en el que surgen las normas técnicas ecológicas, cuyo propósito primordial era normar el cuidado de los recursos y la salud humana. Cabe resaltar que tan solo para el control de la contaminación industrial del agua llegaron a existir 41 NTE.

En la década de 1990 se reformó el marco normativo, dicha reforma se basó en la Ley Federal de Metrología y Normalización, publicada en el DOF el 1 de julio de 1992. La normalización permitiría regular las actividades de los sectores tanto privado como público en materia de salud, medio ambiente, seguridad al usuario, información comercial, así como prácticas de comercio, industrial y laboral, lo que permitiría orientarse de una manera más explícita hacia el logro de objetivos ambientales precisos. Fue así que a partir de 1993 y como resultado de dicha reforma, se sustituyeron las NTE por las NOM's, las cuales fueron agrupadas en tres series: ecológica (NOM-ECOL), de recursos naturales



(NOM-RECNAT) y de pesca (NOM-PESC). La serie NOM-ECOL se dividiría en seis clases, dependiendo del medio ecológico por proteger o el elemento contaminante por regular, estos serían: agua, ruido, residuos peligrosos, aire, impacto ambiental y conservación de los recursos ambientales.

Con el fin de hacer más eficiente el proceso de normalización por parte de la SEMARNAT, sus comités elaboradores y expedidores de las normas oficiales mexicanas, (Comités Consultivos Nacionales de Normalización en las materias de: Protección Ambiental; Restauración y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Forestales y del Sector Agua), en el año 2002 se agruparon en uno solo, el cual se llamaría Comité Consultivo Nacional de Normalización del Medio Ambiente y Recursos Naturales, por lo cual se identificarían las normas oficiales mexicanas de esta competencia con las siglas SEMARNAT. Fue así que el 23 de abril de 2003 se publicó en el DOF el acuerdo que señalaba explícitamente que se reformaría la nomenclatura de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales identificadas con las siglas ECOL y RECNAT identificándose en lo sucesivo bajo las siglas SEMARNAT, tal y como las conocemos a la fecha.

En la actualidad, la SEMARNAT cuenta con tres NOM's para el control de las aguas residuales, las cuales tienen por objeto determinar los límites de contaminantes máximos descargados en las aguas residuales dados distintos cuerpos receptores, las cuales son las siguientes:

- NOM-001-SEMARNAT-1996 (06/ENE/97). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-002-SEMARNAT-1996 (03/JUN/98). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-003-SEMARNAT-1997 (21/SEP/98). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.



Y si tomamos en cuenta la disposición de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, se debe mencionar la siguiente norma referente a los contaminantes máximos permisibles en biosólidos y lodos.

- NOM-004-SEMARNAT-2002 /15/AGO/2003). Protección ambiental-lodos y biosólidos-especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Las leyes, normas y reglamentos antes mencionados constituyen el marco regulatorio de la política ambiental en materia del agua en México, y en específico de las descargas de aguas residuales. El nivel de jerarquía en cuanto a cumplimiento de estas disposiciones legales se ilustra en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Especificidad de la política ambiental en materia de control de descargas de aguas residuales.

Fuente: (César Valdez, Enrique y Vázquez Gonzáles, Alba B, 2003).



3. Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de México

3.1 Infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México

La historia del tratamiento de aguas residuales mediante plantas de tratamiento de agua residual en la Ciudad de México se inició en la década de 1950, específicamente en el año de 1956. Fue en este año cuando se construye la primer PTAR en la ciudad de México. Se ubicó en la delegación política de Miguel Hidalgo y tendría una capacidad de 160 L/s, con un nivel de tratamiento secundario. Es así como en la zona poniente de la Ciudad de México, comenzaba la operación de la primer planta de tratamiento de aguas residuales llamada Chapultepec, y su finalidad fue la de ahorrar importantes volúmenes de agua para mantener el nivel del lago de Chapultepec y para el riego de áreas verdes. En el año de 1957 se construyó la planta de tratamiento de Ciudad Deportiva en la delegación política de Iztacalco, cuya capacidad instalada fue de 230 L/s, y tan solo dos años después se construyó la planta de tratamiento de Coyoacán en la delegación del mismo nombre con capacidad de 400 L/s.

El tratamiento de agua residual se intensificó en los años subsecuentes con la creación de más plantas de tratamiento. En el año de 1964 se puso en marcha la planta de San Juan de Aragón, su efluente serviría para mantener el nivel del lago que lleva el mismo nombre. Un año después se construyó una planta de tratamiento en la unidad habitacional Noanalco-Tlatelolco, cuyos efluentes se utilizarían para el riego de las áreas verdes de la unidad habitacional.

En el año 1971 se construyó la planta de tratamiento Cerro de la Estrella, localizada en la delegación Iztapalapa, la cual sufriría una ampliación en años posteriores. Actualmente posee una capacidad nominal de 4,000 L/s y es la planta de mayor capacidad de la Ciudad de México. En ese mismo año inició operaciones la planta de tratamiento Iztacalco, dentro de la unidad Infonavit-Iztacalco en la delegación del mismo nombre, cuya capacidad sería de 13 L/s.



De 1971 a 1980 se construyeron tres plantas de tratamiento más. Bosques de las Lomas en 1973 con capacidad de 55 L/s, Acueducto de Guadalupe en 1975 con capacidad de 110 L/s, y en el año de 1980 se construyó la planta Heroico Colegio Militar para el saneamiento de la zona lacustre de Xochimilco, con una capacidad de 30 L/s.

Al final de la década de los setenta ya se contaba con un importante avance en la ampliación de la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, el agua tratada debía tener otros usos para ser una alternativa real en el ahorro de agua potable, por tal motivo, el Departamento del Distrito Federal estableció la meta de mejorar la calidad del agua tratada para diversificar su uso. Para cumplir con esta actividad, se estructuró e implantó en 1980 el Plan Maestro de Tratamiento y Reúso del Agua de la Ciudad de México, y en 1984 se creó el Programa de Uso Eficiente del Agua que contemplaba como una de sus acciones principales, sustituir agua potable por agua residual tratada en todos aquellos usos donde esto fuera posible.

En el año 1989, se logró un importante desarrollo en la tecnología para el tratamiento de aguas residuales, con la puesta en operación de la planta de tratamiento a nivel terciario San Luis Tlaxialtemalco, la cual se localizó al sur de la Ciudad de México. Con esta planta se le dio un nuevo e importante uso al agua tratada en la ciudad, el cual fue la recarga artificial del acuífero.

Así fue que en el periodo de 1980-2000 se construyeron 17 plantas más. La última planta de tratamiento que se edificó fue la de Santa Martha Acatitla en el año 2005, con el fin de suministrar agua tratada exclusivamente para el complejo penitenciario de Santa Marta Acatitla.

Actualmente, la infraestructura del sistema para el tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de México consta de 26 plantas de tratamiento en operación, de un total de 28 construidas (ver Figura 3.1), de las cuales, 24 de ellas se encuentran operando bajo responsabilidad del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), dos de estas plantas de tratamiento (Ciudad Universitaria y la planta de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales FCPyS)



operan bajo responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), mientras que las dos plantas de tratamiento restantes (Heroico Colegio Militar y la planta del Campo Militar N° 1-A) son operadas por la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA).

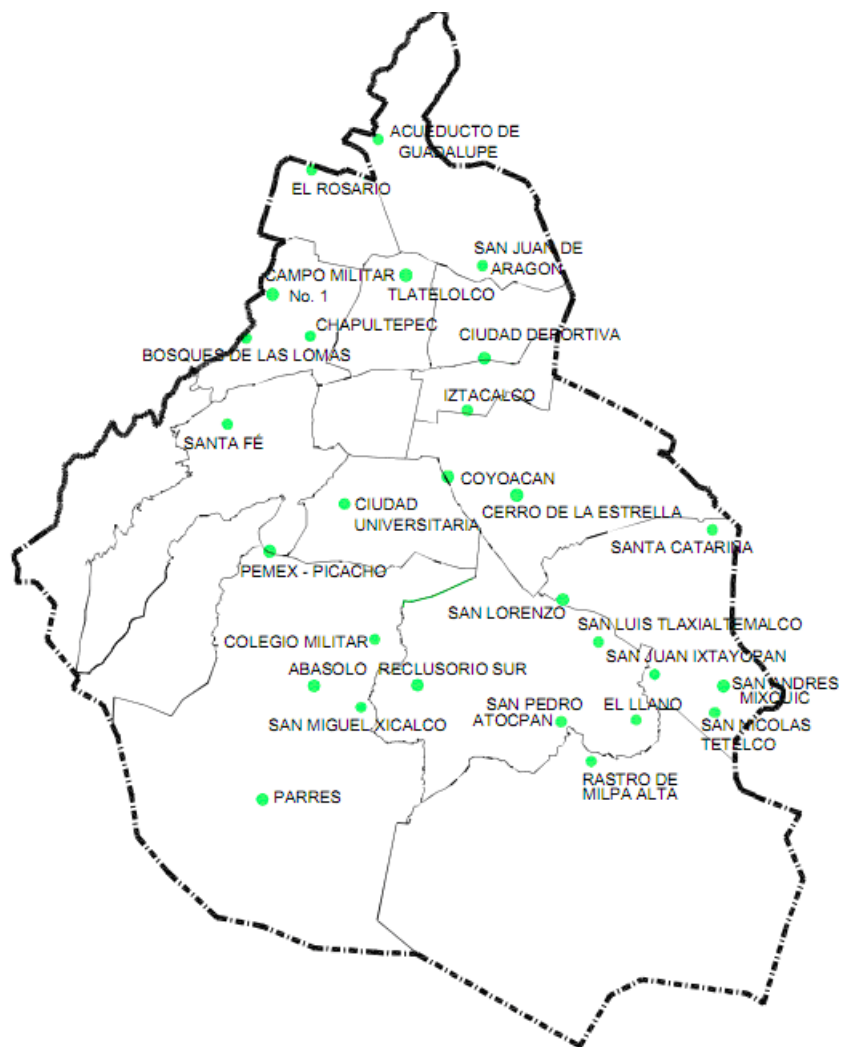


Figura 3.1 Localización de las PTAR's de la Ciudad de México.

Fuente: (*Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México*).

Las 28 PTAR's de la Ciudad de México fueron diseñadas para tratar caudales que van desde los 7.5 L/s, como es el caso de la planta de tratamiento más pequeña de la ciudad, la planta de FCPyS de la UNAM, hasta caudales de diseño de 4,000 L/s, como es el caso de la planta de tratamiento más grande de la ciudad, la planta Cerro de la Estrella en la delegación Iztapalapa. La mayoría de las PTAR's de la ciudad están diseñadas para tratar caudales menores a los 100 L/s, este es el caso de 18 de las 28 plantas existentes,



mientras que nueve de las plantas de tratamiento restantes fueron diseñadas para tratar caudales de diseño que van desde los 100 L/s hasta los 500 L/s y solo una planta de tratamiento fue diseñada para tratar caudales mayores a los 1,000 L/s, como es el caso de la antes mencionada PTAR Cerro de la Estrella.

Dentro de las principales actividades en las que se utilizan los efluente de las PTAR's de la Ciudad de México se encuentran el riego agrícola, el llenado de lagos y canales recreativos, riego de áreas verdes y actividades industriales, principalmente. En la Tabla 3.1 se condensa de forma completa la información referente a los actuales caudales de diseño de las 28 PTAR's de la ciudad, su caudal de operación, ubicación, así como los usos principales que se les da a los efluentes. Cabe mencionar que los valores de caudal de diseño que se citan en la Tabla 3.1 son más precisos que los anteriormente citados en la Tabla 2.4, es por lo anterior que en el caso de la Tabla 3.1 el caudal total de diseño considerando las 28 PTAR's existentes asciende a 6,773.5 L/s con un caudal de operación de 3,329.8 L/s, mientras que en la Tabla 2.4 el caudal total de diseño se cita en 6,760 L/s con un caudal de operación de 3,430 L/s.

El volumen de agua residual que es tratado en la Ciudad de México es demasiado pequeño si se compara contra los 35 m³/s de agua potable que se suministran actualmente a la ciudad, y contra los aproximadamente 30 m³/s de agua residual que genera. El volumen de agua residual tratada equivale al 9.8 % del agua potable que abastece a la Ciudad de México, y a poco menos del 11% del agua residual que se genera, lo que evidencia un desequilibrio hídrico bastante severo en la ciudad.



Tabla 3.1 Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México.

Planta	Delegación	Caudal de Diseño (L/S)	Caudal de Operación (L/S)	Grupo receptor o reúso
Abasolo	Tlalpan	15	7	Áreas verdes y control de la contaminación de las barrancas del Ajusco
Acueducto de Gpe.	Gustavo A. Madero	110	102	Áreas verdes e industrial
San Pedro Actopan	Milpa Alta	60	30	Riego agrícola
Bosques de las Lomas	Miguel Hidalgo	55	25	Áreas verdes de la delegación Miguel Hidalgo
Cd. Deportiva	Iztacalco	230	107	Áreas verdes e industrial
Cerro de la Estrella	Iztapalapa	4000	2000	Áreas verdes, industrial, zona agrícola y chinampera de Xochimilco y Tlahuac
Lomas de Chapultepec	Miguel Hidalgo	160	100	Áreas verdes de la primera y segunda sección del bosque de chapultepec, llenado de lagos y corredor turístico de la avenida paseos de la Reforma
Coyoacán	Coyoacán	400	150	Áreas verdes, reuso industrial y comercial en las delegaciones de Coyoacán, Xochimilco, Benito Juárez y Alvaro Obregón
Paraje el Llano	Tlahuac	250	100	Riego agrícola y recarga de acuífero
U.H. El Rosario	Azcapotzalco	25	16	Riego de áreas verdes y llenado del lago de Tezozomoc
U.H. Picos Iztacalco	Iztacalco	13	10	Áreas verdes
San Juan Ixtayopan "La Lupita"	Tlahuac	15	14	Zona agrícola
San Andres Mixquic	Tlahuac	30	30	Riego agrícola
Parres	Tlalpan	8	1	Áreas verdes
U.H Pemex-Picacho	Tlalpan	13	10	Áreas verdes de la delegación Tlalpan
Reclusorio Sur	Xochimilco	30	19	Riego áreas verdes del reclusorio sur y río San Lucas, delegación Xochimilco
San Juan de Aragón	Gustavo A. Madero	500	198	Áreas verdes, llenado de lago de San Juan de Aragón y Alameda Oriente
San Lorenzo	Tlahuac	225	80	Lenado de canales y recarga de acuífero
San Luis Tlaxialtemalco	Xochimilco	150	65	Agrícola/áreas verdes
San Nicolas Tetelco	Tlahuac	30	7	Zona agrícola de la delegación Tlahuac, pueblo de San Nicolas Tetelco
Sta. Martha Acatitla	Iztapalapa	14	8	Áreas verdes y centro penitenciario de Santa Martha Acatitla
Santa Fe	Alvaro Obregón	280	150	Barrancas
U.H. Nonoalco Tlatelolco	Cuauhtémoc	25	15	Áreas verdes
San Miguel Xicalco	Tlalpan	8	4	Áreas verdes
H. Colegio Militar	Tlalpan	30	26	Áreas verdes
Campo Militar N° 1-A	Miguel Hidalgo	30	25	Áreas verdes
Ciudad Universitaria	Coyoacán	60	30	Áreas verdes
Ciudad Universitaria FCPyS	Coyoacán	7.5	0.8	Áreas verdes
Total de plantas: 28		6773.5	3329.8	

Fuente: *Inventario nacional de plantas de tratamiento municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación.* CNA, 2009.

De acuerdo al contenido de la Tabla 3.1, se identifica que la gran mayoría de las plantas no trabaja al 100 % de su capacidad instalada, esto se hace evidente al comparar el volumen de agua que es tratada en cada una de las 28



PTAR's de la Ciudad de México contra su respectivo caudal de diseño. Al hacer el comparativo entre caudal de diseño y caudal de operación, resalta el hecho de que tan solo siete plantas logran operar al menos al 70 % de su capacidad, 10 plantas operan entre el 50 y 69.99 % de su capacidad y 11 plantas no alcanzan a trabajar al menos al 50 % de su caudal de diseño.

De esta forma, dentro de las plantas de tratamiento más eficientes en función del volumen del agua residual que tratan en comparación con su capacidad instalada, se encuentra en primer lugar la planta de San Andrés Mixquic, ubicada en la delegación Tláhuac, la cual es la única planta que ha logrado en forma general trabajar al 100 % de su capacidad. Seguida por la planta San Juan Ixtayopan, conocida como "La Lupita", ubicada en la misma delegación, al trabajar al 93.33 % de su capacidad instalada, y en tercer lugar se encuentra la planta Acueducto de Guadalupe ubicada en la delegación Gustavo A. Madero, que trabaja al 92.73 % de su capacidad. Por otra parte, dentro de las plantas menos eficientes, basándonos en la misma consideración, se ubica en primer lugar la planta de Ciudad Universitaria "FCPyS", que trabaja al 10.67 % de su capacidad instalada, seguida de la planta Parres ubicada en la delegación Tlalpan, la cual trabaja al 12.5 % de su capacidad.

Los datos anteriores solo muestran la capacidad operacional de las plantas de tratamiento a principios del año 2009, sin embargo, para identificar cual ha sido la evolución del gasto promedio de las plantas de tratamiento, se requeriría hacer un resumen histórico tanto del caudal de entrada como de salida para cada una de las plantas durante un periodo significativo de tiempo. Con respecto a esto, en las Tablas 3.2 y 3.3 se muestra información histórica de los gastos medios anuales de influentes y efluentes de algunas PTAR's ubicadas en la Ciudad de México. Hay que hacer mención que los valores que se presentan abarcan del año 2005 al 2009 y provienen de registros pertenecientes al SACM, en donde solo se encontraron registros para las plantas que están bajo su cargo, dentro de las cuales, para cuatro de ellas (San Pedro Actopan, San Andrés Mixquic, Santa Martha Acatitla y Santa Fe), no se tienen registros para estos años, es por esto que se omitió mencionarlas.



Tabla 3.2 Gasto medio anual de influentes de las PTAR's de la Ciudad de México. 2005-2009.

	Planta	Año				
		2005	2006	2007	2008	* 2009
INFLUENTE	Abasolo				4.9	9.8
	Acueducto de Gpe.	79.8	96.8	98.3	89.3	80.4
	Bosques de las Lomas				9.1	15.4
	Cd. Deportiva	95.6	82.4	97.8	89.1	100.4
	Cerro de la Estrella	1.238	1.222	1.336	1.505	1.406
	Chapultepec	67.3	63.1	71.1	67	74.8
	Coyoacán	197.7	162.93	128.1	137.8	101.1
	Paraje el Llano				67.4	62.2
	U.H. El Rosario				16.9	22.2
	U.H. Picos Iztacalco				9.3	11.2
	San Juan Ixtayopan "La Lupita"				17	17.1
	Parres				4.5	4.5
	U.H Pemex-Picacho	5.0	4.8	5.1	5.6	5.4
	Reclusorio Sur	5.2				
	San Juan de Aragón	180.1	161.5	161.2	141.5	159.5
	San Lorenzo				38.4	50.2
	San Luis Tlaxiátemalco	23.1	29.9	24.7	29.5	28.2
	San Nicolás Tetelco				7.3	8.5
	U.H. Nonoalco Tlatelolco	7.6	6.4	6.9		
	San Miguel Xicalco				2.8	3.9
* Hasta Octubre						

Tabla 3.3 Gasto medio anual de efluentes de las PTAR's de la Ciudad de México 2005-2009.

	Planta	Año				
		2005	2006	2007	2008	* 2009
EFLUENTE	Abasolo				2.0	2.6
	Acueducto de Gpe.	63.3	65.6	60.4	52.3	57.4
	Bosques de las Lomas				6.6	11.9
	Cd. Deportiva	64.4	59.1	71.2	62.9	71.9
	Cerro de la Estrella	1.139	1.124	1.23	1.385	1.294
	Chapultepec	50.8	48.7	51.8	50.1	57.9
	Coyoacán	144.0	123.2	93.0	101.1	73.0
	Paraje el Llano				64.5	56.2
	U.H. El Rosario				12.3	13.5
	U.H. Picos Iztacalco				6.9	6.1
	San Juan Ixtayopan "La Lupita"				11.6	11.4
	Parres				0.0	0.0
	U.H Pemex-Picacho	4.6	4.5	4.7	5.1	5.0
	Reclusorio Sur	4.8				
	San Juan de Aragón	129.5	121.2	122.8	104.6	118.1
	San Lorenzo				33.8	8.2
	San Luis Tlaxiátemalco	19.3	22.4	18.3	21.2	20.6
	San Nicolás Tetelco				9.1	8.5
	U.H. Nonoalco Tlatelolco	7.0	5.9	6.3	S/D	S/D
	San Miguel Xicalco				1.7	2.9
* Hasta Octubre						

Fuente: Resultados del estudio *Análisis del Estado Actual de las Plantas de Tratamiento Operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México*. No. de contrato 0126-10-IR-DT-1-09 entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.



Los datos proporcionados por el SACM son escasos y no son consistentes, ya que se encontraron registros de las plantas: San Pedro Actopan, San Andrés Mixquic, Santa Martha Acatitla y Santa Fe, de años anteriores al año 2005, y para años posteriores no volvía a aparecer registro alguno. Asimismo, en el caso de algunas plantas como es el caso de Reclusorio Sur y U. H. Nonoalco Tlatelolco, a partir del año 2005 y 2007 respectivamente, ya no se encontraron registros de gastos medios anuales.

Considerando los resultados que se citan en las Tablas 3.2 y 3.3, si bien es cierto que hay información faltante y datos que no siempre concuerdan, lo que sí es evidente, y es una constante en la mayoría de las PTAR's, es la incapacidad para poder trabajar al 100 por ciento de sus capacidades de diseño. Sin embargo, cabe mencionar que existen diversas causas por las cuales todas las plantas operan por debajo de su capacidad nominal, entre ellas destacan las siguientes:

- Insuficiente demanda de agua tratada.
- Insuficiente caudal de agua residual captada en los colectores.
- Deficiencias técnicas o calidad insuficiente en el influente.
- Rezago en la actualización, conservación y/o mantenimiento de la infraestructura, maquinaria y equipos de las PTAR's.

Ahora bien, por lo que respecta al nivel de tratamiento que se ofrece en las PTAR's de la Ciudad de México, cabe destacar que en el caso de las 24 PTAR's operadas por el SACM, se identifica que todas ellas ofrecen un nivel de tratamiento secundario como nivel mínimo de tratamiento, mientras que tan solo siete de estas plantas ofrecen un nivel de tratamiento terciario, entre las cuales destacan las PTAR's Paraje El Llano, San Luis Tlaxialtemalco, Cerro de la Estrella y Santa Fe, por mencionar algunas. Y es que en la mayoría de los casos, es suficiente el tratamiento secundario de las aguas residuales no industriales para que el efluente cumpla con el límite máximo permisible de contaminantes en la descarga, y pueda incorporarse a la red de drenaje o destinarse al riego de áreas verdes principalmente, lo cual está establecido en las normas oficiales mexicanas NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-



SEMARNAT-1997, respectivamente, sin embargo, en algunos casos puede requerirse tratamiento adicional.

Respecto al tipo de tratamiento predominantemente utilizado en las PTAR's localizadas en la Ciudad de México, este es de lodos activados, tal cual se muestra en la Tabla 3.4, en donde además de incluirse el tipo de tratamiento con el que cuenta cada planta, se hace mención al nivel de tratamiento que es alcanzado en cada una de ellas. En el caso de las dos plantas de tratamiento que son operadas por la SEDENA, ambas plantas utilizan el proceso de lodos activados como sistema medular de tratamiento, al igual que para las dos plantas que son operadas por la UNAM.

Por otra parte, es necesario que los lodos que son generados en la mayoría de los tratamientos primarios y secundarios que provienen de procesos biológicos reciban tratamiento, ello debido a que una fracción importante de las sustancias contaminantes que se separan en los procesos de tratamiento de aguas residuales se encuentra finalmente en estos lodos. En la legislación actual se establecen especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento residual, los cuales están referidos en la NOM-004-SEMARNAT-2002, tal como se mencionó anteriormente. Con respecto a este punto, hay que mencionar que solo ocho de las 24 plantas operadas por el SACM cuentan con la tecnología necesaria para el tratamiento de los lodos que generan, mientras que el resto de las plantas los envían al drenaje. Entre las plantas que cuentan con esta infraestructura se encuentran: Paraje El Llano, U.H Pemex-Picacho, Reclusorio Sur, San Luis Tlaxialtemalco, San Nicolás Tetelco, Sta. Martha Acatitla y San Miguel Xicalco³².

