



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA
INTRODUCCIÓN DE SISTEMAS DE REUSO DE
AGUA EN MÉXICO”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE URBANISTA
PRESENTA:

LUIS ALBERTO GARCÍA MENDIETA

DIRECTOR: MTRO. JUAN ANSBERTO CRUZ GERÓN

JUNIO 2015

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F.



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.

Director:

Mtro. Juan Ansberto Cruz Gerón

Sinodales:

Dr. Sergio Flores Peña

Mtro. Enrique Soto Alva

Mtra. Virginia Lahera Ramón

Dr. José Gasca Zamora

A mis padres Silvia y Juan, por su cariño incondicional y por permitirme continuar estudiando a pesar de las adversidades.

A mis hermanos Ivonne, Juanca y Mich, por las palabras de aliento que me permitieron finalizar esta etapa de mi vida

A Jaqueline Mera, por enriquecer mis días con su compañía y amor.

A mis colegas, amigos y compañeros, por hacer de la práctica del urbanismo una tarea cotidiana y presente en la vida de nuestra ciudad

INTRODUCCIÓN

La temática principal de este documento es el reuso de las aguas residuales tratadas en las zonas urbanas. En especial, propone y aplica una metodología para la planeación de sistemas de reuso del agua a nivel urbano para las zonas urbanas de México, basándose en el estudio de la infraestructura de saneamiento (oferta) y su relación con los usos de suelo (demanda).

Se trabajó este tema, porque los estudios de reuso del agua nivel urbano, se centran en el diseño de la infraestructura de saneamiento de agua (instalaciones, equipo, infraestructura) y no en su potencial para corresponder a las necesidades del contexto urbano en donde se encuentran.

Esta tesis se piensa como una herramienta guía para la planeación, rehabilitación e introducción de proyectos de reusó del agua tratada a nivel urbano

La investigación se presenta en tres partes. Primero se realizó la descripción general del reuso del agua a nivel internacional y en México. En segundo, se propone una metodología que mediante la identificación y correspondencia entre oferta (infraestructura) y demanda (usos del suelo) del agua tratada, se promueva su reuso. Y en último lugar, se corrobora la validez y utilidad de esta metodología por medio de su aplicación al caso específico del oriente del Distrito Federal.

Este documento está dirigido a los profesionales que intervienen en la operación y mantenimiento de la infraestructura de saneamiento urbano, a los planificadores de sistemas de reuso del agua, a ingenieros que diseñen plantas de tratamiento de aguas residuales e interesados en promover el reuso del agua en ciudades.

ÍNDICE

I. PROTOCOLO DE TESIS	1
1. Planteamiento del problema	1
2. Pregunta General	4
3. Preguntas Particulares	4
4. Objetivos General	5
5. Objetivos Particulares	5
6. Alcances de trabajo de investigación	5
7. Justificación del tema de investigación	6
8. Hipótesis	7
9. Marco Conceptual.....	8
II. ESTADO DEL ARTE DEL REUSO DEL AGUA.....	13
1. Panorama Internacional	13
a. Evolución del Saneamiento Urbano en el mundo	13
b. Aspectos que promueven el reúso del agua en las ciudades	17
2. Panorama en México.....	22
a. Inventario de PTAR y reúso del agua en las zonas urbanas de México.....	22
b. Normatividad en materia de tratamiento y reúso del agua en México	28
c. Indicador para la promoción del reúso del agua en el distrito federal.....	36

III. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL REUSO DEL AGUA	45
1. Reuso de ART como elemento de la gestión integral de aguas urbanas	45
2. Propuesta de metodología para la planeación de sistemas de reuso de agua en zonas urbanas de México	49
a. Recolección de datos de infraestructura de saneamiento urbano	50
b. Estado de operación de saneamiento urbano.....	51
c. Análisis de relación de oferta y demanda de ART para el SRAU	52
d. Valoración de alternativas para la implementación de SRAU.....	56
e. Propuestas para la conformación de SRAU acorde a la zona urbana.....	57
IV. ESTUDIO DE CASO: ZONA SURORIENTE DEL DISTRITO FEDERAL	59
1. Preliminar.....	59
a. Objetivos Generales y Particulares de estudio	59
b. Zona de Estudio.....	60
c. Metodología	63
d. Observaciones.....	64
2. Compilación de información sobre saneamiento urbano	65
a. Estandarización de información	65
b. Inventario de infraestructura para saneamiento urbano.....	68
c. Relación de Infraestructura con desarrollo de la ciudad	70
d. Oferta de ART y cobertura de la red	73
3. Situación actual del saneamiento en la zona de estudio	77
a. Fichas resumen de infraestructura para el saneamiento de las aguas.....	77
b. Esquema de operación de la PTAR Cerro de la Estrella y calidad del agua producida	82
4. Relación oferta-demanda de agua residual tratada	88
a. Aspectos para evaluar el potencial de reuso de ART	88
b. Estimación de demanda de ART por de uso de suelo	94
c. Distribución de ART actual	101
d. Balance Oferta-Demanda de ART.....	103
5. Alternativas para la implementación de sistema reuso de aguas urbanas en el suroriente del Distrito Federal	104
6. Propuesta para la implementación de un sistema reuso aguas urbanas en el suroriente del Distrito Federal	120