³² Resultados del *Estudio Para Determinar la Potencialidad de Reúso del Agua Residual Tratada en la Ciudad de México*. No. de contrato N° 0218-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009



Tabla 3.4. Nivel y tipo de tratamiento en las PTAR's de la Ciudad de México.

Planta	Tipo de tratamiento	Nivel de tratamiento
Abasolo	Lodos Activados	Secundario
Acueducto de Gpe.	Lodos Activados	Secundario
San Pedro Actopan	Lodos Activados	Secundario
Bosques de las Lomas	Lodos Activados con Aeración Extendida	Secundario
Cd. Deportiva	Lodos Activados	Secundario
Cerro de la Estrella	Lodos Activados y Filtración con Arena	Terciario
Lomas de Chapultepec	Lodos Activados	Secundario
Coyoacán	Lodos Activados	Secundario
Paraje El Llano	Fisico-Químico, Lodos Activados Facultativo, Filtros de Arena y Torres de Carbón Activado Granulat y Ttratamiento de Lodos	Terciario
U.H. El Rosario	Lodos Activados, Filtración con Arena, Carbón Activado	Terciario
U.H. Picos Iztacalco	Lodos Activados, Filtración con Arena, Carbón Activado	Terciario
La Lupita	Lodos Activados	Secundario
San Andrés Mixquic	Lodos Activados	Secundario
Parres	Lodos Activados	Secundario
U.H Pemex-Picacho	Lodos Activados y Tratamiento de Lodos	Secundario
Reclusorio Sur	Lodos Activados y Tratamiento de Lodos	Secundario
San Juan de Aragón	Lodos Activados	Secundario
San Lorenzo Tezonco	Lodos Activados	Secundario
San Luis Tlaxiátemalco	Lodos Activados, Filtración con Arena y Tratamiento de Lodos	Terciario
San Nicolas Tetelco	Lodos Activados y Tratamiento de Lodos	Secundario
Sta. Martha Acatitla	Lodos Activados Mixto, Fisico-Químico y Tratamiento de lodos	Terciario
Santa Fe	Lodos Activados, Filtración con Arena, Carbón Activado y Tratamiento de Lodos	Terciario
U.H. Nonoalco Tlatelolco	Lodos Activados	Secundario
San Miguel Xicalco	Lodos Activados y Tratamiento de Lodos	Secundario

Fuente: Resultados del *Estudio Para Determinar la Potencialidad de Reúso del Agua Residual Tratada en la Ciudad de México*. No. de contrato N° 0218-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.

Una vez que ya se conocen cuales son los sistemas de tratamiento empleados en las PTAR's aquí citadas, hay que hacer notar que todos los sistemas de tratamiento están compuestos por una combinación de operaciones y procesos unitarios que se combinan dependiendo las características del influente y los contaminantes que se necesite eliminar, es decir, la calidad del efluente de salida requerido, entre otros aspecto.



Las PTAR's localizadas actualmente en la Ciudad de México, están diseñadas para tratar aguas residuales de origen no industrial con características propias de esta, es por eso que todas están diseñadas siguiendo los patrones básicos de tratamiento, sin embargo, con un mayor estudio acerca de los influentes que reciben las PTAR's, se podría determinar si se reciben en forma continua o discontinua aportes industriales, sobre todo en las PTAR's que se ubican relativamente cerca de zonas industriales.

En la Tabla 3.5 se detallan cuales son las unidades de proceso que conforman el sistema de tratamiento de 20 de las 24 plantas operadas por el SACM. Las siglas F.O., indican que dicha unidad se encuentra fuera de operación mientras que el espacio vacío indica que la planta de tratamiento no cuenta con esa unidad de proceso.



Tabla 3.5 Relación de unidades de proceso por PTAR ubicada en la Ciudad de México.

Planta	Pretratamiento	Tanque de Homogenización	Cárcamo de Bombeo	Tanque Anóxico	Sedimentador Primario	Tanque de Aereación	Sedimentador Secundario	Filtros de Grava y Arena	Torres de Carbón Activado	Tanque de Contacto de Cloro	Cárcamo de Aguas Tratadas	Digestor de Lodos	Espesador de Lodos	Deshidratado de Lodos
Abasolo	•		•		•	•	•			•		•	•	•
Acueducto de Gpe.	•		•		•	•	•					F.O.	F.O.	•
Bosques de las Lomas	•					•	•							•
Cd. Deportiva	•		•		•	•	•				•			•
Cerro de la Estrella	•				•	•	•	•		•	•			•
Chapultepec	•		•		•	•	•			•	•			•
El Llano	•		•	•		•	•	F.O.	F.O.				F.O.	•
El Rosario	•		•		•	•	•	•	•	•	•			•
Iztacalco	•		•		•	•	•	F.O.	F.O.	•	•			•
La Lupita	•		•		•	•	•			•		•	•	•
Parres	•		•		•	•	•			•		•	•	•
Pemex-Picacho	•		•		•	•	•			•	•			•
Reclusorio Sur	•	•	•		•	•	•			•	•	F.O.	F.O.	•
San Juan de Aragón	•		•		•	•	•			•	•			•
San Lorenzo Tezonco	•		•			•	•							•
San Luis Tlaxiátemalco	•	•			•	•	•	F.O.		•	•	F.O.	F.O.	•
San Nicolas Tetelco	•		•		•	•	•			•		•	•	•
Sta. Martha Acatitla	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tlatelolco	•		•			•	•				•			•
San Miguel Xicalco	•	•			•	•	•			•		•	•	•

Fuente: Resultados del *Estudio Para Determinar la Potencialidad de Reúso del Agua Residual Tratada en la Ciudad de México*. No. de contrato N° 0218-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.

F.O. = Fuera de operación



3.2 Calidad del agua residual

Primeramente, hay que señalar que la calidad del agua residual no es una condición estática ni puede ser definida por la medición de un solo parámetro de referencia, ya que es función del tiempo, del lugar y de los aportes contaminantes que en su momento estén presentes.

Debido a que existe un gran número de contaminantes químicos, físicos y biológicos que afectan la calidad del agua y a su vez un gran número de variables que podrían ser examinadas y medidas, se han establecido criterios para determinar la calidad no solo de las aguas residuales sino del agua en general. Estos criterios de calidad del agua se han establecido para una serie de variables tradicionales, tales como pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno para periodos de 5 y 7 días (DBO_5 y DBO_7), demanda química de oxígeno y nutrientes, por mencionar algunos, y su valor dependerá del uso que se le vaya a asignar al agua.

Es por lo anterior que hablar de calidad del agua residual resulta algo ambiguo si tomamos en cuenta la actividad en la que se desee emplear, ya que el agua presenta diferentes niveles de calidad útiles a diferentes actividades, y por lo tanto representa diferentes beneficios para cada persona.

En la práctica, para el cumplimiento de la calidad del agua residual que se genera en México, se considera como referencia el valor de límite máximo permisible (LMP) de concentración de contaminantes y/o de sus características fisicoquímicas, lo cual se establece en forma puntual a través de normas oficiales mexicanas en materia ambiental, que son elaboradas por la correspondiente autoridad ambiental, actualmente la SEMARNAT, quién a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), organismo adscrito a ésta, vigila su cumplimiento.

La regulación ambiental actual tiene establecido el cumplimiento de la calidad del agua residual que se descargue al alcantarillado o a cuerpos receptores de propiedad federal, de acuerdo a tres normas oficiales mexicanas; NOM-001-



SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997, tal como se cita en el punto 2.6 del presente trabajo.

En la Ciudad de México para el monitoreo de la calidad del agua y agua residual tratada, en 1982 la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) inauguró el Laboratorio Central de Control, con la finalidad de dar continuidad a las actividades de vigilancia de la calidad del agua que se llevaban a cabo en el antiguo Laboratorio de Xotepingo, así como iniciar la vigilancia de la calidad del agua residual y residual tratada, además de mantener vigentes las metodologías analíticas en la evaluación de la calidad del agua. Es en el Laboratorio Central de Control donde también se desarrolla el procedimiento y la evaluación de la información que ahí se obtiene, para expedir los dictámenes de calidad correspondientes, a través del Sistema de Información y Vigilancia de la Calidad del Agua.

Para realizar el análisis de la calidad del agua, el área de muestreo genera y distribuye las órdenes de muestreo e inspección sanitaria, con base en programas anuales de monitoreo. En estos programas se asigna la frecuencia de monitoreo y tipo de análisis por realizarse para cada sitio, y también queda comprendida la recolección de la muestra, la recepción, su distribución y la inspección sanitaria a las plantas de tratamiento que están a cargo del SACM. Las muestras son tomadas por brigadistas y divididas en agua potable, inspección sanitaria, agua residual y agua residual tratada.

Al ser recolectada la muestra, se determinan los parámetros de campo: pH, temperatura y concentración de cloro residual libre y total. Además se debe asegurar que la recolección de la muestra sea representativa y se deben tener algunos cuidados en la recolección y preservación de la muestra durante el transporte al laboratorio, con la finalidad de evitar la contaminación y mezclado de las muestras.

Ya una vez en el Laboratorio Central de Control, las muestras son analizadas de acuerdo al grado de caracterización que se requiera.



3.3 Calidad del agua residual del influente de las plantas de tratamiento ubicadas en la Ciudad de México

En la Ciudad de México, las aguas residuales provenientes de las casas-habitación para el año 2009 representaron alrededor del 68.18 % de las aguas residuales que se generaron en la ciudad, mientras que el sector industrial representó el 15.90 % del agua residual generada, y en la misma proporción el sector de servicios³³.

Cabe señalar que las aguas residuales domésticas están conformadas por las aguas conocidas como “aguas grises”, que son las generadas a partir del uso de duchas, bañeras, lavabos, lavandería y fregaderos; así como la proveniente de sanitarios, lo que resulta en una mezcla de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, ya sea en forma suspendida o disuelta. En general, en este tipo de aguas residuales la fracción orgánica corresponde al 70 % de la cantidad de materia sólida existente y el restante 30 % corresponde a la fracción inorgánica³⁴. Dentro de la fracción orgánica, podemos señalar a las proteínas, carbohidratos y lípidos como sus principales constituyentes (ver Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Compuestos orgánicos presentes en el agua residual doméstica (porcentajes).

COMPUESTO ORGÁNICO	METCALF & EDDY (1979)
Proteínas	40 - 60
Carbohidratos	25 - 50
Lípidos	10

Fuente: TORRES, Patricia., FORESTI, Eugenio. y VAZOLLER, Rosana. *Composición y uso de agua residual doméstica en reactores a escala de laboratorio*. Washington, D.C., U.S.A.: Organización Panamericana de la Salud.

Es en los constituyentes de la fracción orgánica donde radica parte del potencial de las aguas residuales domésticas para ser recicladas y aprovechadas, ya que sus compuestos orgánicos son una fuente rica en

³³ Delegación Política de Tlalpan www.tlalpan.df.gob.mx
Secretaría de Obras y Servicios www.obras.df.gob.mx
<http://www.paot.org.mx/gaceta/número00/numeralia.html>

³⁴ TORRES, Patricia., FORESTI, Eugenio. y VAZOLLER, Rosana. *Composición y uso de agua residual doméstica en reactores a escala de laboratorio*. Washington, D.C., U.S.A.: Organización Panamericana de la Salud.



nutrientes, que resultan importantes principalmente para la agricultura, debido a que dentro de las aguas residuales domésticas, las aguas que provienen del sanitario, es decir, las deyecciones líquidas y sólidas, en conjunto contienen más del 90 % del nitrógeno, 80 % del fósforo y 60 % del potasio de las aguas residuales domésticas³⁵, tal como se observa en la Tabla 3.7. Esto se debe a que las excretas de una persona adulta poseen la misma masa de nutrientes que la ingerida en sus dietas debido a que no hay retención de nutrientes como nitrógeno, fósforo o potasio en el cuerpo humano, excepto en los niños, en donde pequeñas cantidades son retenidas para el crecimiento de los huesos.

Tabla 3.7 Porcentaje de nutrientes y de materia orgánica en el agua residual doméstica.

Volumen L/per*año	Aguas grises 25 000 - 1 000 000	Orina ~ 500	Heces ~ 50
Carga kg/per*año			
N ~ 4-5	~ 3 %	~ 87 %	~ 10 %
P ~ 0.75	~ 10 %	~ 50 %	~ 40 %
K ~ 1.8	~ 34 %	~ 54 %	~ 12 %
DQO ~30	~ 41 %	~ 12 %	~ 47 %

Fuente: GAJUREL, Deepak Raj., LI, Zifu. y OTTERPOHL, Ralf. Investigation of the effectiveness of source control sanitation concepts including pre-treatment with Rottebehaelter. Water Science and Technology. 48 (1): 100-111, 2003.

Hay que resaltar el hecho de que las deyecciones líquidas en comparación con las deyecciones sólidas, poseen mayor cantidad de nutrientes, ya que en promedio, más el 80 % del nitrógeno excretado por una persona es a través de la orina y el resto por las heces, así como más del 50 % del fósforo y del potasio. Aunado a lo anterior se encuentra el hecho de que las deyecciones líquidas no requieren un tratamiento tan exhaustivo como las deyecciones sólidas para poder ser manejadas y utilizadas. Tan solo la orina en la vejiga de una persona saludable es estéril, y solo muy pocas enfermedades son transmitidas vía patógenos en la orina y la única enfermedad que necesitaría ser considerada como un riesgo al ser utilizada es *Schistosoma haematobium*, por el contrario, las heces poseen una alta cantidad de

³⁵ WANG, C. y BAO, W. Case study of vacuum urine-diverting sewerage system of SIEEB Tsinghua University. *Gewässerschutz Wasser Abwasser*. (206):1-22, 2007. ISSN: 0342-6068



patógenos como bacterias, virus, protozoos parásitos y helmintos intestinales y necesitan recibir tratamiento especial para poder utilizar sus nutrientes.

Sin embargo, hay que destacar el hecho de que el contenido de nutrientes presentes en la orina variará con la dieta y esta así mismo varía entre países e individuos³⁶.

Como se mencionó anteriormente, los nutrientes contenidos en las deyecciones líquidas de las aguas residuales domésticas son de interés para la agricultura, ya que al reciclarse estos nutrientes pueden ser utilizados como fertilizantes en cualquier campo de cultivo e incrementar el rendimiento de estos de igual manera que los fertilizantes artificiales. En algunos casos se elimina la necesidad del uso de fertilizantes químicos, trayendo beneficios económicos al sector agrícola.

Dentro de los elementos esenciales para la producción agrícola que se encuentra presente en las deyecciones, es el fósforo, el cual es muy importante en estos tiempos, ya que las reservas de los depósitos de minas de roca fosfórica que es de donde se obtiene el fósforo, se están agotando dado los altos porcentajes de explotación actual (incrementando alrededor del 3 % anual), ejemplo de esto es que en Estados Unidos de América las reservas económicas de fósforo durarán no más de 50 años³⁷.

Las aguas residuales de origen doméstico no solo contienen fósforo y nitrógeno como principales contaminantes, sino que dentro de su composición típica se encuentran principalmente sólidos sedimentables, sólidos totales, grasas y aceites, carbono orgánico, DQO y DBO₅, en diferentes concentraciones, que van desde débil hasta fuerte, tal como se observa en la Tabla 3.8.

³⁶ SCHOENNING, Caroline. Urine diversión – Hygienic risks and microbial guidelines for reuse. Swedish Institute for Infectious Disease Control (SMI). Suiza 2001.

³⁷ MÜNCH, Elisabeth y WINKER, Martina. Technology review, urine diversion components: Overview of urine diversion components such as waterless urinals, urine diversion toilets, urine storage and reuse systems [en línea]. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ), 2009. Disponible en: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GTZ%202009%20Technology%20Review%20Urine%20diversion%20components.pdf



Tabla 3.8 Composición típica del agua residual doméstica no tratada.

*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 (DBO5 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
Clorurosa	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO3)	200	100	50
Grasa	150	100	50

* Todos los valores excepto sólidos sedimentables se expresan en mg/L

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003).

Debe considerarse además que el agua residual de tipo doméstica tiene incorporadas diversas sustancias que provienen, por ejemplo, de productos de limpieza utilizados en las casas-habitación y en el aseo humano.

Adicionalmente a las descargas residuales de origen doméstico, en la Ciudad de México existen descargas residuales industriales, las cuales, se incorporan directamente a cuerpos receptores de propiedad nacional, o bien a la red de drenaje urbano, como es el caso de las industrias ubicadas en la zona industrial Vallejo, laboratorios ubicados en la delegación Tlalpan (cerca del anillo periférico), así como diversas micro, pequeñas y medianas empresas ubicadas a lo largo de la Ciudad de México. De manera adicional, se tienen las descargas residuales provenientes del sector de servicios o sector económico terciario, en donde las descargas residuales varían en concentración y contaminantes dependiendo de su actividad o giro comercial.



En la Ciudad de México se ubica una gran cantidad de empresas de servicios, comerciales y en menor proporción industrias manufactureras, que de acuerdo al censo económico del INEGI (2004), el total de unidades económicas era alrededor de 342,475 unidades, de las cuales, el 92.6 % eran microempresas, el 5.3 % pequeña empresas, el 1.3 % medianas empresas y el 0.8 % corresponde a grandes empresas, tal como se cita en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Número de unidades económicas en la Ciudad de México por tamaño, año 2004.

Sector	Tamaño de la empresa								Total No.
	Micro		Pequeña		Mediana		Grande		
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
Industria manufacturera	22755	82.1	3475	12.5	1198	4.3	299	1.1	27727
Industria de la construcción	636	50.2	385	30.4	173	13.6	73	5.8	1267
Comercio	173916	96.1	4753	2.6	1609	0.9	775	0.4	181053
Transporte y comunicaciones	2208	72.8	555	18.3	97	3.2	173	5.7	3033
Servicios	117499	90.8	9086	7	1376	1.1	1413	1.1	129374
Otros*	8	38.1	4	19	3	14.3	6	28.6	21
Total	317022	92.6	18258	5.3	4456	1.3	2739	0.8	342475

*Incluye a los sectores de la minería y de electricidad, gas y agua.

Fuente: INEGI. Censos Económicos de 2004.

Para el año 2011, datos del DENUE, indican que el número de unidades económicas en la Ciudad de México es de 424,012, en donde el comercio al por menor es la actividad económica con mayor número de unidades económicas, al contar con 192,521 empresas.

De esta manera las descargas residuales de la Ciudad de México están conformadas por aguas residuales provenientes principalmente de aguas sanitarias procedentes de casas-habitación, de empresas de servicios e industriales, aguas residuales de empresas de servicios, tales como: hospitales, talleres mecánicos, hoteles, estaciones de servicio (gasolineras), mercados públicos, escuelas, oficinas, etc., empresas de comercio al por mayor, comercio al por menor, entre otros, así como de aportes de aguas residuales industriales provenientes de la industria farmacéutica, alimentaria, de papel, metal-mecánica, entre otras localizadas en la Ciudad de México. Cabe resaltar que las descargas residuales variarán de una zona geográfica a otra, así como de una delegación política a otra como en el caso particular de la Ciudad de México.



Considerando la información de caracterización del tipo de agua residual que se transporta a través de la red de drenaje urbano, o en el peor de los casos que se infiltra en forma deliberada, se procedió a realizar la recopilación de información de diversas fuentes de consulta especializadas referente a la calidad del agua residual tanto del influente como del efluente de las PTAR's localizadas en la Ciudad de México.

La información aquí citada son datos históricos de la calidad del agua residual del año 2006 al 2009 determinada durante época de estiaje y lluvias de 22 de las 28 PTAR's ubicadas en la Ciudad de México, ello debido a que cuatro de ellas (Ciudad Universitaria, FCPyS, H. Colegio Militar y Campo Militar 1) no son operadas por la SACM y las dos plantas restantes (Santa Fe y San Nicolás Tetelco) estaban concesionadas en ese periodo, por lo que no se tiene información de estas.

Los parámetros de referencia que se consideraron en esta sección de acuerdo a las fuentes de consulta revisadas para determinar la calidad del agua residual, son: pH, minerales (alcalinidad total), sólidos (sólidos suspendidos totales, fijos, volátiles y sedimentables), nutrientes (nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, nitrógeno orgánico y fósforo), grasas y aceites, surfactantes (sustancias activas que reaccionan al azul de metileno, SAAM) y coliformes fecales. Estos parámetros de referencia son los que el organismo SACM a través del Laboratorio de Control Central utiliza principalmente para determinar la calidad del agua residual del influente y del efluente de las PTAR's que están bajo su administración. Asimismo, estos parámetros resultan de gran utilidad para la parte operacional de las PTAR's como valores de referencia para hacer los ajustes operacionales necesarios cuando algún parámetro se encuentra fuera del intervalo establecido.

En las Tablas 3.10 y 3.11 se proporciona el resultado de los análisis del agua residual del influente de 22 PTAR's operadas por el SACM, tanto en época de estiaje como de lluvias, para el periodo comprendido de enero de 2006 a abril de 2009, y están expresados como Promedio Mensual (PM), lo que significa que ese valor es el promedio ponderado tras analizar al menos dos muestras



compuestas, tomadas en días representativos. Esta muestra compuesta resulta de mezclar en volumen proporcional cada una de las muestras simples o muestras recolectadas totales.



Tabla 3.10 Resultado promedio del análisis del influente de las PTAR's del SACM. Temporada de estiaje. Enero 2006 – abril 2009.

GRUPO	FÍSICOS	MINERALES	SÓLIDOS				NUTRIENTES				BIOLÓGICOS		MATERIA ORGÁNICA					
PARÁMETRO	pH	ALC T	SST	SSF	SSV	SS	N-NH ₃	N T	P T	N Org.	COLI TOT	COLI FEC	DBO T	DBO ₅	DQO T	DQO ₅	G y A	SAAM
UNIDAD		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100 ml	NMP/100 ml	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Abasolo	7.78	486.64	661.65	138.14	524.21	9.21	121.24	167.79	31.70	52.66	1.32E+08	3.49E+07	861.30	354.21	1724.46	753.31	87.59	22.61
Acueducto de Gpe.	7.77	508.43	374.29	109.64	262.61	4.43	35.85	54.71	16.28	21.07	9.21E+07	3.43E+07	332.59	119.85	761.23	240.63	53.97	22.25
San Pedro Actopan	7.48	439.01	848.11	161.66	682.57	11.54	68.89	119.66	26.44	60.24	2.10E+08	3.69E+07	880.55	346.00	2622	1088	168.19	19.89
Bosques de las Lomas	7.31	196.56	215.35	52.33	163.49	3.39	24.33	36.99	8.3	13.76	1.08E+08	2.86E+07	192.71	55.07	435.05	145.18	26.01	9.05
Cd. Deportiva	7.36	341.47	175.15	47.08	128.64	0.89	32.90	42.19	9.90	10.57	6.38E+07	1.63E+07	223.65	107.23	423.56	188.98	17.96	11.52
Cerro de la Estrella	7.60	250.91	140.60	37.61	103.12	0.54	22.85	30.87	7.39	7.47	5.66E+07	2.19E+07	155.17	71.22	382.87	145.86	13.34	9.44
Chapultepec	7.42	205.51	290.01	65.04	224.96	4.39	31.65	46.07	9.75	14.91	8.79E+07	2.20E+07	271.87	85.17	594.82	199.16	65.86	13.32
Coyoacán	7.26	256.18	168.61	45.86	123.36	0.88	24.26	34.19	7.87	12.08	4.95E+07	9.12E+06	152.84	65.42	361.02	149.51	15.68	10.58
El Llano	7.24	354.78	643.53	165.04	478.07	7.60	65.82	101.64	45.29	31.16	7.45E+07	3.10E+07	550.03	197.32	1232.88	340.39	108.30	13.09
El Rosario	7.60	383.57	228.16	51.48	179.03	1.02	44.21	59.02	12.87	14.66	8.93E+07	3.16E+07	276.93	105.96	591.01	230.21	39.27	17.18
Iztacalco	7.25	307.54	339.28	84.44	254.87	1.56	46.84	68.04	13.14	11.72	5.24E+07	1.65E+07	300.26	133.62	653.98	249.31	61.44	16.70
La Lupita	7.46	448.42	282.87	78.97	204.01	2.57	53.29	69.44	17.34	15.68	4.68E+07	1.15E+07	350.25	157.52	724.60	260.70	38.61	15.70
Mixquic	7.61	454.77	166.28	55.28	111.00	0.47	27.80	38.97	11.85	10.09	5.91E+07	2.73E+07	205.12	90.97	403.51	180.74	15.88	10.39
Parres	7.78	539.67	640.72	155.25	496.64	13.48	142.44	187.42	40.21	53.97	1.48E+08	6.24E+07	958.56	447.89	1818.58	782.22	125.52	29.20
Pemex-Picacho	7.70	255.04	263.03	51.01	218.18	3.73	36.57	54.63	12.21	16.26	1.03E+08	3.02E+07	285.16	81.22	582.03	184.12	37.10	12.92
Reclusorio Sur	7.47	172.75	224.86	42.28	182.39	1.18	27.67	46.27	8.76	19.07	8.37E+07	1.51E+07	276.94	92.29	505.20	177.57	58.66	8.38
San Juan de Aragón	7.70	594.68	272.58	111.77	161.09	3.64	29.60	45.00	13.77	14.18	5.73E+07	1.34E+07	204.17	88.07	471.27	179.29	23.02	10.50
San Lorenzo Tezonco	7.72	510.06	211.22	67.97	146.42	0.53	26.90	39.73	12.45	13.76	4.44E+07	9.23E+06	190.17	82.83	465.81	201.47	18.66	13.89
San Luis Tlaxiátemalco	7.29	226.85	206.19	47.93	159.07	1.41	24.13	29.43	7.52	9.31	6.23E+07	1.44E+07	197.02	62.56	453.80	133.09	20.69	10.19
*Sta. Martha Acatitla	8.10	605.26	198.13	58.73	139.40	0.79	21.07	-	7.88	-	4.85E+07	1.98E+07	148.87	76.33	492.55	232.86	15.74	5.47
Tlatelolco	7.60	260.84	226.39	45.60	183.81	3.50	27.46	38.39	10.39	11.25	5.32E+07	1.66E+07	192.69	59.48	448.96	130.46	24.24	9.17
San Miguel Xicalco	7.48	703.22	582.44	123.85	458.83	1.74	176.18	219.65	40.96	57.20	2.09E+08	4.88E+07	1093.08	545.89	2045.82	884.82	110.65	25.89

ALC T: alcalinidad total, SST: sólidos suspendidos totales, SSF: sólidos suspendidos fijos, SSV: sólidos suspendidos volátiles, SS: sólidos sedimentables, N-NH₃: nitrógeno amoniacal, NT: nitrógeno total, PT: fósforo total, N Org: nitrógeno orgánico, COLI TOT: coliformes totales, COLI FEC: coliformes fecales, DBOT: demanda bioquímica de oxígeno total, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno 5 días, DQOT: demanda química de oxígeno total, DQO₅: demanda química de oxígeno 5 días, G Y A: grasas y aceites, SSAM: sustancias activas que reaccionan al azul de metileno.

Fuente: Resultados del *Estudio Para Determinar la Potencialidad de Reúso del Agua Residual Tratada en la Ciudad de México*. No. de contrato N° 0218-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.



Tabla 3.11 Resultado promedio del análisis del influente de las PTAR's del SACM. Temporada de lluvias. Enero 2006 – abril 2009.

GRUPO	FÍSICOS	MINERALES	SÓLIDOS				NUTRIENTES				BIOLÓGICOS		MATERIA ORGÁNICA					
PARÁMETRO	pH	ALC T	SST	SSF	SSV	SS	N-NH ₃	N T	P T	N Org.	COLI TOT	COLI FEC	DBO T	DBO ₅	DQO T	DQO ₅	G y A	SAAM
UNIDAD		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100 ml	NMP/100 ml	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Abasolo	7.79	410.81	452.40	86.13	366.27	3.36	94.38	123.44	26.64	27.38	2.29E+08	9.25E+07	531.95	267.64	1240.26	566.95	56.86	53.10
Acueducto de Gpe.	7.82	508.23	284.59	54.86	229.73	1.35	36.35	54.14	15.22	18.14	1.43E+08	2.27E+07	331.50	114.67	686.62	222.61	45.70	20.35
San Pedro Actopan	7.16	333.79	617.62	105.29	481.62	15.95	54.72	86.59	22.84	39.63	2.57E+08	5.93E+07	671.63	251.13	1717.14	692.66	96.72	19.04
Bosques de las Lomas	7.31	165.44	169.74	33.44	136.59	2.97	20.59	30.73	6.35	11.33	1.35E+08	2.33E+07	161.61	42.22	331.10	114.47	23.63	6.71
Cd. Deportiva	7.49	365.33	130.32	31.37	99.34	0.60	22.25	30.47	8.14	8.84	9.27E+07	1.69E+07	146.43	64.48	299.19	143.44	14.12	7.31
Cerro de la Estrella	7.40	232.21	102.46	30.41	72.22	0.21	15.55	21.21	6.22	7.04	6.15E+07	2.34E+07	105.22	44.16	260.77	107.25	8.41	7.07
Chapultepec	7.48	190.18	228.92	42.86	186.06	3.45	29.52	40.79	9.03	12.10	1.14E+08	1.75E+07	251.68	80.53	474.73	178.21	45.03	11.79
Coyoacán	7.20	218.23	129.19	41.54	87.86	0.34	17.89	23.59	6.57	8.39	5.35E+07	1.28E+07	130.10	46.65	290.85	110.27	13.31	8.12
El Llano	7.35	316.80	378.12	105.36	273.52	2.54	58.28	79.57	16.74	19.18	2.31E+08	2.86E+07	421.13	162.13	858.37	302.24	53.99	13.26
El Rosario	7.64	349.06	211.74	54.77	156.98	0.72	41.26	54.53	14.47	13.56	1.57E+08	3.08E+07	247.23	98.69	527.49	194.60	27.26	14.48
Iztacalco	7.30	301.32	202.00	51.83	150.48	0.36	46.88	62.38	12.81	12.46	4.23E+07	1.04E+07	253.42	122.96	554.58	233.58	36.34	17.03
La Lupita	7.51	401.31	141.05	39.87	101.22	0.33	39.48	51.46	13.28	11.68	1.02E+08	2.27E+07	230.32	125.39	412.62	194.09	20.49	11.79
Mixquic	7.55	464.52	113.24	40.96	72.27	0.25	22.96	31.34	10.28	8.28	1.49E+08	2.79E+07	132.49	63.37	287.06	136.75	9.15	8.96
Parres	7.89	517.95	431.95	75.54	356.62	0.95	149.82	188.14	35.60	39.82	2.42E+08	5.79E+07	728.27	383.18	1439.99	707.08	72.38	25.05
Pemex-Picacho	7.77	269.10	247.54	47.97	199.97	2.19	42.99	55.88	12.65	17.32	6.46E+07	2.10E+07	291.86	88.93	590.76	197.95	34.30	11.70
Reclusorio Sur	7.47	169.54	207.35	42.69	165.06	0.41	28.41	45.35	8.20	15.78	9.43E+07	1.66E+07	222.45	84.09	425.53	143.52	25.54	7.91
San Juan de Aragón	7.73	588.92	126.38	54.88	72.38	1.16	24.95	28.32	11.55	6.88	1.05E+08	1.37E+07	146.77	76.17	291.19	146.31	27.84	8.52
San Lorenzo Tezonco	7.67	527.82	200.75	87.37	113.58	1.28	18.97	28.88	10.99	8.28	5.91E+07	6.71E+06	138.11	56.28	396.59	170.69	13.18	11.51
San Luis Tlaxialtemalco	7.31	214.30	179.22	54.49	124.90	0.74	16.74	26.03	7.05	7.54	8.73E+07	1.46E+07	137.09	46.48	327.66	102.99	15.44	8.77
Sta. Martha Acatitla	7.88	502.95	157.59	55.00	98.77	0.59	23.25	35.53	5.95	9.45	7.98E+07	7.19E+07	146.33	70.86	369.17	169.18	19.80	8.06
Tlatelolco	7.60	218.76	104.83	22.10	83.41	0.40	19.52	29.35	7.57	10.62	9.15E+07	2.54E+07	115.45	35.68	230.33	84.41	20.87	6.63
San Miguel Xicalco	7.35	494.73	412.37	90.86	318.66	0.39	105.55	124.99	30.60	-	2.77E+08	5.04E+07	1088.27	486.09	1457.77	731.03	74.27	18.23

ALC T: alcalinidad total, SST: sólidos suspendidos totales, SSF: sólidos suspendidos fijos, SSV: sólidos suspendidos volátiles, SS: sólidos sedimentables, N-NH₃: nitrógeno amoniacal, NT: nitrógeno total, PT: fósforo total, N Org: nitrógeno orgánico, COLI TOT: coliformes totales, COLI FEC: coliformes fecales, DBOT: demanda bioquímica de oxígeno total, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno 5 días, DQOT: demanda química de oxígeno total, DQO₅: demanda química de oxígeno 5 días, G Y A: grasas y aceites, SSAM: sustancias activas que reaccionan al azul de metileno. Fuente: Resultados del *Estudio Para Determinar la Potencialidad de Reúso del Agua Residual Tratada en la Ciudad de México*. No. de contrato N° 0218-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.



De acuerdo al resultado de análisis del influente de las PTAR's antes citadas, se observa que en la mayoría de estas, los parámetros analizados se encuentran dentro del intervalo típico para aguas residuales domésticas, los cuales se muestran en la Tabla 3.8, sin embargo, al hacer una evaluación de las diferentes concentraciones de carga orgánica expresada como DBO_5 , se encuentra que algunas plantas como lo son: Abasolo, San Pedro Actopan, Paraje El Llano, Parres y Xicalco, presentan concentraciones en su influente mayores a 500 mg/L, concentración muy alta para ser de origen doméstico. Posiblemente la alta concentración de DBO_5 se deba a que estas PTAR's se encuentran ubicadas en zonas semiurbanas, en donde posiblemente exista mucha actividad de traspatio³⁸ o algún rastro en la zona. En el caso de las PTAR's Bosques de las Lomas, Cerro de la Estrella, Coyoacán, Mixquic, San Lorenzo Tezonco, San Luis Tlaxialtemalco, Santa Martha Acatitla y Tlatelolco, estas presentan una concentración de carga orgánica, expresada como DBO_5 , muy baja y con valores menores a 200 mg/L. Dentro de este grupo destaca la PTAR Cerro de la Estrella con un valor medio de 154 mg/L durante la temporada de estiaje, factor que podría deberse a incorporación de agua "limpia" o potable a la red de drenaje en algún punto de su trayecto a la planta de tratamiento, lo que ocasiona cierta dilución del agua residual.

Al hacer la evaluación del contenido de nutrientes se puede notar que las plantas Abasolo, San Pedro Actopan, Paraje El Llano, Parres y Xicalco, que son las plantas de tratamiento que en su influente presentan una alta concentración de DBO_5 , también contienen un alto grado de nutrientes, lo que indica una alta presencia de compuestos orgánicos biodegradables en el agua residual. La concentración de nutrientes en el efluente de estas plantas rebasa los 85 mg/L de nitrógeno total y los 24 g/L de fósforo total, los cuales son valores típicos de agua residual doméstica.

De igual forma se observa que hay una diferencia significativa entre la concentración de contaminantes presentes en el influente en época de lluvias y

³⁸ Una actividad de traspatio podría ser los sistemas de producción animal, que se caracterizan por la crianza de un conjunto de animales como bovinos, ovinos, cerdos, aves y otros, que se explotan en los patios de las casas habitación o alrededor de las mismas, principalmente del medio rural.



en época de estiaje, siendo un 25 % mayor la concentración de DBO_5 en temporada de estiaje comparada con la recibida en temporada de lluvias, comportamiento cercanamente similar en el resto de los parámetros analizados, a excepción del parámetro biológico coliformes fecales, el cual incrementa su concentración debido, entre otros factores, al arrastre de materia fecal presente en las calles por la escorrentía pluvial.

Hay que hacer mención que a nivel nacional se cuenta con leyes, reglamentos y normas en donde se establecen los límites máximos permisibles de descarga de contaminantes en las aguas residuales, sin embargo, actualmente por parte de las autoridades no existe seguimiento para requerir estricto cumplimiento para estas descargas, principalmente para las micro y pequeñas empresas, quienes descargan sus efluentes al sistema de drenaje y no siempre se les exhorta a cumplir con los límites de descarga normativos. Esto se puede observar a simple vista en las altas concentraciones en el influente de las plantas de tratamiento de la Ciudad de México de parámetros tales como: DBO_5 , DQO, SST, SS, nutrientes y grasas y aceites, principalmente, lo que indica que las descargas al sistema de drenaje no son estrictamente pertenecientes a agua residual de tipo doméstica.



3.4 Calidad del agua residual del efluente de las plantas de tratamiento ubicadas en la Ciudad de México

Tal como ya se ha citado anteriormente, dentro de la actual normatividad mexicana se pueden distinguir tres normas oficiales mexicanas, NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997, las cuales establecen parámetros referentes a los límites máximos permisibles de contaminantes presentes en descargas de aguas residuales y aguas residuales tratadas, con el objeto de que dichas descargas puedan ser dispuestas en aguas y bienes nacionales, en los sistemas de alcantarillado o reutilizadas en servicios al público.

Parámetros de referencia

Para el caso del presente trabajo, únicamente se considerarán los valores de límite máximo permisible en las aguas residuales tal como lo establece la normatividad aplicable, esto en función de los usos y destino final de las descargas de agua residual tratada provenientes de las PTAR's del SACM, como son: descargas en el sistema de drenaje urbano y semiurbano, reutilización del agua residual en riego de áreas verdes y reúso industrial, principalmente.

Es así que para efectuar la evaluación de la calidad del agua residual del efluente de las PTAR's, se consideran aquí los valores del LMP establecidos en las normas NOM-002-SEMARNAT-1996 (descarga al drenaje) y NOM-003-SEMARNAT-1997 (para reúso con contacto directo e indirecto).

La NOM-002-SEMARNAT-1996 establece que el intervalo permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5.5 a 10 unidades, el LMP de temperatura es de 40 °C, mientras que el LMP para los parámetros DBO₅ y SST dependerá del cuerpo receptor y son los establecidos en la Tabla 2 de la NOM-002-SEMARNAT-1996, información que se cita en el Anexo 1.

En cuanto a los parámetros que establece la NOM-003-SEMARNAT-1997, esta señala que el agua residual reusada en servicios al público no deberá contener



concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles que están establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola. En cuanto al resto de parámetros regulados en esta norma, estos se mencionan en el Anexo 2.

Ahora que ya se definieron cuales son los parámetros y límites máximos permisibles que por normatividad deben de cumplir los efluentes de las plantas de tratamiento, es necesario conocer cuáles son realmente las concentraciones de los parámetros antes señalados en el efluente de las plantas de tratamiento, es por esto que a continuación se presenta el resultado de los análisis del efluente de 22 de las 28 PTAR's de la Ciudad de México, tanto en época de estiaje como de lluvias para el periodo de enero de 2006 a abril de 2009, en donde los resultados están expresados en PM (ver Tablas 3.12 y 3.13).



Tabla 3.12 Resultado promedio del análisis del efluente de las PTAR's del SACM. Temporada de estiaje. Enero 2006 – abril 2009.

GRUPO	FÍSICOS	MINERALES	SÓLIDOS				NUTRIENTES				BIOLÓGICOS		MATERIA ORGÁNICA				G y A	SAAM
PARÁMETRO	pH	ALC T	SST	SSF	SSV	SS	N-NH ₃	N T	P T	N Org.	COLI TOT	COLI FEC	DBO T	DBO ₅	DQO T	DQO ₅	G y A	SAAM
UNIDAD		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100 ml	NMP/100 ml	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Abasolo	7.82	391.40	38.39	11.52	28.69	0.15	57.68	70.93	18.48	8.38	1.04E+05	1.85E+04	2.62	2.05	128.34	104.25	3.80	1.53
Acueducto de Gpe.	7.77	415.88	6.92	5.82	5.15	0.10	18.10	24.99	5.36	0.96	8.36E+05	1.36E+04	1.17	1.12	54.78	42.60	3.17	0.69
San Pedro Actopan	6.85	386.61	229.77	54.13	175.90	0.49	62.48	86.97	19.38	18.95	6.27E+07	9.10E+06	525.67	329.97	1055.25	579.30	29.92	18.00
Bosques de las Lomas	7.45	117.03	11.17	7.23	7.03	0.10	6.28	9.13	3.33	5.48	1.23E+5	2.01E+04	5.43	2.00	39.57	31.15	4.05	0.19
Cd. Deportiva	7.50	185.60	13.32	6.66	10.30	0.10	3.29	5.08	6.34	2.34	1.08E+06	2.70E+05	7.76	3.85	66.84	52.40	3.59	0.56
Cerro de la Estrella	7.52	169.15	13.44	5.60	10.22	0.10	5.06	9.36	4.87	1.40	1.33E+05	2.53E+04	5.66	2.34	51.02	38.98	3.38	0.31
Chapultepec	7.23	95.82	9.62	5.13	8.10	0.10	4.79	6.87	4.96	2.52	4.24E+04	1.51E+04	5.00	1.82	48.65	35.63	3.38	0.21
Coyoacán	7.52	169.72	9.91	5.05	8.13	0.10	9.38	12.36	3.00	2.24	1.77E+04	6.21E+03	2.87	1.65	43.76	35.17	3.46	0.28
El Llano	7.50	280.87	131.06	32.28	99.22	0.34	30.74	57.29	12.89	9.95	1.57E+06	2.09E+05	48.31	15.61	207.33	94.03	11.44	0.61
El Rosario	7.81	271.05	9.54	4.98	7.81	0.10	11.76	16.25	6.98	3.35	6.66E+03	4.65E+06	2.00	1.28	51.38	44.21	8.95	0.41
Iztacalco	7.41	142.45	9.75	4.95	7.80	0.10	5.79	7.88	7.24	2.55	5.09E+06	1.78E+04	2.83	1.40	43.65	36.12	9.42	0.36
La Lupita	7.66	210.00	14.78	6.38	9.92	0.10	2.69	5.34	12.22	1.33	4.40E+06	2.93E+04	3.08	1.76	63.39	50.86	5.60	0.63
Mixquic	7.45	438.43	109.03	39.91	66.88	2.53	25.81	35.49	6.94	7.34	1.83E+07	3.69E+06	114.58	70.52	218.73	143.08	6.26	11.65
Parres	7.77	419.63	69.16	23.48	46.77	0.11	35.07	41.46	22.15	13.68	7.69E+4	1.47E+04	6.43	3.07	215.68	138.27	5.80	2.34
Pemex-Picacho	7.29	125.12	11.01	5.82	8.96	0.11	4.08	7.84	8.05	2.28	2.42E+04	7.78E+03	3.06	1.97	42.17	35.50	4.29	0.37
Reclusorio Sur	7.29	177.81	46.54	11.70	36.68	0.51	22.31	24.93	9.71	4.62	3.85E+05	1.13E+05	35.47	9.02	120.51	70.09	4.15	1.32
San Juan de Aragón	7.87	432.19	7.18	4.86	5.68	0.10	1.42	3.83	9.17	2.76	1.78E+04	4.71E+03	3.05	1.98	151.10	43.71	4.49	0.67
San Lorenzo Tezonco	7.97	395.97	22.19	10.75	13.62	0.10	4.55	6.79	10.05	3.95	2.11E+05	4.90E+04	5.74	2.11	86.99	79.63	4.26	0.87
San Luis Tlaxiatemalco	7.51	118.80	7.08	5.05	5.43	0.10	0.70	1.72	8.35	3.06	2.07E+04	4.61E+03	5.62	3.43	31.88	28.02	2.97	0.19
Sta. Martha Acatitla	8.15	450.84	18.08	8.31	10.08	0.10	0.25	-	5.24	-	1.45E+05	2.11E+04	4.92	2.38	68.28	58.53	6.03	0.14
Tlatelolco	7.53	155.75	11.10	5.32	8.96	0.10	3.36	7.08	6.77	2.25	1.84E+05	6.31E+04	9.02	2.32	43.56	38.00	3.35	0.48
San Miguel Xicalco	7.71	499.30	139.91	44.49	101.78	0.74	78.13	84.48	21.63	9.53	2.84E+06	5.89E+05	66.84	21.16	303.40	162.71	8.01	4.94

ALC T: alcalinidad total, SST: sólidos suspendidos totales, SSF: sólidos suspendidos fijos, SSV: sólidos suspendidos volátiles, SS: sólidos sedimentables, N-NH₃: nitrógeno amoniacal, NT: nitrógeno total, PT: fósforo total, N Org: nitrógeno orgánico, COLI TOT: coliformes totales, COLI FEC: coliformes fecales, DBOT: demanda bioquímica de oxígeno total, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno 5 días, DQOT: demanda química de oxígeno total, DQO₅: demanda química de oxígeno 5 días, G Y A: grasas y aceites, SSAM: sustancias activas que reaccionan al azul de metileno. Fuente: Resultados del *Estudio Para Determinar la Potencialidad de Reúso del Agua Residual Tratada en la Ciudad de México*. No. de contrato N° 0218-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.



Tabla 3.13 Resultado promedio del análisis del efluente de las PTAR's del SACM, Temporada de Lluvias.
Enero 2006 – abril 2009.

GRUPO	FÍSICOS	MINERALES	SÓLIDOS				NUTRIENTES				BIOLÓGICOS		MATERIA ORGÁNICA				G y A	SAAM
PARÁMETRO	pH	ALC T	SST	SSF	SSV	SS	N-NH ₃	N T	P T	N Org.	COLI TOT	COLI FEC	DBO T	DBO ₅	DQO T	DQO ₅	G y A	SAAM
UNIDAD		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100 ml	NMP/100 ml	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Abasolo	7.59	246.31	22.90	6.41	19.05	0.10	19.73	23.19	14.88	5.73	1.99E+06	1.77E+06	2.63	1.68	90-19	62.45	3.32	0.78
Acueducto de Gpe.	7.78	395.04	5.06	4.00	5.06	0.10	16.90	20.94	4.32	2.15	1145.45	146.20	1.00	1.00	38.07	37.40	5.08	0.85
San Pedro Actopan	7.06	388.95	195.69	41.50	154.44	0.11	35.58	54.17	14.50	14.06	3.24E+7	9.83E+06	360.77	232.19	702.33	395.50	17.63	13.06
Bosques de las Lomas	7.25	67.85	6.75	4.60	5.95	0.10	1.03	2.05	3.24	1.41	6.73E+04	3.28E+04	4.40	1.35	32.51	22.78	2.91	0.15
Cd. Deportiva	7.61	212.13	9.62	4.79	7.49	0.10	2.22	4.32	19.54	3.20	2.15E+05	6.26E+04	5.87	1.59	45.24	37.22	3.00	0.32
Cerro de la Estrella	7.38	127.67	9.45	5.18	7.27	0.14	0.87	2.09	4.73	2.83	1.11E+04	2.01E+05	4.20	1.41	27.02	24.11	2.63	0.26
Chapultepec	6.97	61.05	5.70	4.02	5.41	0.10	1.21	2.18	4.76	1.54	6.69E+03	2.51E+04	3.12	1.67	26.86	25.04	2.89	0.18
Coyoacán	7.46	128.25	7.14	4.38	5.93	0.10	3.29	4.69	3.45	2.00	2.72E+03	2.87E+03	3.28	1.38	32.39	28.54	3.18	0.30
El Llano	7.57	213.79	58.67	17.33	41.52	0.11	5.02	12.90	12.44	7.17	1.63E+06	1.94E+05	34.24	8.00	114.13	83.86	3.81	0.48
El Rosario	7.72	217.00	8.03	5.58	6.33	0.10	3.29	7.43	6.07	5.67	1.02E+04	7.15E+03	2.03	1.27	41.18	34.58	3.36	0.44
Iztacalco	7.67	122.85	10.08	4.65	8.96	0.10	1.45	1.71	8.87	1.92	1.53E+04	5.45E+03	2.54	1.62	34.50	28.95	3.05	0.39
La Lupita	7.75	235.33	12.51	5.69	9.46	0.10	3.28	7.11	10.61	3.13	1.10E+05	2.56E+04	2.77	1.43	43.68	35.73	2.50	1.85
Mixquic	7.45	398.05	117.53	60.97	56.56	0.16	16.68	23.70	5.64	5.09	2.13E+07	6.73E+06	70.40	35.71	155.27	95.37	6.06	7.23
Parres	7.55	213.06	34.77	9.83	26.43	0.10	9.26	8.31	11.11	3.72	3.38E+04	7.20E+03	5.44	2.91	112.14	78.55	4.09	1.51
Pemex-Picacho	7.35	130.03	7.51	4.05	6.92	0.10	3.82	6.77	8.62	4.56	1.18E+04	8.19E+03	3.67	1.89	41.07	35.21	7.34	0.30
Reclusorio Sur	7.12	140.67	30.54	7.61	24.88	0.10	19.30	19.47	8.92	4.24	3.78E+05	4.78E+04	22.53	5.55	81.32	48.77	4.53	1.18
San Juan de Aragón	7.96	437.24	8.48	6.06	5.53	0.10	0.78	2.24	7.93	1.88	2.91E+03	1.11E+03	2.65	1.48	36.45	33.70	3.00	0.23
San Lorenzo Tezonco	7.96	361.01	13.85	6.18	7.44	0.10	3.58	4.52	8.47	3.21	2.04E+05	2.95E+04	4.29	1.68	82.86	70.00	2.79	0.33
San Luis Tlaxiátemalco	7.57	126.52	9.23	4.75	7.68	0.10	0.36	1.35	6.17	1.67	4.91E+04	1.42E+04	3.36	1.82	34.60	28.12	2.90	0.26
Sta. Martha Acatitla	8.32	413.00	30.44	13.39	17.72	0.10	0.09	2.69	5.26	3.69	1.87E+05	1.97E+05	5.17	1.78	62.91	50.13	2.71	0.16
Tlatelolco	7.55	122.93	7.64	4.15	7.12	0.10	1.03	3.58	5.63	4.23	1.80E+05	1.12E+05	5.33	1.73	28.75	26.14	3.57	0.36
San Miguel Xicalco	7.58	340.54	110.75	26.69	81.94	0.10	39.48	42.09	16.27	-	3.56E+06	4.04E+05	49.58	18.97	238.58	131.26	5.57	4.43

ALC T: alcalinidad total, SST: sólidos suspendidos totales, SSF: sólidos suspendidos fijos, SSV: sólidos suspendidos volátiles, SS: sólidos sedimentables, N-NH₃: nitrógeno amoniacal, NT: nitrógeno total, PT: fósforo total, N Org: nitrógeno orgánico, COLI TOT: coliformes totales, COLI FEC: coliformes fecales, DBOT: demanda bioquímica de oxígeno total, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno 5 días, DQOT: demanda química de oxígeno total, DQO₅: demanda química de oxígeno 5 días, G Y A: grasas y aceites, SSAM: sustancias activas que reaccionan al azul de metileno.

Fuente: Resultados del *Estudio Para Determinar la Potencialidad de Reúso del Agua Residual Tratada en la Ciudad de México*. No. de contrato N° 0218-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.



Al comparar la concentración de contaminantes en el efluente para las PTAR's de interés, tanto en época de estiaje como de lluvias, y con referencia en el LMP de contaminantes en las descargas de agua residual para distintos usos y cuerpos receptores, se puede observar que en forma general, tras haber sometido a las aguas residuales a un tratamiento secundario y en algunos casos terciario, se logra en la mayoría de los casos cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros establecidos en la normatividad vigente, sin embargo, el parámetro que en todos los casos es mayor al LMP establecido, es el de coliformes fecales.

En el caso de los SST, las plantas residuales aquí consideradas que tanto en época de estiaje como de lluvias no cumplen con el límite máximo permisible establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997, que es de 30 mg/L para reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional, son: San Pedro Actopan, Paraje El Llano, Mixquic, Parres, Reclusorio Sur y San Miguel Xicalco, Mientras que la planta Abasolo en época de estiaje no cumple con dicho LMP, asimismo, tampoco cumple con el LMP para destinarse al reúso en servicios al público con contacto directo, al sobrepasar la concentración máxima establecida en esta misma norma que es de 20 mg/L.

Con respecto al mismo parámetro de SST, las plantas de tratamiento que en época de estiaje poseen un concentración mayor a 75 mg/L, que es el LMP que establece la NOM-002-SEMARNAT-1996, son: San Pedro Actopan, el Llano y San Miguel Xicalco, mientras que en época de lluvias, la única planta que sigue sobrepasando el LMP de SST es la planta de San Pedro Actopan, con una concentración de SST de 195.69 mg/L. Cabe resaltar que la planta de San Pedro Actopan en época de estiaje posee una concentración tan alta de SST, alrededor de 229.77 mg/L, que de acuerdo a la normatividad aplicable solo podría ser descargada al suelo para uso en riego agrícola, de acuerdo a la Tabla 2 de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Uno de los factores por los que en muchas plantas de tratamiento se rebasa el LMP establecido de SST, es debido a las bajas eficiencias de remoción de este contaminante. Si se compara la concentración de SST en el influente y en el



efluente de las PTAR's, se puede observar que la planta Mixquic tiene un porcentaje de remoción del 34 %, Paraje El Llano del 65 %, San Pedro Actopan del 73 % y San Miguel Xicalco del 76 %, mientras que el mayor porcentaje de remoción de SST lo tiene la planta Abasolo, con el 94 %.

En el caso de la concentración de coliformes fecales, todas las PTAR's aquí consideradas, presentan una concentración muy superior al límite máximo permisible establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997, lo cual puede significar una deficiencia en el tratamiento de desinfección como es el caso del sistema de cloración, que es el que se utiliza en la mayoría de las plantas de tratamiento.

En cuanto a concentración de DBO_5 se refiere, la planta de San Pedro Actopan es la única que posee una concentración tanto en época de estiaje como de lluvias de 329.97 y 232.19 mg/L respectivamente, valor que sobrepasa por mucho el LMP que se establece en la NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997, que es de 75 mg/L en el caso de la NOM 002 y de 20 a 30 mg/L en el caso de la NOM 003.

Es importante señalar que aunque la NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 no consideren a los nutrientes dentro de sus parámetros de contaminantes, existen algunas PTAR's con nivel de concentración de nitrógeno y fósforo demasiado alto en sus efluentes, tal como es el caso de las plantas San Pedro Actopan, Paraje El Llano, Parres, San Miguel Xicalco y Abasolo, con concentraciones de nitrógeno en época de estiaje superiores a los 40 mg/L. Mientras que en época de lluvias las únicas plantas que sobrepasan esta concentración son San Pedro Actopan y San Miguel Xicalco. En el caso de plantas de tratamiento con altas concentraciones de fósforo en su efluente, se encontró que en época de estiaje el efluente de las plantas Parres y San Miguel Xicalco contienen concentraciones de fósforo superiores a los 20 mg/L.



3.5 Resultados del análisis del agua residual del influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella

Para obtener información de manera adicional a la recabada a través de fuentes especializadas de consulta, se realizó un análisis fisicoquímico del agua residual tanto del influente como del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella, para lo cual se obtuvo el apoyo técnico de un laboratorio de análisis de control ambiental³⁹ acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C., cuyo personal técnico se encargó de la recolección de las muestras, determinación de la concentración de los contaminantes presentes y entrega del informe final de análisis. El trabajo de campo fue realizado durante el mes de diciembre de 2010, fecha correspondiente a época de estiaje, y considerando los parámetros de límite máximo permisible de contaminantes establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996, suponiendo que la mayor descarga de agua residual es hacia el drenaje.

La actividad de muestreo tanto del influente como del efluente de la PTAR Cerro de la Estrella se realizó conforme a la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales. Muestreo, la cual consistió en la toma de seis muestras a lo largo de 24 horas, según lo indicado en la Tabla 2, "Frecuencia de Muestreo" de la NOM-002-SEMARNAT-1996. En esta NOM se establece que las muestras colectadas deberán cubrir las variaciones de las descargas de la fuente generadora y tomarse a ciertos intervalos estipulados de tiempo. Es así que las seis muestras colectadas corresponden a un periodo de operación de la PTAR Cerro de la Estrella de 24 horas.

La actividad de muestreo inició con la recolección de las muestras y aforo, tanto del influente como del efluente de la PTAR, asegurándose en todo

³⁹ Laboratorio Tecnoambiental, S.A. de C.V. Cuenta con Acreditación de aguas residuales ante la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. Actualización 05 de septiembre del 2007 (AG-005-140-05) así como actualización y registro del consejo estatal de ecología en materia de aguas residuales, riesgo ambiental, emisiones atmosféricas, ruido perimetral e impacto ambiental (No.IRA/059/05) Sus oficinas se encuentran en Av. Clavería 237-B Col. Clavería delegación Azcapotzalco.



momento de que las muestras fueran representativas del punto de muestreo. A las muestras recolectadas primeramente se les determinaron los parámetros de campo, tales como pH, conductividad y temperatura. Posteriormente las muestras fueron almacenadas en frascos colectores hechos de un material que asegurara su conservación, fueron rotulados de forma clara y durable con la información de los analitos y el preservante utilizado dependiendo de los parámetros que se fueran a determinar, y refrigeradas en hielo para su conservación. Finalmente, para el traslado de las muestras al laboratorio, se aseguró que antes del traslado, los recipientes que contenían las muestras fueran sellados y protegidos para que no hubiera deterioro o pérdida de muestra hasta la entrega de las mismas al personal del laboratorio.

Todas las actividades realizadas durante el muestreo como fueron: recolección de la muestra, preservación y embalaje de las mismas, transporte de las muestras al laboratorio y traspaso de las muestras al laboratorio para la realización de análisis, son actividades que forman parte de lo que se conoce como “cadena de custodia”, la cual consiste en una serie de procedimientos de control de las etapas críticas del muestreo, para la preservación y trazabilidad en todo momento de las muestras recolectadas. Para llevar un control de estas actividades, se debe de contar con un formato de cadena de custodia, en donde se registrarán datos relevantes de estas actividades como son: responsables del muestreo, tipo de recipientes o contenedores utilizados para resguardar las muestras, identificación de las muestras, soluciones utilizadas para su preservación, parámetro a analizar para cada muestra, fecha y hora de entrega de las muestras al laboratorio y firma del la persona que recibe las muestras, principalmente.

Análisis del agua residual

La determinación de los parámetros a los que se hace referencia en la NOM-002-SEMARNAT-1996, fueron realizados bajo la normatividad actual, a través de las normas mexicanas que se citan a continuación:



- Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre de 1977.
- Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción Soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre de 1973.
- Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas - Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de julio de 1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH - Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-044 Aguas - Análisis de agua - Determinación de cromo hexavalente - Método colorimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua - Método espectrofotométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de septiembre de 1981.
- Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de abril de 1982.



-
- Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 1982.
 - Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de noviembre de 1981.
 - Norma Mexicana NMX-AA-076 Aguas - Determinación de níquel, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1982.
 - Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1982.

El resultado del análisis de agua residual que se efectuó para el influente de la PTAR Cerro de la Estrella a través de los servicios del Laboratorio Tecnoambiental S.A. de C.V., se muestra en la Tabla 3.14, dicho resultado está expresado como Promedio Diario (PD), lo que significa que el resultado de cada parámetro se obtuvo al analizar una sola muestra compuesta, la cual es tomada en un solo día de muestreo. Debido a que el tiempo de muestreo fue de 24 horas, solo se obtuvo una muestra compuesta, la cual resulta como se mencionó anteriormente, de mezclar en volumen proporcional, cada una de las muestras simples o muestras recolectadas totales.



Tabla 3.14 Resultado del análisis del influente de la PTAR Cerro de la Estrella, Diciembre 2010.

RAZON SOCIAL:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CERRO DE LA ESTRELLA		FECHA DE ANALISIS:	2010/12/21	
GIRO:	PLANTA DE TRATAMIENTO		FECHA DE MUESTREO:	2010/12/20	
			IDENTIFICACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO:	8166	
DESCARGA No.:	1	REF. INT.:	FRS 03 052 A	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	INFLUENTE

PARAMETROS DE CAMPO

PARAMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	
TEMPERATURA (°C)	16.50	22.30	19.68	
pH	6.84	7.18	6.99	
CONDUCTIVIDAD microS	784.00	897.00	842.33	
GRASAS Y ACEITES mg/L	17.55	21.48	PROM. PONDERADO	19.43
GASTO L/s	1228.800	1474.200	1344.367	

TABLA DE RESULTADOS 2 (PARAMETROS OBLIGATORIOS)

PARAMETROS	RESULTADO Prom Diario	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE Prom Diario	UNIDADES	METODO EMPLEADO
MATERIA FLOTANTE *	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE/PRESENTE	NMX-AA-066-SCFI-2001
SOLIDOS SEDIMENTABLES *	0.4	7.5	mg/L	NMX-AA-004-SCFI-2001
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES **	114.5	125.0	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
ARSENICO *	< 0,0025	0.750	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
CADMIO *	< 0,0250	0.750	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
COBRE *	< 0,0500	15.0	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO *	< 0,0005	0.015	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
NIQUEL *	< 0,1000	6.0	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO *	< 0,0500	1.5	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
ZINC *	0.100	9.0	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
CIANUROS *	< 0,020	1.5	mg/L	NMX-AA-058-SCFI-2001
CROMO HEXAVALENTE *	< 0.1	0.750	mg/L	NMX-AA-044-SCFI-2001
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO **	88.7	150.0	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001

* Parámetro referido en la NOM-002SEMARNAT-1996

** Parámetro referido en la NOM-002-SEMARNAT-1996, punto 4.6 (ver Tabla 2 para uso público urbano (B)) de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Fuente: Laboratorio Tecnoambiental S.A. de C.V.

Los resultados del análisis del influente de la PTAR Cerro de la Estrella indican que la calidad de este es característica de aguas residuales de tipo doméstico, al encontrarse todos sus parámetros dentro del intervalo promedio de concentración débil de este tipo de agua residual, los cuales fueron citados en la Tabla 3.8 del presente trabajo.

Ahora bien, antes de mostrar el resultado del análisis de agua residual del efluente de la planta Cerro de la Estrella, resulta conveniente señalar el tipo de



proceso con el que cuenta la planta de tratamiento Cerro de la Estrella para el tratamiento de sus aguas residuales.

Primeramente, hay que decir que para el abastecimiento de agua residual a la PTAR Cerro de la Estrella se cuenta con cuatro estaciones de rebombeo, las cuales ayudan a conducir a través de 8 km de ducto del drenaje de 72 pulgadas de diámetro el agua residual proveniente de la planta de bombeo de Aculco, la cual bombea a su vez aguas residuales del colector de Churubusco.

Para el tratamiento de las aguas residuales que alimentan a la planta de Cerro de la Estrella, esta cuenta con cuatro unidades de proceso (sedimentadores primarios, reactores biológicos, sedimentadores secundarios y medios filtrantes), 14 trenes de tratamiento, un proceso convencional de lodos activados como unidad de tratamiento medular, filtros de arena y grava, y finalmente un medio de desinfección a base de cloración. El proceso de tratamiento de aguas residuales que se utiliza en la PTAR Cerro de la Estrella, es en forma general el que se ilustra en la Figura 3.2.

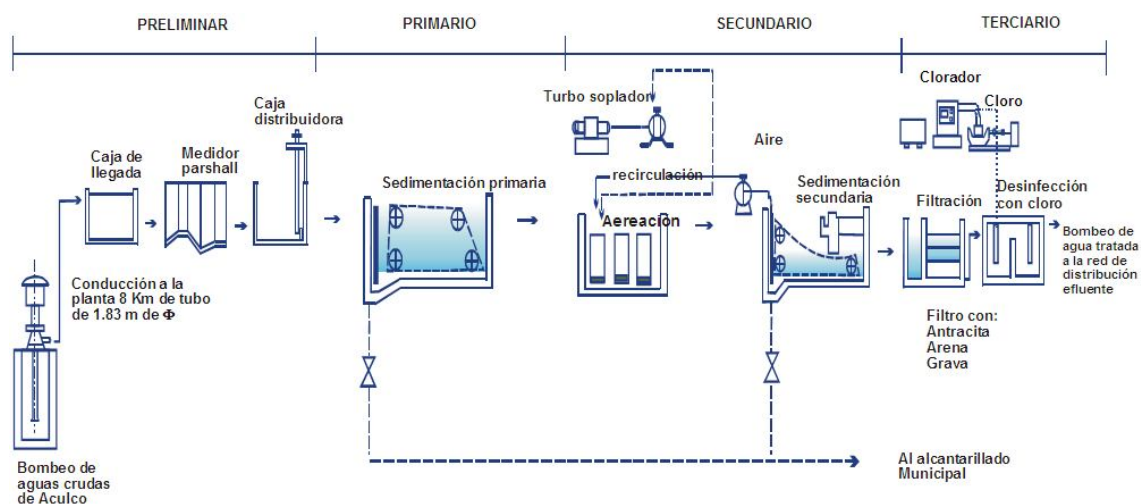


Figura 3.2 Esquema del proceso de tratamiento de la PTAR “Cerro de la Estrella”.

Una vez que las aguas residuales son tratadas, se cuenta con un ducto de drenaje de 93 km para su distribución.



En forma general este es el esquema de proceso y unidades fundamentales de los trenes de tratamiento. Ahora bien, en la Tabla 3.15, se proporcionan los resultados del análisis del efluente en época de estiaje de la planta Cerro de la Estrella realizados por el Laboratorio Tecnoambiental S.A. de C.V, los cuales fueron comparados contra los límites máximos permisibles de los parámetros establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Tabla 3.15 Resultado del análisis del efluente de la PTAR Cerro de la Estrella, Diciembre 2010.

RAZON SOCIAL:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CERRO DE LA ESTRELLA		FECHA DE ANALISIS: 2010/12/21	
GIRO:	PLANTA DE TRATAMIENTO		FECHA DE MUESTREO: 2010/12/20	
DESCARGA No.:	2	REF. INT.: FRS 03 052 A	IDENTIFICACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO: 8166	
			IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: EFLUENTE	
PARAMETROS DE CAMPO				
PARAMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	
TEMPERATURA (°C)	16.10	21.40	19.12	
pH	7.17	7.35	7.22	
CONDUCTIVIDAD microS	931.00	950.00	941.67	
GRASAS Y ACEITES mg/L			PROM. PONDERADO	< 11,00
GASTO L/s	1228.800	1474.200	1344.367	
TABLA DE RESULTADOS 2 (PARAMETROS OBLIGATORIOS)				
PARAMETROS	RESULTADO Prom Diario	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE Prom Diario	UNIDADES	METODO EMPLEADO
MATERIA FLOTANTE *	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE/PRESENTE	NMX-AA-068-SCFI-2001
SOLIDOS SEDIMENTABLES *	< 0,30	7.5	mg/L	NMX-AA-004-SCFI-2001
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES **	39.0	125.0	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
ARSENICO *	< 0,0025	0.750	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
CADMIO *	< 0,0250	0.750	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
COBRE *	< 0,0500	15.0	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO *	< 0,0005	0.015	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
NIQUEL *	< 0,1000	6.0	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO *	< 0,0500	1.5	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
ZINC *	< 0,1000	9.0	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
CIANUROS *	< 0,020	1.5	mg/L	NMX-AA-058-SCFI-2001
CROMO HEXAVALENTE *	< 0,1	0.750	mg/L	NMX-AA-044-SCFI-2001
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO **	58.9	150.0	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001

* Parámetro referido en la NOM-002SEMARNAT-1996

** Parámetro referido en la NOM-002SEMARNAT-1996 punto 4.6 (ver Tabla 2 para uso público urbano (B) NOM-001-SEMARNAT-1996.

Fuente: Laboratorio Tecnoambiental S.A. de C.V.

De acuerdo a los resultados de la Tabla 3.15, se observa que estos son muy similares a los resultados de los análisis del efluente de las 22 PTAR's que se mostraron en las Tablas 3.12 y 3.13, ya que no varían notablemente, sin embargo, hay que tomar en cuenta que no puede haber comparaciones entre los resultados, debido a que los análisis fueron realizados en años distintos, asimismo, los resultados del Laboratorio Tecnoambiental S.A. de C.V. están



expresados como PD, mientras que los de las tablas 3.12 y 3.13 están expresados como PM.

Ahora bien, si se comparan los resultados de la Tabla 3.15 contra el LMP de los parámetros que establece la NOM-002-SEMARNAT-1996, observamos que todos los parámetros sin excepción son inferiores al LMP establecido en esta norma.



3.6 Deficiencias estructurales y técnicas de las plantas de tratamiento de la Ciudad de México

Una vez que ya fue abordado el tema referente a la infraestructura existente en la Ciudad de México para el tratamiento de las aguas residuales que se generan, así como la calidad del agua residual que se recibe en las PTAR's y la calidad del agua residual del efluente de las mismas, resulta importante para el presente trabajo conocer el estado actual que guarda la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales que son generadas en la ciudad, tales como deficiencias estructurales o técnicas. Esto con la finalidad de comprender parte de las causas por las que la calidad del agua residual del efluente de ciertas PTAR's, como ya se mostró anteriormente, no cumple con la normatividad aplicable, y lo que es muy importante, poder detectar áreas de oportunidad y así mejorar la calidad del agua residual tratada que generan las PTAR's de la Ciudad de México.

En la Tabla 3.16 se muestran los resultados que fueron obtenidos tras realizar una investigación documental en diversas instituciones gubernamentales, referente al estado actual que guardan tanto infraestructura como equipos de las PTAR's ubicadas en la Ciudad de México. Lo anterior de acuerdo con información publicada en el contrato No. 0126-10-IR-DT-1-09 entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V., en Diciembre de 2009, y que tiene como título "Análisis del Estado Actual de las Plantas de Tratamiento Operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México".



Tabla 3.16 Problemas estructurales de las plantas de tratamiento de la Ciudad de México

Planta	Problema estructural
Abasolo	<ul style="list-style-type: none">• Los factores limitantes son la capacidad del reactor biológico así como la capacidad del digestor de lodos, cuyas dimensiones definen un gasto no mayor a 5 L/s, por lo que las unidades de diseño no corresponden al flujo de diseño.• El sistema para manejo y tratamiento de lodos requieren adecuaciones, ya que el espesador está colocado después del digestor, lo que impide su función principal que es la de aumentar la concentración de lodos en el digestor para disminuir el tamaño de este.
Bosques de las Lomas	<ul style="list-style-type: none">• Se requiere rehabilitar el sistema de aeración.• Problema de captación, ya que no recibe los volúmenes de agua residual que necesita para operar al 100 % de su capacidad de diseño.
Ciudad Deportiva	<p>Tren de tratamiento A</p> <ul style="list-style-type: none">• El factor limitante para el aumento del gasto con el que opera actualmente son los sedimentadores primario y secundario, ya que ambos presentan sobrecarga con el caudal de diseño. <p>Tren de tratamiento B</p> <ul style="list-style-type: none">• El sedimentador secundario es el factor limitante, debido a que presenta valores fuera del intervalo recomendado según su gasto de diseño.• Para ambas unidades es necesario rehabilitar el sistema de aeración y difusión, así como la rehabilitación de la obra civil que presenta agrietamientos.• Problema de la captación, ya que la alimentación de agua cruda es insuficiente.
Cerro de la Estrella	<ul style="list-style-type: none">• El aumento en el caudal tratado tiende a desestabilizar el proceso.• Debido a la sustitución de un sedimentador por una zona anóxica, algunos parámetros como el tiempo de retención han disminuido, lo que ha propiciado que los procesos de nitrificación y desnitrificación no se lleven a efecto totalmente.
El Rosario	<p>En el año 2009 se rehabilitó esta planta, por lo que recibió las adecuaciones necesarias para poder operar de manera lo más eficientemente posible dadas sus deficiencias estructurales intrínsecas, con lo que alcanzó un caudal de tratamiento de 16 L/s.</p>
Coyoacán	<p>Esta planta fue rehabilitada en el año 2010. Durante su rehabilitación algunas de sus deficiencias técnicas fueron corregidas para de esta manera alcanzar un caudal de tratamiento de 250 L/s, de un caudal de diseño de 400 L/s.</p>
Iztacalco	<ul style="list-style-type: none">• Su obra civil se encuentra en muy malas condiciones, por lo que es necesario rehabilitar las unidades tanto en obra civil, como en equipamiento e instalaciones.
La Lupita	<ul style="list-style-type: none">• Los sedimentadores secundarios presentan una sobrecarga, mismos que requerirían de placas inclinadas para aumentar su área superficial y así evitar el arrastre de sólidos con el efluente tratado.
Paraje el Llano	<ul style="list-style-type: none">• Debido a que su proceso de tratamiento es de patente e incluye procesos de los cuales no se tiene información, no fue posible encontrar fuentes bibliográficas que citarían deficiencias en cuanto al proceso que posee esta planta.
Parres	<ul style="list-style-type: none">• Los factores limitantes son la capacidad del reactor biológico y la capacidad del digestor de lodos, cuyas dimensiones definen un gasto no mayor a 3.5 L/s.



PEMEX-Picacho	<ul style="list-style-type: none">• El sistema para manejo de lodos no cuenta con un espesador.• Problemas de captación de aguas residuales así como en la distribución del agua tratada.
Reclusorio Sur	<ul style="list-style-type: none">• Su reactor biológico opera con una ligera sobrecarga volumétrica.• El sedimentador secundario requiere de placas inclinadas para aumentar el área superficial y evitar el arrastre de sólidos.• El sistema de lodos se encuentra actualmente fuera de servicio y no tiene la capacidad suficiente para tratar todo el lodo que se produce.
San Lorenzo Tezonco	<ul style="list-style-type: none">• Los equipos e instalaciones eléctricas se encuentran en su mayor parte fuera de servicio, solo funciona una de cuatro bombas de alimentación.• El sistema de aeración a contracorriente no funciona correctamente, asimismo, las bombas de recirculación tipo tornillo se encuentra en malas condiciones.
San Nicolas Tetelco	<ul style="list-style-type: none">• Existe sobrecarga en el reactor biológico y en el sedimentador secundario por lo que la bibliografía recomienda disminuir el flujo del influente.
San Juan de Aragón	<ul style="list-style-type: none">• Un incremento del gasto tiende a desestabilizar el proceso.• Aumentar el gasto disminuye el tiempo de retención celular y por ende los procesos de nitrificación y desnitrificación no se llevan a cabo.• Adecuar el sistema de conducción y difusión de aire ya que debido a los hundimientos diferenciales en su estructura, estas tuberías tienden a romperse ocasionando fugas de aire.• Problema de captación y conducción del agua cruda.
Tlatelolco	<ul style="list-style-type: none">• No es posible que la planta opere con un gasto mayor al que actualmente trabaja, ya que si este fuera el caso, el reactor biológico operaría con una sobrecarga.• No existe espacio físico para realizar adecuaciones o ampliaciones de la planta.
Xicalco	<ul style="list-style-type: none">• El alto contenido de carga orgánica limita la capacidad del reactor biológico y la capacidad del digestor de lodos.

Fuente: *Análisis del Estado Actual de las Plantas de Tratamiento Operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México*. No. de contrato 0126-10-IR-DT-1-09, entre el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la compañía mexicana ZEMEX. S.A. de C.V. en Diciembre de 2009.

Se pueden apreciar dada la información obtenida y antes expuesta, una serie de deficiencias que no son un caso aislado perteneciente a una única PTAR en particular, sino que son deficiencias reiterativas entre muchas de ellas.

Entre las limitantes notables en las PTAR's se encontraron las siguientes:

- a) Existen problemas de captación de agua residual en las plantas de tratamiento debido a que se carece de la infraestructura necesaria, es decir, debe de contarse con equipos o plantas de rebombeo para llevar el agua residual desde los colectores o emisores hasta las PTAR's.



b) En la mayoría de las PTAR's existe una deficiencia en cuanto a la distribución del agua residual tratada, ya que no se cuentan con suficientes redes para su distribución.

c) Hay plantas que no cuentan con el espacio suficiente para hacer obras de ampliación o acondicionamiento. Lo que indica que cuando se construyeron nunca se tuvo en mente la futura necesidad de incrementar el gasto o implementar nuevas tecnologías, en función del incremento poblacional y del número de empresas que aportarían de igual manera agua residual a las redes de drenaje, principalmente.

d) El diseño estructural en muchas plantas de tratamiento no corresponde con el gasto de diseño, lo que ocasiona que el caudal tratado esté siempre limitado al diseño estructural.

e) Un problema no menos importante que los antes mencionados es que muchas PTAR's reciben aguas residuales que sobrepasan por mucho los niveles de carga orgánica correspondiente a aguas residuales domésticas, por lo que las unidades de proceso se sobrecargan y no les es posible generara un efluente con la calidad requerida, ya que las estructuras de diseño no corresponden con la alta cantidad de materia orgánica presente en el influente.

f) Una constante que ocurre en las plantas de tratamiento de la Ciudad de México es que el mantenimiento preventivo no siempre es oportuno y/o a satisfacción, por lo que los equipos trabajan hasta que se deterioran y es hasta entonces que se envían a reparación, y en el mejor de los casos, se pone en marcha un equipo de reemplazo. En caso contrario, la unidad de proceso o el tren de tratamiento que está involucrado con dicho equipo, queda fuera de operación hasta que se haya reparado.

Es importante conocer las deficiencias estructurales que existen en las PTAR's de la Ciudad de México porque de esta manera es posible entender mejor la razón por la que el agua residual tratada no siempre en todos los casos es de



una calidad tal que normativamente cumpla con los parámetros establecidos para poder ser utilizada. A este respecto la pregunta que queda en el aire es qué medidas y acciones se deben de tomar para de esta manera mejorar la calidad actual del influente y efluente de las PTAR's localizadas en la Ciudad de México.



4. Alternativas Para el Control de la Calidad de las Aguas Residuales de la Ciudad de México

El agua se considera como un recurso estratégico, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad y calidad es tarea fundamental del Estado Mexicano y de la sociedad. Sin embargo, el sector hidráulico en México enfrenta serios problemas, entre otros, en cuanto al abastecimiento a la población de agua potable, insuficiente tratamiento de las aguas residuales que se generan, y contaminación de las fuentes de abasto de agua y del entorno, esto último debido a una inadecuada disposición de las aguas residuales. En la Ciudad de México, estos problemas se encuentran estrechamente relacionados en parte, a los graves problemas de contaminación del agua, ya que aunque existe agua disponible esta es no es de calidad para el consumo humano y otras muchas actividades en las que se utiliza o requiere. Lo anterior determina que no se pueda satisfacer la creciente demanda si se depende en gran parte del abasto de agua limpia de fuentes alejadas tal como actualmente ocurre con los sistemas Lerma y Cutzamala, y por otra parte se descuida el aspecto de reciclar el mayor volumen posible de agua tratada.

En el caso particular de la Ciudad de México, muchos cuerpos de agua en la actualidad se encuentran contaminados debido a que son receptores directos de descargas de aguas residuales sin control de contaminantes, ya sean de origen sanitario y/o descargas de empresas industriales y de servicios. Aunado a esto se cuenta con un marco legal que si bien incluye en su contenido que la regulación de las descargas residuales es de carácter obligatoria, actualmente hay un amplio incumplimiento de parte de todos los sectores de la población. Asimismo, se tiene un gran crecimiento poblacional, que representa a su vez potenciales generadores de agua residual, y una carga cada vez mayor sobre la infraestructura de abastecimiento de agua, así como un aumento en la producción de aguas residuales.



En un futuro cercano esta problemática no parece disminuir ya que se estima que habrá una tendencia en el aumento de la población en las próximas décadas, entre otras zonas y de forma importante, en la Ciudad de México.

Por otra parte, debido a que el panorama actual y futuro no parece muy alentador en cuanto a disponibilidad de agua con la calidad requerida para su uso o consumo, es que el aprovechamiento de las aguas residuales, previamente tratadas, que se generan en la ciudad, se vislumbra como un recurso valioso para lograr un desarrollo sustentable¹ de la ciudad, permitiendo con esto de igual manera la prevención de la contaminación ambiental, del agua y la protección de la salud pública.

Asimismo, es necesario que la población adquiera sólida conciencia del problema de abasto de agua que aqueja a la Ciudad de México, ya que si el SACM cobrara el costo real de \$23 que le representa llevar un m³ de agua potable a los hogares desde fuentes lejanas, como lo es el Sistema Cutzamala y Lerma, seguramente la población haría un uso más eficiente y/o conciente del recurso, sin embargo, con a política de subsidio del agua potable lo único que se ha conseguido hasta ahora es fomentar tanto el sobreconsumo como la sobreexplotación del recurso hídrico.

De esta forma, las alternativas propuestas en la presente tesis para mejorar el control de la calidad de las aguas residuales que se generan en la Ciudad de México, son las que a continuación se mencionan.

¹ "Desarrollo sustentable": En materia de recursos hídricos, es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se fundamenta en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras. Art. 3, fracción XXI, Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 20 de Junio de 2011.



4.1 Programa de mantenimiento a las plantas de tratamiento de la Ciudad de México

Debido al deterioro actual en el que se encuentran la mayoría de las PTAR's que proporcionan este servicio público en la Ciudad de México, y cuya situación se citó en el inciso 3.5 del presente trabajo, resulta indispensable verificar que en cada una de las PTAR's no solo se cuente con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos e instalaciones, sino sobretodo verificar su cumplimiento de forma estricta y oportuna.

Este tipo de acciones tienen diversos aspectos positivos como son: mejorar la conservación de equipos, aumento de la confiabilidad operativa, disminución de paros imprevistos de unidades, disminución de costos y horas extra de trabajo e incremento en la calidad del agua residual del efluente producido, debido a su vez, a un funcionamiento mas eficiente de los equipos y del sistema de tratamiento.

Como se mencionó en el punto 3.6 del presente trabajo, un gran número de PTAR's en la Ciudad de México presentan deficiencias operacionales, lo que se refleja en una baja calidad de los efluentes, esto debido a varias circunstancias, como son: un mal diseño estructural y carencia de mantenimiento preventivo a infraestructura y equipos. Lo anterior trae como consecuencia que la infraestructura actual de las PTAR's, así como sus procesos de tratamiento se hayan vuelto ineficientes para recibir un mayor flujo en sus influentes, y ya ni mencionar trabajar con un gasto igual al de su capacidad de diseño.

A este respecto, el programa de mantenimiento que se elaboré y/o reorganice, debe verse como una sistematización conjunta de actividades y estrategias encaminadas a la prevención de daños o fallas operativas en las instalaciones de las PTAR's y debe verificarse su estricto cumplimiento.



A continuación se citan algunos aspectos a considerarse al elaborar un programa de mantenimiento preventivo para equipos e instalaciones de las PTAR's, teniendo presente que se pueden adecuar y modificar de acuerdo a las necesidades que cada una de ellas requiera. Entre estos aspectos destacan los siguientes:

- a) Considerar la revisión de: agitadores, la obra civil del drenaje de entrada y salida, instrumentación, revisión de canales Parshall, entre otros equipos, así como de la obra civil de las plantas de tratamiento.
- b) Para la elaboración del programa de mantenimiento de tipo preventivo se debe tomar en cuenta, por ejemplo, como primer aspecto fundamental, el registro de los equipos actuales, realizando un inventario de todos los equipos, agrupándolos por secciones, codificarlos y clasificarlos de acuerdo con la criticidad del equipo.
- c) Se debe contar con la descripción de las actividades de mantenimiento que se deben realizar con cada equipo, así como la periodicidad con que se deben realizar dichas actividades.
- d) Se requiere además elaborar fichas de trabajo, las cuales deben de servir para controlar, solicitar y/o reportar las actividades que se van a llevar a cabo, fichas que podrían incluir:
 - Órdenes de trabajo. En estas órdenes se especifican los cambios o reparaciones que se deben realizar a equipo o infraestructura, y estas pueden ser: órdenes de trabajo urgentes, de rutina o no prioritarias.
 - Solicitud de repuestos y materiales. Estas solicitudes como su nombre lo indica, sirven para proveer los materiales y repuestos al personal de mantenimiento, para solicitarse de forma anticipada o programada al almacén.
 - Reporte semanal de mantenimiento. Esta ficha de trabajo sirve para registrar los servicios que han sido realizados semanalmente, con la



finalidad de llevar un mejor control de los trabajos de prevención, así como de los costos erogados.

- Historial del equipo. En esta ficha se pueden registrar datos como: fecha, turno, servicios y reposiciones de piezas realizadas, así como los materiales usados y el personal que realizó dicha actividad.

Es conveniente que se cuente con un manual de mantenimiento, o en su caso, se actualice, el cual sea redactado a partir de los manuales de los equipos, de información técnica de proveedores, fabricantes y expertos técnicos, para su elaboración también se puede recurrir a información que proporcione el personal de mayor experiencia en las PTAR's. Dicho programa debe contener las instrucciones organizadas e indicar el procedimiento adecuado para la realización del mantenimiento de los equipos.

Con estos manuales se busca dar orientación al personal de mantenimiento para que se mejore la calidad en la realización de estas actividades, esto último muy determinante en el funcionamiento de las PTAR's.

En síntesis, un programa de mantenimiento preventivo, ya sea de equipo mecánico, eléctrico, de obra civil o de instrumentación y control, debe estar bien estructurado y de forma importante mencionar que se debe de llevar a cabo en las fechas compromiso que se estipulan en dicho programa.

Sin embargo, el inadecuado mantenimiento tanto preventivo como correctivo no es el único problema que enfrentan actualmente las plantas de tratamiento de aguas residuales que prestan servicio público en la Ciudad de México.

Debido a las condiciones actuales que se identificaron en la mayoría de las PTAR's en relación a las deficiencias estructurales y operacionales, el mantenimiento debe incluir primeramente la rehabilitación de la infraestructura de las plantas de tratamiento. A este respecto, el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México a largo plazo (2011-2030), programa presentado por la CNA al Poder Ejecutivo en el año de 2007, y aprobado por este último, estableció entre sus objetivos principales:



- Contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales moderno y eficiente que cumpla con las normas oficiales y que garantice la producción de agua tratada tanto en cantidad como en calidad para su reúso en las actividades que se requiera.

Para lo cual se estableció un programa de inversiones para la rehabilitación de las PTAR's ubicadas en la Ciudad de México, el cual está dividido en dos periodos, del año 2011 al 2020 y del año 2021 al 2030. En dicho programa también se asignan recursos para incrementar la red de agua tratada así como la recarga de acuíferos, en donde a esta última meta se le asigna la mayor inversión económica (ver Tabla 4.1 y 4.2).

Tabla 4.1 Inversión para tratamiento y reúso en periodo 2011-2020.

Meta estratégica	Inversión mdp
Plantas de tratamiento de agua residual	1734
Red de agua tratada	168
Recarga al acuífero (pago por m3)	888
Total del programa	2790

Fuente: Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México. CNA. 2007
(mdp): millones de pesos

Tabla 4.2 Inversión para tratamiento y reúso en periodo 2021-2030.

Meta estratégica	Inversión mdp
Plantas de tratamiento de agua residual	585
Red de agua tratada	18
Recarga al acuífero (pago por m3)	4418
Total del programa	5021

Fuente: Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México. CNA. 2007
(mdp): millones de pesos

En relación con la rehabilitación de la infraestructura de las PTAR's ubicadas en la Ciudad de México, el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, solo considera la rehabilitación de 14 de las 28 PTAR's que se localizan en la ciudad, entre las que se encuentran: la PTAR Cerro de la Estrella, Chapultepec, El Rosario, Bosque de las Lomas, La Lupita, Abasolo y Reclusorio Sur, entre otras, las cuales se enlistan en la Tabla 4.3.



Específicamente, la rehabilitación se realizará en las PTAR's que cuentan con la mayor capacidad de diseño, así como en aquellas que su capacidad actual de tratamiento esté por debajo del 60 % de su capacidad de diseño.

El programa de rehabilitación prevé incrementar la capacidad de tratamiento que en conjunto tienen las 14 PTAR's seleccionadas, al pasar de 2,843 a 6,300 L/s, tal y como se muestra en la Tabla 4.3, lo que representa que se trate un volumen equivalente al 93.20 % del caudal de diseño que en conjunto tienen las 28 PTAR's de la Ciudad de México, que es de 6,760 L/s.

Tabla 4.3 Meta de agua residual tratada en la Ciudad de México, 2011 a 2030.

PTAR - Proceso terminal	Capacidad actual L/s	Capacidad meta L/s
Abasolo - Secundario	7	30
Chapultepec - Secundario	80	200
Bosque de las Lomas - Secundario	18	55
El Rosario - Terciario	15	25
El Llano - Terciario	80	250
Cerro de la Estrella - Terciario	2200	3900
La Lupita - Secundario	11	22
Pemex - Picacho - Secundario	10	26
Reclusorio Sur - Secundario	250	500
San Nicolás Tetelco - Secundario	18	30
San Lorenzo Tezonco - Terciario	10	30
San Luis Tlaxialtemalco - Terciario	65	225
Tlatelolco - Secundario	75	1000
Xicalco - Secundario	4	7
Total del programa	2843	6300

Fuente: Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México. CNA. 2007.

Con la propuesta que se realiza en el presente trabajo en cuanto a la elaboración y actualización de programas de mantenimiento preventivo y correctivo de las PTAR's que dan servicio público en la Ciudad de México, así como rehabilitación de las mismas, se espera obtener diversos beneficios, entre los que se encuentran los siguientes:

- Mejorar la conservación y rendimiento de los equipos.
- Disminución de la incidencia de averías.



-
- Disminución de paralizaciones imprevistas.
 - Al trabajar más eficientemente los equipos se obtiene una mejora en la calidad de las aguas residuales tratadas.
 - Un aumento en la capacidad de tratamiento de las PTAR's.
 - Reducción de horas extra de trabajo.

Es importante mencionar que el cumplimiento de las metas o logros establecidos dependerá en gran medida de la colaboración que exista entre los operarios y responsables de las PTAR's para poner en marcha y verificar el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo existentes, así como actualizarlos de acuerdo a las necesidades que se tengan en cada planta de tratamiento.



4.2 Regularización de las descargas de agua residual generadas por micro, pequeñas y medianas empresas

Las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas que existen en México ejercen una influencia determinante en el entorno ambiental del país, no solo debido a la gran cantidad de recursos naturales que toman de la naturaleza para efectuar sus diferentes actividades productivas, sino también por el volumen y calidad de sus descargas residuales y residuos que generan.

A este respecto, cabe mencionar que actualmente las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) son las unidades económicas que se encuentran más rezagadas en cuanto a cumplimiento ambiental, observándose que en forma general la mayor proporción de estas no están sujetas a cumplimiento ambiental alguno.

Así por ejemplo, en el caso particular de la Ciudad de México, la forma de regular a las fuentes fijas acerca del cumplimiento a sus obligaciones ambientales tal cual se establece en la Ley Ambiental del Distrito, es actualmente a través de la Licencia Ambiental Única del Distrito Federal (LAUDF), la cual es un trámite de carácter obligatorio para los establecimientos industriales, comerciales, de servicios o espectáculos ubicados en el Distrito Federal que emitan o puedan emitir olores, gases, partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, que viertan descargas de aguas residuales a los cuerpos de aguas y a los sistemas de drenaje y alcantarillado, generen residuos sólidos, emitan ruido y vibraciones. Y concreta en un solo trámite gratuito la siguiente información:

- Registro de Fuente Fija
- Licencia Local de Funcionamiento
- Permiso de Descarga de Agua Residual
- Cédula de Operación Anual
- Registro de Bitácora de Operación
- Estudios de Emisiones a la Atmósfera



- Análisis de Agua Residual
- Registro de Emisiones
- Transferencia de Contaminantes
- Autorización como generador de residuos no peligrosos

Sin embargo, a partir del 20 de febrero de 2006 fue publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal un listado que agrupa a los establecimientos que por su capacidad y actividad no se encuentran sujetos a tramitar la LAUDF, entre dichos establecimientos destacan las micro empresas en su totalidad y algunas pequeñas y medianas empresas del sector comercial y de servicios. Dicha publicación es actualizada generalmente cada año y su última actualización corresponde al 3 de abril de 2012.

Asimismo, de manera específica respecto al control de descargas contaminantes por parte de las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, es importante señalar que entre el 70 % y 80 % de las grandes empresas llevan a cabo un control de la calidad de sus descargas de aguas residuales, mientras que el 20 % de las pequeñas y medianas empresas lo hacen (Dasgupta, Hettigey Wheeler, 2000).

Es importante señalar que una de las diferencias fundamentales que existen entre las micro y pequeñas empresas en comparación con las medianas y grandes empresas en relación a su comportamiento ambiental, se basa en que las primeras cuentan con una baja capacidad económica, lo que hace que en ocasiones parte de sus utilidades se dirijan a cubrir las necesidades inmediatas, relacionadas generalmente con su economía tal como efectuar el pago de su nómina, solventar los costos de producción y de otros costos fijos, por lo que la inversión en la protección ambiental no se considera en general como prioridad principal. Mientras que en el caso de las grandes y medianas empresas al obtener mayores ingresos económicos, y ya sea por conciencia ambiental y/o por beneficios específicos que puedan obtener, por ejemplo beneficios fiscales, dan relativamente mayor cumplimiento a sus obligaciones ambientales.



Es así que dado el panorama actual respecto al escaso control de las descargas residuales por parte de MIPYMES, así como el hecho de que en el año 2011 en la Ciudad de México, las micro, pequeñas y medianas empresas representaron el 96 %, 3.1 % y 0.7 % del total de unidades económicas respectivamente, es que resalta la importancia del control de las descargas residuales por parte de las MIPYMES.

De tal manera que en esta propuesta para control de la calidad de las aguas residuales que se generan en la Ciudad de México, se plantea que exista en esta ciudad un programa de regularización de las descargas residuales generadas por las MIPYMES dedicadas a las actividades económicas que más contaminan.

Dicha regularización de las descargas residuales se fundamentada en la premisa de que debe existir un comportamiento empresarial socialmente responsable, teniendo un conocimiento y cumplimiento de la normatividad ambiental.

Por lo que respecta al sector comercial y de servicios, salvo algunas excepciones, normalmente las descargas residuales de estas actividades no tienen un impacto significativo al ambiente, sin embargo, entre las actividades comerciales y de servicios de especial interés dado el tipo de contaminantes presentes en sus descargas se encuentran principalmente: talleres mecánicos, lavados de autos, hospitales, clínicas y restaurantes.

Por otra parte, dentro de las actividades pertenecientes al sector manufacturero que requieren mayor atención debido al tipo de contaminantes, algunos de estos de tipo tóxico, que aportan en sus descargas residuales, se encuentran las empresas dedicadas a curtiduría, industria textil (tintura y acabados), galvanoplastia, empresas metalmecánicas y procesamiento de alimentos, principalmente².

² KENT, L. 1991. The relationship between small enterprises and environmental degradation in the developing world (with emphasis on Asia). Washington, DC: Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos.



Estos sectores industriales contribuyen al deterioro ambiental principalmente de la siguiente manera:

- Las pequeñas curtiembres de cuero descargan cantidades significativas de cromo que representan una amenaza para las aguas subterráneas destinadas al consumo humano.
- La tintura y acabados textiles generan aguas residuales altamente contaminadas con colorantes principalmente.
- Las fábricas de galvanoplastia producen descargas con alto contenido de metales pesados.
- Las industrias de procesamiento de alimentos generan grandes cantidades de residuos con un alta Demanda Biológica de Oxígeno.

Ahora que ya se han identificado cuales son las actividades económicas dentro de la Ciudad de México cuyas descargas residuales resultan más contaminantes para el entorno, la elaboración y puesta en marcha del programa de regularización ambiental que incluya entre otros aspectos las descargas de agua residual de las unidades económicas dedicadas a estas actividades económicas, será responsabilidad de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal y de la PROFEPA. Esta última, con fundamento en su competencia de dar observancia al cumplimiento de las normas oficiales mexicanas y demás normativa en materia de medio ambiente y recursos naturales, así como de diseñar programas de regulación tanto voluntaria como obligatoria con industrias, comercios y establecimientos de servicios.

Dicho programa es fundamental que comprenda de visitas de campo a las MIPYMES antes señaladas. Estas visitas en primera instancia serán solo de inspección para la detección de irregularidades, de tal forma que las MIPYMES estén informadas de los incumplimientos que en materia específica de descargas de aguas residuales están incurriendo. En el caso de que las MIPYMES incurran en irregularidades, estas deberán elaborar un plan de acciones correctivas para brindar solución de carácter efectivo a las irregularidades que les fueron detectadas. De tal manera que en una segunda visita de campo se dará seguimiento al plan de acciones correctivas aplicadas



por las MIPYMES, y en el caso de que se detecten nuevamente irregularidades en las descargas residuales, se procederá a la imposición de las sanciones administrativas normativamente aplicables.

Es importante mencionar que a través del programa para el cumplimiento de la regulación en materia de descargas residuales, se espera primeramente, que las empresas tomen consciencia de la normatividad ambiental que existe, y que por ley deben de cumplir, así como generar una consciencia de responsabilidad ambiental y social, en la que los empresarios asuman la responsabilidad de sus productos y servicios, no sólo como un bien comercializable, sino en todas las etapas, haciéndose responsables de sus descargas de aguas residuales, y en general de sus aportes contaminantes.

Asimismo, en busca de fortalecer el programa de regularización ambiental, con el paso del tiempo se buscaría crear programas de financiamiento para las MIPYMES, con el objeto de que estas inviertan y pongan en marcha programas que impulsen la prevención de la contaminación a través del equipamiento y modernización de sus procesos.

El hecho de que se proponga el desarrollo de un programa de regularización de descargas residuales contaminantes que esté enfocado en empresas tanto del sector manufacturero, de comercio o de servicios, cuya actividad económica genere descargas que resulten comparativamente más perjudiciales al medio ambiente o entorno por el tipo de contaminantes presentes en estas, busca reducir principalmente la cantidad de contaminantes tales como: grasas y aceites, DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sulfuros, sulfatos y metales pesados como zinc, níquel, cobre, cadmio y cromo hexavalente, entre otros, que a través de las descargas residuales, este tipo de MIPYMES incorporan al sistema de alcantarillado de la Ciudad de México.

Debido a que las descargas residuales de las MIPYMES se efectúan directamente a la red de drenaje de la Ciudad de México, la reducción de los contaminantes antes mencionados, primeramente traerá consigo diversos beneficios a las estructuras hidráulicas encargadas de gestionar las descargas



residuales, específicamente al sistema de alcantarillado y al funcionamiento y estructura civil de las PTAR's. Entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Grasas y aceites. La reducción en el volumen de grasas y aceites que son dispuestos en el sistema de drenaje, principalmente por talleres mecánicos, restaurantes y lavados de autos, evitaría obstrucciones y taponamientos del sistema de drenaje, ya que con el paso del tiempo y el arreste constante de grasa y aceite, estos se adhieren a las paredes del sistema de alcantarillado, lo que en consecuencia aumenta la presión del flujo de las aguas residuales y genera derrames de aguas residuales en las calles.
- Sulfatos y sulfuros. Debido a que los sulfatos y sulfuros provenientes de los procesos de curtiembres, producen ataque químico a las construcciones de cemento con contenido de aluminato de calcio y de ferroaluminato tetracálcico. Con una reducción de estos contaminantes se esperaría una disminución en el deterioro de los materiales de concreto o cemento que forman parte del sistema de alcantarillado y de las PTAR's. Asimismo, se esperaría una disminución en la corrosión de las tuberías debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno.
- Tensoactivos. Dentro de los compuestos contaminantes provenientes de la industria textil se encuentran los tensoactivos. Contaminantes que generalmente ocasionan fallas en los digestores, ya que modifican la absorción del oxígeno del aire. En sistemas de aireación por difusión esto representa una reducción de 20% en la eficiencia de transferencia de oxígeno. Otro problema evidente aunado a los tensoactivos es la formación de espuma, lo que dentro de los reactores biológicos puede provocar que los lodos biológico floten y exista pérdida del mismo, desbalanceando con esto la relación alimento/microorganismos (F/M). De tal manera que con la reducción de los tensoactivos en los influentes de las plantas de tratamiento se disminuirían estos problemas operacionales en las PTAR's de la ciudad.



- DBO₅ y DQO. Una reducción de carga orgánica en forma de DBO₅ y DQO en las aguas residuales provenientes principalmente de los procesos de curtiembres, industria textil y de alimentos, permitiría que en las PTAR's se disminuyera el tiempo de residencia hidráulica en los sedimentadores y reactores biológicos, esto debido a que el tiempo de residencia depende, entre otros factores, de la cantidad de materia orgánica que se encuentra disuelta. Lo que representaría un menor tiempo de agitación y/o potencia de aeración requerida, y por ende un menor consumo de energía eléctrica.

En la actualidad, la regulación de la calidad de las descargas residuales de las empresas industriales, comerciales y de servicios es realizada por la PROFEPA y la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, en función de su atribución de Inspeccionar y vigilar las industrias química, del petróleo, de pintura, automotriz, de celulosa, metalúrgica, de vidrio, de generación de energía, y cementera, todas estas en el caso de atribución federal, así como Inspeccionar industrias de jurisdicción local.

La PROFEPA realiza lo anterior, por ejemplo, a través de la inspección y vigilancia, y las auditorías ambientales voluntarias. La primera consta de visitas de inspección a las empresas, con el objeto de vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales relacionadas con la prevención y el control de la contaminación ambiental generada por los establecimientos. Mientras que las auditorías ambientales son el instrumento voluntario mas importante para garantizar un buen desempeño ambiental de las organizaciones, ofreciendo a las empresas la oportunidad de mejorar sus operaciones y procesos productivos, mediante la revisión de los mismos por parte de un auditor ambiental acreditado e independiente, permitiendo con esto la identificación de oportunidades de mejora, las cuales una vez atendidas son reconocidas mediante un certificado.

En el caso de la inspección y vigilancia, esta se ha realizado de manera prioritaria en las empresas con mayores impactos al ambiente, negativos, o que presenten riesgos significativos al ambiente, así como en aquellas en atención



a una denuncia ciudadana, es así que la participación social también juega un rol importante.

Es importante mencionar que una inspección por parte de la PROFEPA incluye por lo general una asignación de una multa económica en caso de incumplimiento, además de que en un plazo de tiempo se debe dar cumplimiento al aspecto incumplido. Sin embargo, dentro de los beneficios que se obtienen al realizarse estas visitas de inspección es que se da respuesta inmediata a un probable riesgo ambiental.

Por su parte las auditorías ambientales son un medio de cumplimiento voluntario de la ley y consiste en el examen metodológico del proceso productivo de una industria respecto de la contaminación y el riesgo que generan, así como el grado de cumplimiento de la normatividad ambiental y de los parámetros internacionales y de buenas prácticas de operación e ingeniería aplicables, con el objeto de definir las medidas preventivas y correctivas necesarias para proteger el medio ambiente³. Sin embargo, hay que señalar, que el incumplimiento ambiental del plan de acción que se establezca, ocasiona por lo general que la empresa sea desincorporada del Programa Nacional de Auditoría Ambiental de carácter voluntario.

Dentro de los aspectos ambientales que incluye la legislación ambiental mexicana y que son evaluados durante las auditorías ambientales son:

- Aire y ruido
- Agua
- Suelo y subsuelo
- Residuos
- Energía
- Recursos naturales
- Vida silvestre

³ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 30 de Agosto de 2011.



-
- Recursos forestales
 - Riesgo ambiental
 - Gestión ambiental
 - Emergencias ambientales

Y de los cuales, en el caso específico del agua, los rubros que son evaluados durante una auditoría ambiental se encuentran, entre otros aspectos, el abastecimiento de agua potable y manejo de las descargas residuales.

Es así que las auditorías ambientales voluntarias sirven como un instrumento de carácter preventivo y correctivo para las empresas, con la finalidad de que los sectores industriales, de servicio y de comercio ajusten sus actividades productivas a las disposiciones vigentes en materia ambiental.



4.3 Construcción de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México

La rehabilitación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de servicio público en la Ciudad de México no son las únicas alternativas viables para mejorar la calidad e incrementar el volumen de aguas residuales que se generan en esta ciudad, ya que el porcentaje de agua residual que podría ser tratada aún funcionando al 100 % de su capacidad de diseño las 28 PTAR's actualmente existentes, equivaldría a tratar el 22 % del agua residual que se genera en la ciudad.

Es así que de manera adicional a la aplicación oportuna de mantenimiento preventivo y correctivo, así como rehabilitación de las plantas de tratamiento existentes, se requiere que exista mayor infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales que actualmente son generadas, así como para dar respuesta al incremento en el volumen de aguas residuales que se espera ocurra en los próximos años. Para esto se debe considerar que las empresas industriales, comerciales o de servicios ubicadas en la ciudad que aporten grandes volúmenes de descargas residuales con elevada carga contaminante y de contaminantes específicos, cuenten con su planta de tratamiento o un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita aportar sus descargas residuales a la red de drenaje urbano o a los cuerpos receptores de agua con la mejor calidad posible.

Tratar el mayor volumen posible de las aguas residuales generadas en la Ciudad de México, es una medida necesaria que se debe de llevar a cabo con la finalidad de generar agua residual tratada de calidad tal, que por ejemplo, pueda ser infiltrada al subsuelo para reestablecer el ciclo hídrico, así como para emplearla en actividades en las que no se requiere la utilización de agua potable. Estas acciones permitirían disminuir el volumen de agua que es extraída de los mantos acuíferos, y a su vez, aumentar el volumen de recarga de los mismos. Asimismo, hay que señalar que un mayor volumen de aguas residuales tratadas permitiría reducir los problemas de salud de miles de personas, asociados a la utilización de las aguas residuales sin tratar



provenientes de todo el Valle de México para el riego de cultivos, esto principalmente en distintas zonas agrícolas del Estado de México y Estado de Hidalgo.

Se espera que las acciones que se lleven a cabo para incrementar el porcentaje de agua residual tratada, sean alternativas económica, social y ambientalmente sustentables, y que aseguren que el agua residual tratada cumplirá con los requerimientos de calidad que la normatividad y su uso demanden.

Por otra parte, en base a lo anterior, el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México plantea dentro de sus objetivos primordiales el tratamiento del 100 % de las aguas residuales que se generan en el Valle de México, para lo cual se estableció la construcción de cuatro plantas de tratamiento en la Ciudad de México; Presas del Poniente de la Ciudad, Deportivo Reynosa, Indeco-Guelatao y Santa Catarina, que en conjunto tendrán una capacidad total de 1,375 L/s y una inversión económica de 680 millones de pesos (ver Tabla 4.4). Así como también la construcción de cuatro plantas de tratamiento más en la zona conurbada de la Ciudad de México; Atotonilco, Caracol, Zumpango y Nextlalpan, con una capacidad total en conjunto de 33,500 L/s (Ver Tabla 4.5).

Tabla 4.4 Nuevas PTAR's en la Ciudad de México.

PTAR	Uso	Capacidad L/s	Inversión mdp
Presas del Poniente de la Ciudad	Recarga de acuífero	1000	350
Deportivo Reynosa	Uso industrial	100	80
Indeco-Guelatao	Riego de áreas verdes	200	180
Santa Catarina	Riego agrícola	75	70

Fuente: Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle del Valle de México. CNA. 2007.



Tabla 4.5 Nuevas PTAR's en la ZMVM.

PTAR	Año inicio de operación	Capacidad L/s
Atotonilco	2012	23000
Caracol	2015	2000
Zumpango	2019	1500
Nextlalpan	2024	7000
Total del programa		33500

Fuente: Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México. CNA.2007.

Como se puede observar, la PTAR Atotonilco es la obra hidráulica de mayor capacidad que se planea construir dentro del Valle de México, y por sus dimensiones será la mayor del territorio nacional y también a nivel internacional, convirtiéndose en la obra hidráulica más importante para el tratamiento de aguas residuales dentro del Valle de México.

Su construcción se hará en un terreno de 160 hectáreas donado por el gobierno del estado de Hidalgo en el ejido Conejos del municipio de Atotonilco de Tula. Tratará las aguas residuales provenientes de la descarga de la zona poniente del Valle de México a través del Emisor Central, y cuando se concluya su construcción también lo será del Túnel Emisor Oriente. El agua tratada tendrá dos destinos: el canal Salto-Tlamaco que se destinará para riego agrícola, y el río El Salto, de donde se derivan algunos canales de riego y descarga hacia la presa Endhó (ver Fig. 4.1).

De acuerdo al citado Programa de Sustentabilidad Hídrica, el tratamiento de las aguas residuales se hará mediante dos trenes de tratamiento, el primero es un tren de procesos convencionales que tendrá una capacidad nominal de 23 m³/s para época de estiaje, mientras que el segundo tren será de procesos químicos y tendrá una capacidad nominal adicional de 12 m³/s, el cual que se pondrá en funcionamiento en época de lluvia. El sistema de tratamiento tendrá un caudal promedio de 33 m³/s, y su operación se basará en gran parte, en la eliminación de patógenos, conservación de la mayor cantidad de nutrientes y cumplimiento de la normatividad aplicable.



El proceso de tratamiento se hará mediante cuatro etapas:

- a) Separación de basura
- b) Transformación de contaminantes
- c) Eliminación de lodos y
- d) Desinfección del agua

Primeramente, se retirará la basura del agua mediante rejillas que separan los desechos sólidos de gran tamaño. Posteriormente, se inyectará oxígeno al agua para que bacterias y otros microorganismos transformen los contaminantes en materiales inofensivos (agua y dióxido de carbono) y en nuevas células biológicas que más adelante serán removidas en forma de lodos, finalmente pasará por un proceso de desinfección mediante cloración.

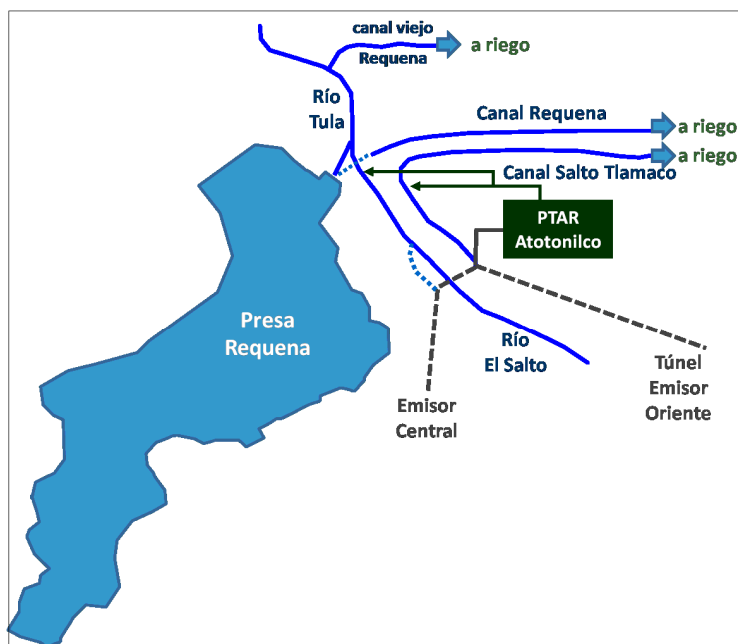


Figura 4.1 Croquis de localización de la PTAR Atotonilco.

Fuente: Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle del Valle de México. Planta Atotonilco. CNA, 2007.

Los servicios adicionales que proporcionará esta PTAR serán el tratamiento y disposición de lodos y biosólidos que se generen en la planta, así como la construcción de una planta de cogeneración que permitirá generar energía eléctrica para consumo de la planta a través del metano producido.



La PTAR de Atotonilco tendrá un costo aproximado de 10 mil 22 millones de pesos, de los cuales el 45.9 % será aportado por el Fondo Nacional de Infraestructura (Fonadin) y el restante 54.1 % provendrá de iniciativa privada y se construirá en un lapso de tres años y ocho meses.

Entre los beneficios más importantes que se esperan con la construcción de la PTAR Atotonilco son:

- Incrementar el volumen de agua residual tratada que proviene del Valle de México. Lo anterior tomando en cuenta que se tratará el 58 % del agua residual que se genera en el Valle de México.
- La construcción de la PTAR Atotonilco permitirá cumplir en su momento con los requerimientos de la actual NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997, con respecto al nivel máximo permisible de contaminantes que se vierten en ríos y lagos nacionales, así como para uso en riego agrícola, respectivamente. Mejorando con esto la calidad de los ríos y lagos de la región XIII, Aguas del Valle de México.
- El riego con aguas tratadas de 88 mil hectáreas de zonas agrícolas y tener la posibilidad de sembrar productos hasta ahora restringidos y con mayor valor agregado.
- Mejorar las condiciones sanitarias de 300 mil personas que están directamente relacionadas con la actividad agrícola.

El volumen de aguas residuales que se espera tratar a través de la construcción de las ocho plantas de tratamiento y la rehabilitación de 14 plantas más localizadas en la Ciudad de México, tal y como lo establece el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México 2011-2030, es de 41,175 L/s, flujo que si se adiciona a los aproximadamente 4,000 L/s de aguas residuales que se tratan en las PTAR's de los municipios del Estado de México pertenecientes al Valle de México, da un volumen total de 45,175 L/s de aguas residuales. Si se compara esta cantidad contra los 1,255.80 hm³/año, es decir, 39,82 L/s de aguas residuales generadas en el Valle de México en la actualidad, significa que para el año 2030 se tratará el 100 % de las aguas residuales que se generan no solo en la Ciudad de México,



sino en todo el Valle de México. Sin embargo, se espera que en los próximos años se incremente el volumen de agua residual generada principalmente en los municipios conurbados de la Ciudad de México, lo que significa que para el año 2030 las acciones que plantea el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México serán insuficientes para tratar el volumen total de aguas residuales que se generarán en el Valle de México.

Aunado a la construcción de infraestructura que se está realizando actualmente para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Ciudad de México, y que planea terminarse en un lapso no mayor a 20 años, vale la pena hacer mención a la construcción que se está llevando a cabo del Túnel Emisor Oriente, el cual es un proyecto que al igual que la construcción de las nuevas PTAR's, forma parte del Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México, y que tiene como principal objetivo reducir el riesgo de inundaciones en todo el Valle de México, así como lograr un manejo más eficiente de las aguas residuales que se generan.



4.4 Captación y reciclaje de agua de lluvia

En la Ciudad de México, la mayor parte del agua pluvial tiene como destino final el sistema de alcantarillado, a excepción de la que logra infiltrarse en las áreas verdes de la ciudad y áreas de recarga natural. De manera que no solo no se aprovecha la mayor parte del agua pluvial, sino que además se contamina al ser mezclada con las aguas residuales que se conducen a través de la red de drenaje.

El desaprovechamiento y contaminación de las aguas pluviales es una situación que se ha repetido constantemente durante las últimas décadas en la Ciudad de México, debido principalmente a la falta de infraestructura para la captación y/o recolección de las mismas. Esta situación ha contribuido a la generación de grandes volúmenes de aguas residuales, mismas que son conducidas por la red de drenaje, y que parte son enviadas a las PTAR's, lo que significa que se ha requerido cada vez mayor infraestructura para la captación, desalojo y tratamiento de las mismas.

A través de la captación y aprovechamiento del agua pluvial, la Ciudad de México podría resolver parte de su problemática de abastecimiento de agua potable, por ejemplo, a través de la infiltración de agua pluvial en el manto freático para recarga del mismo, o su utilización en actividades que no requieran agua de calidad de agua potable, como son: riego de áreas verdes y zonas agrícolas, o uso en servicios diversos, entre otras actividades, y así a su vez, aprovechar el agua potable en actividades que la requieran.

Del total del agua pluvial que escurre en la Ciudad de México, el 58.6 % se evapotranspira y regresa a la atmósfera, 19.9 % se infiltra a los acuíferos, y el 21.5 % se pierde en el drenaje (UAM, 2005). Aun si se pudiera captar el 21.5 % del agua pluvial que se pierde en el drenaje, este volumen no alcanzaría para cubrir los requerimientos de agua potable de la Ciudad de México, el cual actualmente asciende a 32 m³/s con un déficit aproximado de 3 m³/s.



Resulta importante mencionar que el promedio anual de precipitación pluvial en la Ciudad de México es alrededor de 750 mm, en donde un mm de lluvia equivale a un litro de agua por metro cuadrado, lo que significa que dada la superficie territorial de la ciudad, la precipitación media anual es de 1,114.12 hm³. De este volumen total, el 21.5 % del agua pluvial que termina en el alcantarillado corresponde a 239.54 hm³ anuales, lo que equivale a 7.59 m³/s, es decir 7,590 L/s. Volumen que si se compara contra los 35 m³/s que son los requerimientos actuales de agua potable de la Ciudad de México representa el 21.68 %, es decir, una quinta parte de los requerimientos de agua potable de la ciudad. Ahora bien, si se compara dicho volumen contra los 3,430 L/s de aguas residuales que son tratadas en las plantas de tratamiento de la ciudad, se puede observar que el agua pluvial que se pierde en el drenaje es 221.28 % mayor a la capacidad actual de tratamiento de las PTAR's de la ciudad.

Si se toman en cuenta las cifras anteriormente citadas, se podría considerar que la captación y reciclaje de agua de lluvia dentro de la Ciudad de México sea una alternativa técnica viable para: a) disminuir el excesivo volumen de aguas residuales que terminan en el drenaje y que requieren tratamiento, b) atender y subsanar parte de la problemática de desabasto de agua que aqueja a la Ciudad de México, c) disminuir el excesivo volumen de agua que es extraída de los mantos acuíferos, no solo de la Ciudad de México, sino de todo el Valle de México.

Aunado a lo anterior, se puede considerar el uso del agua pluvial para inducir natural o artificialmente la recarga de los mantos freáticos, y con esto disminuir el desequilibrio existente entre los volúmenes de extracción de agua potable y los de recarga del acuífero de la Ciudad de México. Asimismo, a través de la captación de agua pluvial no solo se ve favorecida la disminución de aguas residuales que terminan en el sistema de alcantarillado de la Ciudad de México, sino que esto también representa una disminución en el número de contaminantes que la escorrentía de agua pluvial arrastra a su paso hasta terminar en el drenaje. Ya que el flujo de agua pluvial que escurre por las calles disuelve a su paso contaminantes, que varían desde sustancias químicas que se aplican al césped, plaguicidas, pintura, disolventes, aceite usado de motor y



otros fluidos de automóviles, bacterias y patógenos provenientes de desechos orgánicos de animales, residuos metálicos de cobre, zinc y níquel de techos y automóviles, así como gran cantidad de materia flotante, causante en gran medida del azolve del drenaje, lo que de manera adicional a lo anteriormente expuesto aumenta el riesgo de inundaciones.

Pese a lo anterior, hay que señalar que captar el 21.5 % del agua pluvial que termina en el drenaje resulta algo complejo, debido a que la ciudad está diseñada para conducir y enviar este tipo de agua al sistema de alcantarillado, más no para aprovecharla. Desafortunadamente, no se cuenta con drenajes pluviales en la Ciudad de México, ya que son una alternativa muy costosa y técnicamente con alto grado de dificultad por la alta urbanización de la ciudad, además de que hasta ahora se han dedicado relativamente pocos recursos económicos y técnicos para su aprovechamiento, entre otros factores. Sin embargo, valdría la pena que se considerará esta propuesta, ello debido a que en un futuro el no realizar este tipo de acciones resultaría más costoso en términos económicos y ambientales.

En la actualidad, el Gobierno del Distrito Federal (GDF) ha impulsado acciones para aprovechar el agua pluvial, y así a su vez, contrarrestar el déficit en el suministro de agua potable, evitar inundaciones en época de lluvias e inyectar agua a los acuíferos. Dichas acciones se traducen principalmente en la creación de pozos de absorción, lagunas de infiltración y colectores de agua de lluvia en diversos puntos de la ciudad, principalmente en zonas con alto régimen de precipitación pluvial.

De manera adicional, el GDF ha establecido y puesto en marcha programas para evitar la pérdida del suelo de conservación y recuperar la superficie ocupada por asentamientos humanos irregulares, ubicados en zonas de alto valor ambiental, de los cuales se hace mención en el Programa Sectorial del Medio Ambiente 2007-2012 de la Ciudad de México. Sin embargo, estas acciones siguen siendo insuficientes para la magnitud de la población actual y continuamente creciente de la Ciudad de México.



Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando que la captación de agua pluvial para uso *in situ* representa la manera más eficaz de lograr su aprovechamiento, es que una proporción de los hogares de zonas rurales y urbanas de la Ciudad de México con déficit de abasto de agua potable, pudieran captar el agua de lluvia utilizando la superficie de los techos de sus hogares, y tanques o cisternas para su almacenamiento o recolección directa.

Para captar el agua pluvial que escurre por los techos y azoteas es necesario contar con un sistema de captación, un sistema de conducción, un interceptor (que actúa como un sistema de pretratamiento), y un sistema de almacenamiento. Primeramente, es de gran utilidad que los techos cuenten con la superficie y pendiente adecuada, para que de esta manera sea más eficiente el escurrimiento del agua pluvial, y esta sea conducida, por ejemplo, a través de tejas y canaletas inclinadas hechas principalmente de lámina galvanizada, hacia tuberías de PVC, que estén conectadas a los sistemas de pretratamiento y almacenamiento. En este sentido existen empresas que comercializan depósitos exteriores de agua pluvial que se instalan fácilmente y que son decorativos. Las capacidades dependen del modelo de depósito, variando desde 300 a 2,000 litros, además de contar con distintas conexiones donde poder instalar la tubería de conducción y de salida. La finalidad de estos sistemas, es que el agua pluvial sea aprovechada en lugar de ser desperdiciada, y que cada comunidad, casa-habitación o unidad habitacional pueda tratarla y utilizarla, disminuyendo en lo posible el uso de la infraestructura de abasto de agua potable, de desalojo y de tratamiento de aguas residuales de la ciudad.

Ejemplo de lo anterior es lo que sucede en Berlín, Alemania, en donde en un conjunto habitacional de aproximadamente 500 casas y edificios, el agua pluvial es captada y reciclada. Lo anterior a través de la construcción de tejas inclinadas en las azoteas, canaletas en el exterior de las casas y pequeños taludes que permiten transportar y desembocar el agua sin necesidad de bombeo hasta un lago artificial. Este lago tiene sembradas diferentes especies de juncos y palmas, por lo que opera como una planta de tratamiento y con sus aguas se atiende el riego de áreas comunes y algunas labores domésticas.



Para promover el aprovechamiento del agua pluvial en las nuevas edificaciones, el GDF estableció en la Ley de Aguas del Distrito Federal (2003), así como en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004), que todas las nuevas edificaciones que se requieran construir en la ciudad deben contar con sistemas de captación de agua de lluvia, así como tener separados las instalaciones y desagües del agua de lluvia del resto de las aguas residuales. Lo anterior coloca a la Ciudad de México rumbo a la vanguardia de la construcción sustentable que avanza hacia el camino de la obligatoriedad.

Como se mencionó con anterioridad, el agua pluvial puede aprovecharse para ser infiltrada de manera natural o artificial al manto freático, de tal manera que se debe prestar especial atención a las zonas con mayor precipitación pluvial y aquellas que forman parte del suelo de conservación de la Ciudad de México, el cual llega a abarcar alrededor del 59 % del territorio de la ciudad ver Fig. 4.2. En este sentido se puede señalar principalmente a aquellas zonas ubicadas en las partes altas de la ciudad, como son la zona sur de Tlalpan, Magdalena Contreras, Cuajimalpa y desde Tláhuac hasta la Sierra de Chichinautzin. En estas zonas, la precipitación pluvial llega a ser del orden de 1,200 mm por año.

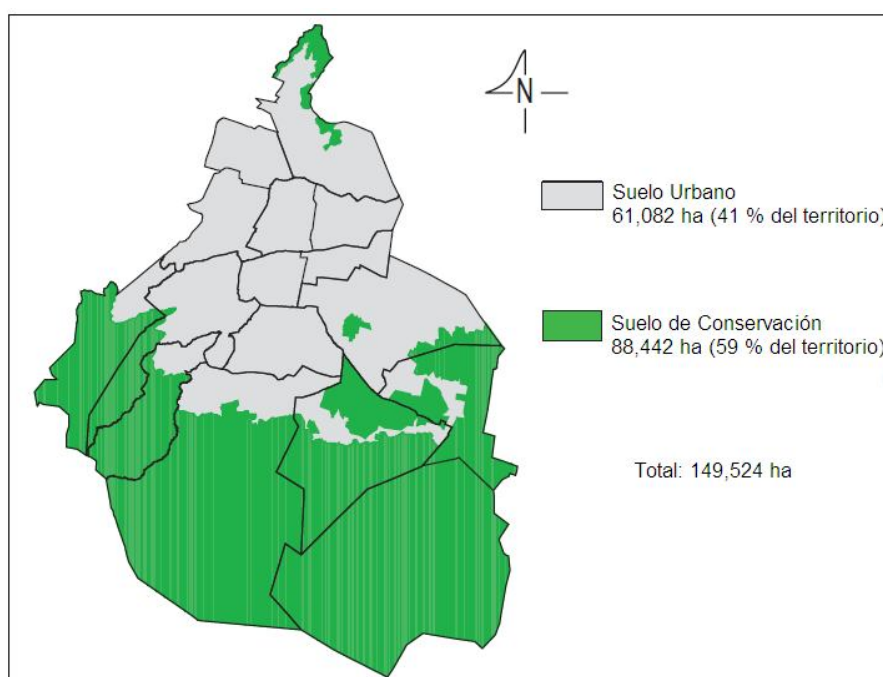


Fig. 4.2 Suelo de conservación en la Ciudad de México por delegación política.

Fuente: Gobierno del Distrito Federal, Secretaria del Medio Ambiente, 2000.



La importancia del suelo de conservación para la infiltración de agua pluvial radica en el hecho de que es en esas zonas donde se lleva a cabo la mayor recarga de los acuíferos. Es por lo anterior que resulta de suma importancia conservarlas, sin embargo, debido al incremento de la mancha urbana, estas zonas de conservación han sido invadidas por asentamientos humanos irregulares, así como pavimentadas debido a la carencia de este servicio por parte de estas comunidades, lo que incide directamente en el deterioro de la capacidad del suelo de conservación para captar el agua pluvial. Asimismo, este proceso se ve agravado debido a la deforestación que se realiza, incendios forestales, y al desarrollo inmobiliario que trae consigo la urbanización de estas zonas.

Entre los aspectos relevantes que ofrece la alternativa de captación y reciclaje del agua pluvial, destacan los siguientes:

- El agua de lluvia es un recurso gratuito.
- El agua pluvial captada se puede aprovechar dentro de la Ciudad de México en actividades que no requieran agua de calidad potable, liberándose así volúmenes importantes de agua potable.
- Disminuir el déficit existente entre los volúmenes de extracción de agua potable para abastecimiento de la población y los de recarga natural de los mantos acuíferos.
- Disminuir el volumen de agua pluvial que se incorpora al sistema de drenaje y por ende el volumen de aguas residuales, aliviando así el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado, lo que se ve reflejado en la reducción de inundaciones.
- Aliviar un poco la situación de exceso de flujo de agua residual-pluvial que se recibe actualmente en las PTAR's de la ciudad, caudal que por lo regular rebasa la capacidad actual de tratamiento de estas durante la temporada de lluvias.

Aun cuando los sistemas de captación de agua pluvial cuentan con numerosas ventajas, es importante señalar que también existen desventajas, entre las cuales se encuentran las siguientes:



- El volumen de agua recolectada varía de una zona a otra de la ciudad, así como de una temporada a otra, con un promedio anual de 129 días de precipitación pluvial (*Anuario Estadístico del Distrito Federal*, INEGI, 2007)
- El alto costo inicial puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos.
- Se debe de prestar especial atención a las medidas de almacenamiento y tratamiento para la prevención de la contaminación,

De esta forma, el volumen de agua pluvial que se espera captar dependerá de muchos factores, entre ellos, a) el volumen de agua pluvial que escurre durante la temporada de lluvias y que es variable en la región, b) la participación de la población en la instalación de dispositivos de captación y/o infiltración, y c) la recuperación de zonas naturales de recarga existentes en la ciudad, sobre todo en la zona urbana de la misma.

Pese a los beneficios que trae consigo la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, principalmente por parte de las casas-habitación, resulta primordial realizar un análisis costo beneficio de esta alternativa, para así justificar el costo de inversión, así como algunas consideraciones técnicas para determinar la factibilidad de su construcción.

Para la construcción de tanques de almacenamiento para captación de agua de lluvia se deberá tomar en cuenta tres principales consideraciones técnicas: a) demanda de agua, b) área de captación y c) capacidad del tanque.

Hay que considerar que el cálculo de los factores técnicos variará de un hogar a otro, dependiendo principalmente del área de captación de agua de lluvia con que se cuente, de la precipitación promedio mensual, así como del tamaño de las familias y su respectivo consumo de agua. Los cuales se explican más a detalle en el Anexo 3.

Lo anterior siempre y cuando el agua pluvial que se pueda captar en las casas-habitación, lo destinen la familias para cubrir la demanda de agua potable en la



realización de algunas de sus actividades en las que sea posible el uso del agua pluvial.

Debido a que se cuenta con el valor de la precipitación promedio mensual en la Ciudad de México, que corresponde a 750 mm, en la Tabla 4.6 se calculó una relación de valores aproximados de la cantidad de agua ofertada que se puede captar en un hogar variando el área de captación.

Mientras que en la Tabla 4.7 se muestra cuales son los requerimientos de agua potable de diversas familias dependiendo del número de integrantes que la conforman, y considerando un consumo diario de 325 L/día/persona. Asimismo, se hace el cálculo de la posible demanda de agua de lluvia por hogar considerando un consumo por persona de 50 L/día, en actividades tales como uso sanitario⁴.

Tabla 4.6 Agua pluvial captada por superficie de captación.

Superficie de captación (m²)	Agua captada (L/año)
20	12000
30	18000
40	24000
60	36000

Fuente: Elaboración propia

Las cantidades pueden variar dependiendo del material empleado para la captación del agua pluvial.

Tabla 4.7 Demanda mensual de agua pluvial y de agua potable por familia.

Integrantes por familia	Demanda de agua potable L/mes	Demanda de agua de lluvia L/mes
3	29250	4500
4	39000	6000
5	48750	7500
6	58500	9000

Fuente: Elaboración propia

⁴ ¿Cómo usamos el agua? [Disponible en línea]. JAPAC Agua y salud para todos, [fecha de consulta: marzo 2012]. Disponible en: http://www.japac.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=191:icusamos-el-agua&catid=22:g



Si se comparan las Tablas 4.6 y 4.7, se observa que la disponibilidad de agua pluvial anual para los distintos hogares, no resulta suficiente para cubrir la demanda de agua pluvial durante un año completo, ya que tras algunos meses de consumo constante, se agotarían las reservas de agua pluvial colectadas. Sin embargo, con el volumen de agua captada anualmente, se podrían cubrir las necesidades de consumo durante un periodo aproximado de tres meses. Lo que significa que por ejemplo, un hogar de cinco integrantes con un sistema de captación de agua de lluvia de 30m² puede aprovechar en promedio un volumen de agua de lluvia de 18,000 L/año, lo que dado su consumo diario equivaldría a un periodo de aprovechamiento de 72 días. Esto representaría para el SACM un ahorro en el suministro y bombeo de agua potable de 18,000 L/año/familia aproximadamente, lo que en términos económicos se traduciría en un ahorro de \$414.00 por año, considerando que al SACM le cuesta en promedio \$23.00 abastecer a la Ciudad de México de un m³ de agua potable. Mientras que en el caso de los particulares significaría un ahorro económico que dependería de la zona donde se ubique la toma de agua potable, el cual sería de \$37.80 por año en las zonas populares, \$51.40 por año para las zonas bajas, \$155.50 por año para las zonas medias y \$180.60 por año para la zonas altas, aproximadamente. Las anteriores cifras pueden variar dependiendo del área de captación, el volumen del sistema de almacenamiento, los materiales empleados, así como de la demanda de agua pluvial.

Ahora bien, con lo que respecta al costo de inversión hay que señalar que este variará principalmente dependiendo del tamaño del tanque o cisterna de almacenamiento, materiales, así como de las modificaciones estructurales que se tengan que hacer en el inmueble, sin embargo, en términos generales, en la Tabla 4.8 se muestra el costo de cuatro sistemas de captación de agua de lluvia con diferentes volúmenes de almacenamiento.

Si se observan los costos económicos que involucra el aprovechamiento del agua de lluvia en los hogares, se aprecia que estos son elevados para su inmediata aplicación y más aún si los beneficios económicos anteriormente expuestos no parecen compensar el alto costo de inversión, ya que con los



ahorros en el pago del agua potable, se estaría amortizando el costo de la inversión en más de 30 años.

Tabla 4.8 Costo de cisternas de captación de agua pluvial por tipo y tamaño de obra.

Concepto	Cantidades por tipo de cisterna según su volumen			
	12.5 m ³	20 m ³	30 m ³	70 m ³
Electromalla	15 m	19 m	23 m	35 m
Tela gallinera hexagonal	44 m	56 m	68.5 m	104.3 m
Cemento	14 bultos	20.5 bultos	36 bultos	72 bultos
Arena	1 m ³	1.55 m ³	2.72 m ³	5.44 m ³
Grava (granzón o gravilla)	0.316 m ³	0.5 m ³	0.76 m ³	1.76 m ³
Alambre recocido	9 kg	10 kg	10 kg	12 kg
Alambrón	9 kg	10 kg	10 kg	12 kg
Varilla	3 piezas	4 piezas	4 piezas	8 piezas
Triplay	6 piezas	10 piezas	12 piezas	12 piezas
Polines	5 piezas	8 piezas	11 piezas	12 piezas
Tuberías, válvulas y conexiones	\$1,235.80	\$1,500.00	\$1,500.00	\$1,500.00
Costo Total	\$6,599.80	\$7,947.90	\$13,899.00	\$21,589.10

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Sistema de captación y almacenamiento de agua en el hogar, 2008. Costo en pesos mexicanos.

El bajo beneficio económico que representa para los hogares el aprovechamiento del agua de lluvia tiene su razón de ser en el bajo costo que para ellos representa el agua potable, debido al gran subsidio que reciben por parte del GDF. Lo que representa que el SACM solo perciba de \$2 a \$9 por m³ de agua potable que distribuye, siendo que como ya se mencionó con antelación, el costo que para el SACM representa abastecer a la Ciudad de México con un m³ de agua potable es de \$23, costándole a las finanzas del GDF 9 mil 500 millones de pesos anuales, mientras que los ingresos que genera por el cobro de agua son de 3 mil 500 millones de pesos, es decir, un déficit anual de 6 mil millones de pesos, cifra que serviría para que el GDF a través del SACM implemente sistemas de captación de agua de lluvia en algunas zonas de la Ciudad de México como parte de un programa piloto. En ese sentido, la propuesta de captación y aprovechamiento del agua pluvial no solo está dirigida a los particulares, sino que debe de ser apoyada y practicada en conjunto con las autoridades.



Aunado a lo anterior, no solo basta considerar los beneficios económicos inmediatos como producto de la implementación de la captación y aprovechamiento del agua pluvial. Es importante tomar en cuenta otros aspectos, principalmente que el 69 % del agua potable que abastece a la Ciudad de México proviene de las aguas subterráneas de los acuíferos de la región, de los cuales cuatro de siete sufren sobreexplotación. Es así que si se pudiera aprovechar al menos el 50 % del agua pluvial que escurre al sistema de drenaje de la Ciudad de México, se dejarían de extraer un volumen de 3,795 L/s de aguas subterráneas, lo que equivaldría a satisfacer la demanda de agua potable de 1,008,886 personas diariamente. Aunado a lo anterior, resalta el hecho de que con dicho porcentaje de aprovechamiento, el volumen de agua residual que se generaría en la Ciudad de México disminuiría de 30 L/s a 26.2 L/s.

De esta forma en la presente tesis se considera importante y viable la propuesta de captación de agua pluvial, ello con el fin de recobrar el nivel de los acuíferos de la región y además disminuir la carga que representa su contribución a la red de drenaje urbano y su recepción en las PTAR's.



4.5 Dispositivos de desviación de orina

En el presente trabajo se propone el uso de dispositivos de desviación de orina como una alternativa práctica para separar las deyecciones líquidas de las aguas provenientes del sanitario en el punto donde son generadas, al mismo tiempo que son aprovechadas, disminuyendo con esto el volumen de aporte que estas descargas representan para el volumen total de aguas residuales generadas en la Ciudad de México.

En si, los dispositivos de desviación de orina (UD por sus siglas en ingles) son dispositivos que colectan la orina separadamente de la fracción de excretas⁵ a través de dos o tres compartimientos dependiendo del diseño del retrete, los cuales cuentan con su respectivo sistema de recolección (ver figura 4.3).



(a)



(b)

Figura 4.3 Sanitarios con dispositivos de desviación de orina.

(a) Sanitario con desviación de orina con bajo consumo de agua, modelo pedestal, nombre: Nova Toaletta Dubbletten, fabricante: BB Innovation & Co, Suiza. (b) inodoro deshidratado con desviación de orina con tres compartimientos, el compartimiento de la derecha es para la orina, el de en medio para las heces y el de la izquierda es el lavatorio anal, modelo cucilllas, nombre: Eco San Indian style, fabricante: Shital Ceramics Works, India.

Asimismo, existen los urinarios desviadores de orina, que constituyen un complemento a los inodoros con desviación de orina, y de igual manera que estos, pueden ser con o sin descarga de agua.

⁵ WERNER, C., PANESAR, A. y RÜD, S.B. Ecological sanitation: principles, Technologies and Project examples for sustainable wastewater and excreta management. Elsevier, desalination. 248: 392–401, 2009



Hay que hacer hincapié que todos los dispositivos de desviación de orina tienen como objetivo principal reducir el consumo de agua y aprovechar los nutrientes provenientes de la orina al coleccionarla separadamente de las excretas, de tal manera que no se encuentre diluida o evitando su dilución innecesaria. De esta manera es posible producir altas concentraciones de reciclables, de modo que puedan ser utilizados como fertilizante en la agricultura, jardines o huertos familiares después de recibir un proceso de sanitización, esto debido a que existe el riesgo de presencia de patógenos en la orina si es que esta estuvo en contacto con materia fecal.

Debido a que la fracción fecal constituye por su alto contenido de patógenos el mayor riesgo sanitario, este aspecto debe ser considerado cuando se diseña y planifica un sistema de saneamiento, especialmente si las heces serán reutilizadas como fertilizante. Por lo tanto, un tratamiento efectivo para reducir el contenido de patógenos y un manejo seguro son importantes para controlar los riesgos para la salud.

En el caso de los inodoros con dispositivos de desviación de orina con bajo consumo de agua, estos han sido adaptados a fin de usar cantidades de agua significativamente menores que un inodoro convencional, utilizando entre menos de un litro de agua cuando se trata de orina solamente, y hasta de 6 a 8 litros cuando se trata de heces.

El sistema de recolección de orina de este tipo de inodoros se encuentra conectado a un tanque de almacenamiento de orina, en donde a través del simple almacenamiento, el número de patógenos puede ser reducido, esto se consigue debido a que durante el almacenamiento, la urea, principal componente de nitrógeno en la orina, es hidrolizada a amoníaco/amonio e hidrogenocarbonato, (lo cual es facilitado por la enzima natural ureasa). Este proceso produce un aumento en el pH (alrededor de 9), lo cual tiene un efecto sanitizante. Lo anterior aunado a un ambiente con alta temperatura y baja dilución de la orina con agua, mejora este efecto. Mientras a su vez el sistema de recolección de excretas se encuentra conectado a la red de alcantarillado convencional.



En el caso particular de los inodoros con dispositivos de desviación de orina sin uso de agua, como lo indica su nombre, no necesitan del uso de agua para poder funcionar. La forma en que estos inodoros recolectan la orina se realiza de igual manera que en los inodoros con bajo consumo de agua, sin embargo, en el caso de las heces, estas son transportadas por gravedad a través de las tuberías y recolectadas en un espacio cerrado y con ventilación, donde el contenido esté parcialmente deshidratado, aunque si las heces se humedecen o mojan, por ejemplo, por haber orinado en el compartimiento de heces, se puede añadir material secante (por ejemplo aserrín). Sin embargo, la materia fecal debe ser almacenada por un largo tiempo antes de ser removida para que esta se deshidrate y finalmente pueda ser utilizada como acondicionador de suelo.

Como se hizo mención anteriormente, los dispositivos de desviación de orina también son aplicados a urinales o mingitorios, los cuales son un tipo especial de inodoro que se utilizan de pie y son diseñados especialmente para hombres. Aunque en el mercado actual existen urinales para mujeres, estos no son ampliamente aceptados. Los urinales con dispositivos de desviación de orina pueden funcionar con o sin flujo de agua y en la actualidad son ampliamente utilizados.

Entre las ventajas que se pueden mencionar al utilizar cualquiera de los sistemas de desviación de orina se encuentran las siguientes:

- Ahorro de agua que normalmente se utiliza en sanitarios.
- Menor generación de agua residual de tipo sanitaria.
- Reciclaje de nutrientes de la orina, principalmente nitrógeno y fósforo, lo que se traducirá en una reducción de la carga de nutrientes en los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.
- Puede ser posible el ahorro de energía en la plantas de tratamiento de agua residual, debido a que la recolección de orina producirá menor carga de nitrógeno y por lo tanto menor cantidad de oxígeno será requerido para los procesos de nitrificación.



- Debido a que el sistema está configurado para utilizar menor cantidad de agua, puede haber un ahorro de energía respecto al bombeo del agua residual.
- Los dispositivos de desviación de orina podrían crear oportunidades de negocio para el sector privado vía venta de este tipo de tecnología y servicios relacionados, como el manejo de nutrientes presentes en las deyecciones.

De manera adicional a los beneficios que representa la implementación de los dispositivos de desviación de orina, es importante mencionar la disminución significativa de nutrientes (fósforo y nitrógeno) que se espera obtener en las aguas residuales generadas en la Ciudad de México. Esto considerando que el mayor porcentaje de aguas residuales que se generan en la ciudad son de tipo doméstico o sanitario, y que de esta el 28 % proviene del sanitario (*Cultura del agua*, Secretaría de Educación de Veracruz, 2007).

Con dicha alternativa se esperaría dejar de verter en el sistema de drenaje de la Ciudad de México un volumen aproximado de 4 kg de nitrógeno, 036 kg de fósforo y 1 kg de potasio al año por persona, considerando que estos son los aportes de nutrientes presentes en las deyecciones líquidas de un adulto promedio. Lo anterior considerando una separación exclusiva de las deyecciones líquidas.

La reducción de nutrientes en las descargas residuales representa a su vez, una disminución de nutrientes en los cuerpos receptores de agua, como lo es por ejemplo el río Tula, esto debido a que parte de las descargas residuales son realizadas directamente en cuerpos receptores de agua. Lo anterior es importante debido a que una alta concentración de nitrógeno y fósforo principalmente, causa eutrofización de lagos y embalses, proceso que dificulta o imposibilita la vida acuática, debido a la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas receptoras.



Además de las ventajas asociadas, se deben de tomar en consideración las desventajas y retos asociados a este tipo de alternativas tecnológicas como son:

- La motivación y disponibilidad de los posibles usuarios para cambiar los hábitos y comportamientos existentes.
- Se debe tener alguna otra opción de eliminación de la orina recolectada si es que la reutilización en la agricultura no es posible.
- Se requiere la existencia de proveedores que puedan ofrecer los servicios de mantenimiento, así como recolección, transporte y tratamiento de la orina recolectada.
- La limpieza de los inodoros con desviación de orina puede tomar más tiempo que la de los inodoros convencionales, asimismo, si no reciben el mantenimiento adecuado pueden producir malos olores.
- En comparación con los sistemas de saneamiento convencionales, los inodoros con sistema de desviación de orina tienden a tener un mayor costo de inversión inicial ya que requieren componentes adicionales para la recolección selectiva de las heces y la orina.

De manera adicional a las consideraciones antes mencionadas que se deben tomar en cuenta al decidir emplear este tipo de tecnología en la Ciudad de México, resulta importante señalar el factor económico que rodea a la implementación de dispositivos de desviación de orina. En primer lugar hay que puntualizar que existe una amplia variedad de dispositivos de desviación de orina, los cuales varía en costo dependiendo principalmente del tamaño, materiales, accesorios y tecnología empleada. Entre los dispositivos más utilizados en las zonas urbanas dada su practicidad, podemos mencionar a los uriniales con bajo y nulo consumo de agua, así como los sanitarios con separación de orina con bajo consumo de agua.

En el caso de los uriniales con bajo consumo de agua, el costo inicial se encuentra alrededor de \$1,300 (Martin y Heaney, 2008), sin embargo, el costo puede variar en mayor grado dependiendo la tecnología asociada. Para los uriniales sin consumo de agua, el costo inicial oscila entre \$1,960 hasta \$5,125.



Y en el caso de los sanitarios con bajo consumo de agua, los diseños pueden variar considerablemente en complejidad en un amplio intervalo de precios, desde \$6,944 hasta \$11,718 aproximadamente.

Aunado a los costos de inversión que representa la implementación de sistemas de desviación de orina, hay que tomar en consideración factores económicos que amortizan el costo de inversión, tales como reducción en el consumo de agua potable en los lugares de implementación.

Hay que considerar que en el caso de los urinarios con bajo consumo de agua, existen uriniales de alta eficiencia con consumo de agua de 1.9 L o menos, e incluso uriniales de ultra bajo consumo de agua que solo utilizan 0.5 L por evacuación (Koeller, 2009). En el caso de los sanitarios con bajo consumo de agua, estos utilizan de 0.8 L a 3 L por evacuación. Mientras que en el caso de los sanitarios convencionales, el consumo de agua varía de 7.5 L a 9 L por evacuación, mientras que los más viejos consumen entre 12 L y 15 L.

Dadas las cifras antes mencionadas se puede observar que la reducción en el consumo de agua dependerá del dispositivo de desviación que se emplee. Lo que se traduce en un porcentaje de reducción en el consumo de agua de 100 % en el caso de los uriniales sin consumo de agua, de 75 % en el caso de los uriniales con bajo consumo de agua, y de 60 % en el caso de los sanitarios con bajo consumo de agua. Lo anterior considerando un consumo actual promedio de 7.5 L por evacuación en los sanitarios convencionales, y un consumo promedio de 1.9 L y 3 L por evacuación utilizando los urinarios con bajo consumo de agua y los sanitarios con bajo consumo de agua respectivamente.

De esta manera, si se considera que una familia promedio consume anualmente un volumen aproximado de agua entre 100,000 L y 150,000 L para remover de 400 L a 500 L de deyecciones líquidas, y de 25 kg a 50 kg de deyecciones sólidas que genera un adulto durante un año (Esrey y Gough, 1999). Tenemos que en el caso de la utilización de los sanitarios con desviación de orina con bajo consumo de agua, el consumo de agua por familia



se reduciría a 32,850 L/año aproximadamente, (lo anterior si se considera una familia de cinco integrantes, con 6 evacuaciones diarias por integrante y un consumo de agua de 3 L por evacuación), lo que significa que durante un año se dejarán de consumir por familia un promedio de 92,150 L de agua potable, es decir, 7,679 L por mes. Lo anterior da como resultado que de acuerdo al costo que tiene el agua en la Ciudad de México (de \$2 a \$9 por m³), una familia que cuente con un sanitario con bajo consumo de agua, ahorrará mensualmente de \$16 a \$72, es decir, de \$192 a \$864 anuales. Mientras que para el GDF a través del SACM representaría un ahorro anual aproximado de \$2,119, considerando que al SACM le cuesta \$23 abastecer de un m³ de agua potable a la población de la Ciudad de México.

Tomando en cuenta las cifras anteriores, es posible calcular el Valor Presente Neto (VPN), así como la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la factibilidad económica de la utilización de sanitarios con bajo consumo de agua.

En el caso de la implementación de un sanitario con desviación de orina con bajo consumo de agua en una familia cuyo ahorro anual equivale a \$192, la TIR es de -22 % con un VPN de -\$8,151.24. Para los usuarios cuyo ahorro anual equivale a \$864, la TIR es de -1 % con un VPN de -\$4,022.09. Mientras que para el GDF a través del SACM cuyo ahorro anual equivale a \$2,119, la TIR es de 19 % con un VPN de \$3,689.34. Lo anterior considerando una tasa de descuento del 10 % a lo largo de un periodo de 10 años, y suponiendo una inversión inicial promedio de \$9,931 por familia.

Considerando los resultados obtenidos de VPN y TIR se puede concluir que los sanitarios con desviación de orina con bajo consumo de agua no representan un beneficio económico para los hogares que los implementen, ya que el tiempo de amortización será mayor a 10 años. Sin embargo, para las finanzas del GDF, esta alternativa no solo trae consigo un beneficio económico, sino también social y ambiental, por lo que resultaría ser una alternativa ambientalmente sustentable. Lo anterior se basa en el hecho de considerar los grandes volúmenes de agua potable que se estarían dejando de utilizar



anualmente, lo que representaría menor explotación de los mantos acuíferos y abastecimiento de agua potable a las zonas urbanas y rurales que carecen de este servicio.

Aunado a lo anterior, hay que considerar que un menor consumo de agua potable representa una disminución en la generación de aguas residuales. Con lo que disminuiría la presión que se ejerce sobre los sistemas hidráulicos para el manejo y tratamiento de las aguas residuales en la Ciudad de México, tal como es el caso del sistema de drenaje y las PTAR's.

Asimismo, es importante señalar que la incorporación paulatina de este tipo de tecnología permitirá poco a poco instaurar un sistema eficaz de separación *in-situ* de las fracciones reciclables de las aguas residuales sanitarias, y fomentar un mayor financiamiento y atención a la investigación y desarrollo de nuevos componentes tecnológicos que sean más confiables y robustos.



5. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se señaló parte de la problemática que existe en cuanto a la gestión de las aguas residuales que son generadas en la Ciudad de México. Destacando el hecho de que el agua residual que se genera en esta zona geográfica del país, sobrepasa por mucho la capacidad de la infraestructura existente destinada para su tratamiento, infraestructura que a su vez presenta serios problemas estructurales y operacionales, debidos principalmente, a la falta y/o cumplimiento oportuno de programas de mantenimiento preventivo y correctivo tanto de infraestructura como de equipos.

De manera adicional, los influentes residuales recibidos por las PTAR's de la ciudad, dan indicios de que las descargas residuales en el sistema de drenaje no solo contienen aguas procedentes de casas-habitación, sino también de industrias, dado los altos niveles de carga orgánica que se registran en los influentes de las PTAR's. Es por lo anterior que el tratamiento que reciben las aguas residuales en las plantas de tratamiento, en muchas ocasiones no logra generar efluentes que cumplan con los requerimientos normativos de calidad.

El estudio realizado en el presente trabajo acerca de diversas alternativas para mejorar la calidad de las aguas residuales que se generan en la Ciudad de México, resalta las siguientes observaciones por alternativa propuesta.

- Programa de mantenimiento a equipos de las plantas de tratamiento.
Se espera que a través de la existencia y aplicación oportuna de programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos e instalaciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales bajo responsabilidad del SACM, así como rehabilitación de las mismas, se mantengan conservados en las mejores condiciones operativas, aumente la confiabilidad operativa y la capacidad operativa de las plantas de tratamiento, así como una mejora en la calidad de las aguas residuales que son tratadas.



- Regularización de las descargas de agua residual generadas por las MIPYMES.

Mediante la regularización de las descargas residuales de las MIPYES que más contaminación causan al entorno por el tipo de contaminantes que presentan sus descargas, como son principalmente: talleres mecánicos, lavados de autos, hospitales, clínicas, restaurantes, empresas dedicadas a curtiduría, industria textil (tintura y acabados), galvanoplastia, empresas metalmeccánicas y procesamiento de alimentos, se espera que exista una reducción en el número de contaminantes que estas empresas aportan a través de sus descargas residuales al sistema de alcantarillado y que parte de ellas son tratadas en alguna de las PTAR's que existen en la ciudad. Lo anterior considerando la cantidad de MIPYMES que se ubican en la ciudad de México y que en conjunto conforman el 96 % de las unidades económicas de la Ciudad de México. Este tipo de empresas aportan diversidad de contaminantes además de perjudicar al entorno ambiental, ocasionan daños a la infraestructura civil de captación, conducción y tratamiento de las aguas residuales de la ciudad así como daños operativos a la infraestructura instalada para su tratamiento. Tales contaminantes son principalmente: grasas y aceites, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sulfuros, sulfatos y metales pesados como zinc, níquel, cobre, cadmio y cromo hexavalente.

- Construcción de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de México.

A través de la construcción de infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales que se generan en la ciudad, como son específicamente plantas de tratamiento de aguas residuales, se espera incrementar el volumen de aguas residuales que son tratadas en la ciudad, debido a que en la actualidad es tratado menos del 20 % del agua residual que se genera. Aunado a lo anterior, el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México 2011-2030 plantea dentro de sus objetivos primordiales el tratamiento del 100 % de las aguas residuales que se generan en el Valle de México, esto a través de la construcción de 8



PTAR's, dentro de las que destaca por su tamaño y capacidad operativa la PTAR Atotonilco, la cual trataría un caudal promedio de 33 m³/s.

Haciendo mención al balance hídrico de la Ciudad de México, hay que resaltar que tan solo el consumo de agua potable asciende a 35 L/s, de los cuales el 60 % es extraída de los mantos acuíferos de la ciudad, la generación de aguas residuales es de 30 L/s, el tratamiento de las mismas es de 3,340 L/s, la precipitación pluvial es del orden de 35,328 L/s, de los cuales 20,702 L/s se evapotranspira, 7,590 L/s termina en el alcantarillado y 7,030 se infiltra a los mantos acuíferos. Dadas las cifras anteriores, resulta evidente la problemática en torno al desequilibrio hídrico que existe en la ciudad, ya que se extrae más agua de los acuíferos de lo que se recargan naturalmente, se genera más agua residual de la que es posible tratar y así poder reutilizarla sin que esto represente un riesgo para la salud. es así que de la construcción de mayor infraestructura de tratamiento de aguas residuales no solo se vislumbra como una alternativa de para incrementar y mejorar la calidad de las aguas residuales que se generan en la ciudad de México, sino que es una alternativa para aprovechar las aguas residuales que se generan en la región y así liberar volúmenes importantes de agua potable.

Sin embargo, se espera que en los próximos años se incremente el volumen de agua residual generada principalmente en los municipios conurbados de la Ciudad de México, lo que significa que para el año 2030 las acciones que plantea el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México serán insuficientes para tratar el volumen total de aguas residuales que se generarán en el Valle de México.

- Captación y reciclaje de agua de lluvia.

Mediante de la captación y reciclaje de agua de lluvia se espera aprovechar parte de los 7.59 m³/s de agua de lluvia que terminan en el drenaje, con lo que se espera resolver parte de la problemática que aqueja a la Ciudad de México con respecto al abastecimiento de agua potable y el abatimiento constante del nivel freático de los acuíferos de la ciudad y del Valle de



México. Lo anterior ya sea mediante la infiltración de agua pluvial al manto freático para recarga del mismo, o su utilización en actividades que no requieran agua de calidad de agua potable. De manera adicional, dentro de los beneficios que trae consigo la captación de agua pluvial destaca el hecho de que disminuye el volumen de agua pluvial que se incorpora al sistema de drenaje y por ende el volumen de aguas residuales que se requiere tratar en las PTAR's, aliviando así el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado y de las propias PTAR's, lo que se vería reflejado en la reducción de inundaciones cada vez más frecuentes en la zona urbana y en parte de la zona metropolitana de la ciudad de México, asimismo, aliviaría la situación de exceso de flujo de agua residual-pluvial que se recibe actualmente en las PTAR's de la ciudad. Lo anterior dado que durante la temporada de lluvias, el caudal de aguas pluviales que escurren en la región donde se localiza la Ciudad de México, por lo regular rebasa la capacidad actual de tratamiento de las PTAR's. Sin embargo, tratar de aprovechar el agua pluvial en los hogares a través de sistemas de captación de agua pluvial resulta costoso para los hogares, debido a que el costo oscila entre \$6,599.80 y \$21,589.10 dependiendo del tamaño del sistema de captación. Lo que significa un costo muy elevado de inversión si se compara con los ahorros económicos que se espera obtener, los cuales variarán de \$37.80 a \$180.60 anuales, considerando en este caso una captación anual de 18,000 L/año.

Desde el punto de vista económico, quizás no sea atractivo el que se recupere agua pluvial en casas habitación, sin embargo desde el punto de vista ambiental es de suma importancia, dado el desequilibrio hídrico que existe no solo en la Ciudad de México, sino en toda la región hidrológica-administrativa XIII, y que amenaza el desarrollo sustentable para las presentes y futuras generaciones de la ciudad. Es por esto que las autoridades en materia del agua, junto con los gobiernos locales y sociedad deben aliarse en la preservación y el manejo de un recurso que se ha vuelto estratégico como lo es el agua.



Dado lo anterior es de suma importancia proponer y promover alternativas que mitiguen el desequilibrio hídrico en la Ciudad de México, como son por ejemplo, las acciones que está llevando a cabo el GDF en diversas zonas de la ciudad para la captación e infiltración del agua pluvial, así como el aprovechamiento del agua pluvial en las casas-habitación, tal como se ha implementado con éxito en Berlín, Alemania, en donde como se mencionó con antelación, existen conjuntos habitacionales en donde el agua pluvial es captada, tratada y utilizada para el riego de áreas verdes y algunas actividades domésticas.

Impulsar este tipo de alternativas resulta importante de manera adicional debido a que dada la sobreexplotación de los acuíferos del Valle de México y el creciente incremento poblacional de la Ciudad de México y su área conurbada, es que el descenso del nivel del agua subterránea ha ocasionado el hundimiento de la ciudad, lo que trae consigo severos daños a la infraestructura urbana, incluyendo los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado. Además, la excavación cada vez más profunda de los pozos subterráneos ha propiciado mayores contenidos de sustancias contaminantes que alteran la calidad del agua, lo que ha significado además de un detrimento en la calidad del agua, un aumento en los costos de potabilización.

- Dispositivos de desviación de orina.

A través de la implementación de dispositivos de desviación de orina en lugar de sanitarios convencionales, se busca disminuir el aporte de aguas residuales de tipo sanitaria que son incorporadas al sistema de drenaje de la Ciudad de México, considerando que el 28 % de este tipo de descargas provienen del uso del sanitario. Es así que dada la disminución en el volumen de aguas residuales que se espera lograr a partir de la instalación y uso de este tipo de dispositivos, se busca de manera adicional disminuir el grado de presión que existe en la infraestructura para el manejo de estos aportes a las aguas residuales, ya sea al sistema de drenaje y las PTAR's.



De manera adicional, mediante la implementación de esta alternativa se espera dejar de verter en el sistema de drenaje de la Ciudad de México un volumen aproximado de 4 kg de nitrógeno, 036 kg de fósforo y 1 kg de potasio al año por persona, nutrientes que son de vital interés para la agricultura.

Es importante señalar que en términos económicos, los valores negativos de TIR y de VPN señalan que esta alternativa no representa un beneficio económico inmediato para los hogares que decidan implementarlo, ya que el tiempo de amortización será mayor a 10 años, sin embargo, debido a que esta alternativa trae consigo una disminución en el uso de agua potable, su implementación representaría un beneficio económico para las finanzas del GDF a través del SACM, ya el GDF subsidia más del 50 % del costo real del agua potable.

De esta forma, es que a partir del presente trabajo se ofrecen alternativas para mejorar la calidad de las aguas residuales que son generadas particularmente en la Ciudad de México, tema que en la actualidad representa una problemática de gran importancia, debido por una parte a los graves problemas en materia ambiental que causa la disposición y/o el uso de grandes volúmenes de aguas residuales sin tratar, dichos volúmenes de aguas residuales que debido a que no reciben tratamiento dentro de la Ciudad de México para poder ser aprovechadas, son enviados fuera de la misma, lo que contrasta con la creciente demanda de agua y el agotamiento de las fuentes de abasto de agua potable en la Ciudad de México.

Es importante mencionar que independientemente de la alternativa empleada para el mejoramiento de la calidad del agua residual, esta debe satisfacer los requerimientos de calidad que se demandan y ser viables para que se implementen y se mantengan a través del tiempo. Asimismo, estas iniciativas necesitan ser apoyadas, promovidas y mantenidas principalmente por el gobierno federal, ya que la gestión integrada de los recursos hídricos es prioridad y asunto de seguridad nacional, tal como lo establece la LAN y el PNH 2001-2006.



6. Bibliografía

1. ANZALSO, Carlos, HERNÁNDEZ, Juan C. y RIVERA, Ahidé. Migración interna, distribución territorial de la población y desarrollo sustentable. En: Consejo Nacional de Población. La situación demográfica de México 2008. México: CONAPO, 2008. 150 p.
2. BASSOLS, Ángel. La división económica regional de México. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas 1967. 264 p.
3. CABALLERO, Karina. Permisos comerciables para regular la contaminación del agua. Economía informa. (333): 56-71, Marzo-abril 2005. ISSN: 0185-0849
4. CAMPOSORTEGA, Sergio. Evolución y tendencias demográficas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En: Consejo Nacional de Población. La zona metropolitana de la ciudad de México: Problemática actual y perspectivas demográficas y urbanas. México, D.F.: Consejo Nacional de Población, 1992. 288 p. ISBN 968-805-926-9
5. CARABIAS, Julia y LANDA, Rosalva. Agua, medio ambiente y sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos. (Con la colaboración de Jaime Collado, Polioptro Martínez; prólogo de Fernando Tudela). 1^{ra} ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México: El Colegio de México: Fundación Gonzalo Río Arronte, 2005. 221 p. ISBN 968-12-1202-9
6. CHAIZE, S. y HUYARD, A. Membrane bioreactor on domestic wastewater treatment: sludge production and modelling approach. Water Science and Technology, (23): 1591-1600, 1990.
7. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Atlas del Agua en México. 1^{ra} ed. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011. 133 p.
8. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Compendio del Agua de la Región Hidrológica Administrativa XIII. 1^{ra} ed. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010. 187 p.
9. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. 1^{ra} ed. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009. 163 p.
10. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Inventario nacional de plantas de tratamiento municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009. 293 p.
11. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Manejo de las aguas residuales para el combate de la pobreza en las grandes ciudades: caso Ciudad de México. En: Foro Mundial del Agua (IV: 2006: México, D.F.). México, D.F.: CNA, 17 de Marzo de 2006.



12. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. México: CNA, 2001. 175 P. ISBN 968-817-502-1
13. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Sistema hidrológico del Valle de México. 1^{ra} ed. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007. 97 p. ISBN: 978-968-817-875-1
14. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Túnel Emisor Oriente [en línea]. México, D.F. [Fecha de consulta: septiembre de 2011]. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/TunelEmisorOriente.aspx>
15. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 13 de Octubre de 2011.
16. FLORES, Carlos. Algunas consideraciones sobre política y economía en México 1930-1976. Trabajo de titulación (Licenciada en Economía). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía, 1979. 332 p
17. GAJUREL, Deepak Raj., LI, Zifu. y OTTERPOHL, Ralf. Investigation of the effectiveness of source control sanitation concepts including pre-treatment with Rottebehaelter. Water Science and Technology. 48 (1): 100-111, 2003.
18. GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL. Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente: Secretaría de Obras y Servicios: Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2007. 59 p.
19. HERRERA, Edgar y LÓPEZ, Raúl. Análisis del uso del agua en la región XIII "Valle de México" y perspectivas a mediano y largo plazo. Trabajo de titulación (Ingeniero Civil). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 1999. [121] p.
20. IRACHETA, Alfonso. Gobernabilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México. Papeles de población [en línea]. Abril-jun 2003, vol. 036. [Fecha de consulta: Julio 2011]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/112/11203609.pdf> ISSN: 1405-7425
21. IZAZOLA, Haydea. Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. En Estudios Demográficos y Urbanos, 16 (2): 285-320, Mayo-agosto 2003
22. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AMBIENTAL. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 30 de Agosto de 2011.
23. LEY DE AGUAS NACIONALES. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 20 de Junio de 2011.
24. LOPETEGUI, Javier. y TROUVÉ, Emmanuel. Criterios técnico-económicos para la implantación de biorreactores de membrana. *Tecnología del agua*. 253: 62-69, Octubre 2004.
25. MELINA, T. [et al]. Membrane birreactor technology for wastewater treatment and reuse. Elsevier, desalination. (187): 271-282, 2006.



26. MERE, Francisco. Tratamiento y control de la contaminación de las aguas urbanas. Irapuato, Guanajuato: Universidad Quetzalcóatl en Irapuato, 2003. 222 p.
27. METCALF & EDDY, Wastewater engineering: treatment and reuse. 4^{ta} ed. NY: McGraw-Hill, 2003. 1819 p. ISBN: 0-07-112250-8
28. MÜNCH, Elisabeth y WINKER, Martina. Technology review, urine diversion components: Overview of urine diversion components such as waterless urinals, urine diversion toilets, urine storage and reuse systems [en línea]. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ), 2009.
Disponible en:
http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GTZ%20009%20Technology%20Review%20Urine%20diversion%20components.pdf
29. NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 23 de abril de 2003
30. NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 23 de abril de 2003.
31. NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 23 de abril de 2003.
32. PARE, Luisa., ROBINSON, Dawn. y GONZÁLEZ, Marco. Gestión de cuencas y servicios ambientales: perspectivas comunitarias y ciudadana. 1^{ra} ed. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales: Instituto Nacional de Ecología: ITACA: Raíces Sendas, A.C. WWF, 2008. 304 p. ISBN: 978-968-817-871-3
33. PARNREITER, Christof. Ciudad de México: el camino hacia una ciudad global. EURE (Santiago) [en línea]. Diciembre 2002, vol. 28, no. 85. [Fecha de consulta: Julio 2011].
Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612002008500006&lng=en&nrm=iso&tlng=es
ISSN: 0250-7161
34. PERLÓ, Manuel y GONZÁLEZ, Arsenio ¿Guerra por el agua en el Valle de México?: estudios sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México. 2^{da} ed. México: UNAM, Programa Universitario de Estudio sobre la Ciudad: Coordinación de Humanidades, 2009. 157 p. ISBN: 9789703229680
35. REGLAMENTO DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 29 de Agosto de 2002.



36. SALAZAR, Héctor y NEGRETE, Eugenia. Zonas metropolitanas en México, 1980. Estudios demográficos y urbanos. 1 (1): 24-97, 1986. ISSN 0186-7210
37. SCHOENNING, Caroline. Urine diversión – Hygienic risks and microbial guidelines for reuse. Swedish Institute for Infectious Disease Control (SMI).
38. SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL. Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008 [en línea]. 1^{ra} ed. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2010. 137 p. [Fecha de consulta: julio 2011]
Disponible en:
http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/2008ie_criterio/2008ie_criterio01.pdf
39. SISTEMA DE CUENTAS NACIONALES 2001-2006 [en línea]. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, [fecha de consulta: agosto 2011]
Disponible en:
http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/regionales/pib/pibe2006.pdf
40. VÁZQUEZ, Alba., CÉSAR, Enrique. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México, D.F.: Fundación ICA, 2003. [340] p
41. WANG, C. y BAO, W. Case study of vacuum urine-diverting sewerage system of SIEEB Tsinghua University. Gewässerschutz Wasser Abwasser. (206):1-22, 2007. ISSN: 0342-6068



7. Anexos

Anexo 1. Límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

*Parámetros	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (ml/L)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

*Unidades en mg/L excepto en donde se indica

Anexo 2. Límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Tipo de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales NMP/100 mL	Huevos de Helminto (h/L)	Grasas y aceites mg/L	DBO ₅ mg/L	SST mg/L
Servicios al público con contacto directo	240	≤ 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1000	≤ 5	15	30	30

Anexo 3. Consideraciones técnicas para la construcción de tanques de almacenamiento para la captación de agua pluvial.

a) Demanda de agua

La demanda de agua se debe calcular en función de las necesidades de la familia a lo largo de un periodo de tiempo.

$$D = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad (1)$$



D: demanda de agua (m³)

Un: número de usuarios que se benefician con el sistema

Nd: número de días del periodo de tiempo analizado

Dot: Dotación de agua requerida por persona diariamente (L/persona/día)

b) Área de captación

El área de captación ideal debe tener cierta pendiente, y es determinante para conocer el potencial de la captación de agua de lluvia.

c) Oferta de agua

Es la cantidad de agua captada en diferentes áreas de techo, y se determina en función de la precipitación anual de la zona y de la superficie de captación. Esta cantidad puede verse afectada por los materiales del techo, salpicaduras fuera del área de captación, fugas, evaporación y absorción.

Para obtener el cálculo de oferta de agua, se debe de multiplicar el agua captada, que no es otra cosa que la precipitación promedio mensual por área de captación, por el coeficiente de escurrimiento, que representa la eficiencia del sistema de captación de agua, la cual generalmente es del 80 %, y depende del material del techo de captación, del salpicado, absorción o escurrimientos fuera del mismo.

$$A = \frac{Pp * Ce * Ac}{1000} \quad (2)$$

A: oferta de agua (m³)

Pp: precipitación promedio mensual

Ce: coeficiente de escurrimiento

Ac: área de captación