V. CONCLUSIONES	123
1. Experiencia sobre el reuso del agua a nivel internacional	123
2. Panorama del reuso del agua en México y normatividad aplicada	124
3. Experiencia obtenida del caso de estudio	126
VI. ANEXOS	127
1. Bibliografía	127
2. Recursos digitales	131
3. Glosario	132
4. Definiciones respecto al reuso del agua.....	135
5. Razones por las que se promueve el reuso del agua	140
6. Descripción general de la gestión del saneamiento urbano	143

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 PTAR en México por tipo de localidad y estado (2009).....	23
Ilustración 2 PTAR en México Comparativo de Capacidad Instalada y Volumen Tratado Anual (2010)	23
Ilustración 3 Tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas residuales en Zonas Urbanas de México (2010).....	24
Ilustración 4 Cuadro comparativo entre Niveles de Tratamiento y Numero de PTAR y Volúmenes de producción de ART (2010)	25
Ilustración 5 Plano de localizacion de PTAR de mayor relevancia en el DF (2009).....	42
Ilustración 6 Plano de localizacion de demanda potencial de ART en el DF (2009)	43
Ilustración 7 Plano de localización de demanda potencial de ART en el DF (2009)	44
Ilustración 8 Actores que interviene para lograr una GIAU (2013)	46
Ilustración 9 Plano de localización de zona de estudio "Zona Suroriente Distrito Federal (SO-DF) ...	61
Ilustración 10 Plano de localización de zona de estudio "Zona Suroriente Distrito Federal" (SO-DF)	62
Ilustración 11 Mapa de localización de Infraestructura de saneamiento urbano	67
Ilustración 12 Evolución histórica de la capacidad de tratamiento de agua residual DF (1950-2010)	71
Ilustración 13 Desarrollo urbano del DF y PTAR construidas (1910-2010).....	72
Ilustración 14 Capacidad Instalada y Caudal de Tratamiento de PTAR (2009)	74
Ilustración 15 Red de ART y ubicación de área natural protegida Xochimilco y Tláhuac.....	75
Ilustración 16 Cobertura de red de ART en la zona de estudio	76
Ilustración 17 Calificaciones de Espacios y Áreas Libres por Delegacion.....	94
Ilustración 18 Calificación de demanda efectiva de ART (uso en áreas libres y espacios abiertos)...	96
Ilustración 19 Calificaciones de Sitios y usos Industriales por Delegación.....	97

Ilustración 20 Calificación de demanda efectiva de ART (uso industrial)	98
Ilustración 21 Balance de demanda de ART en SO-DF 2009	103
Ilustración 22 Plano de polígonos de demanda de ART	105
Ilustración 23 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 01).....	107
Ilustración 24Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 02).....	109
Ilustración 25Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 03	111
Ilustración 26Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 04).....	113
Ilustración 27Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 05).....	115
Ilustración 28Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 06).....	117
Ilustración 29Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 07).....	119
Ilustración 30 PTAR y distribución propuesta	122

CUADROS

Tabla 1 Disponibilidad de Agua e Índices de intensidad de uso por regiones del mundo, grado de desarrollo y nivel de ingreso	18
Tabla 2 Volumen de ART urbanas en México 2009.....	22
Tabla 3 Definición de principales tipos de Reuso de ART en México (2010)	26
Tabla 4 Estado del reuso de ART en México (2010)	27
Tabla 5 Resumen de Aspectos Regulados por NOM en materia de ART 2014	31
Tabla 6 Objetivos, Estrategias y Líneas de Acción entorno al Reuso del agua en ciudades planteadas en PNH 2013-2018 y su relación con el reuso del agua en ciudades	33
Tabla 7 Presupuesto Ejercido por SACMEX 2014.....	37
Tabla 8 Gasto por habitante para Servicios de Agua Potable, Residual y Tratada (2014)	38
Tabla 9 Gasto por Metro cubico de agua potable, agua residual y tratada (2014).....	40
Tabla 10 Principales PTAR del DF (2009)	41
Tabla 11 Resumen de PTAR en SODF (2009).....	68
Tabla 12 Red de distribución de ART por tipo en SO-DF (2013).....	69
Tabla 13 Balance de producción de ART por delegaciones seleccionadas, 2000	73
Tabla 14 Límites Máximos Permisibles de contaminantes en ART por NOM-003-SEMARNAT-1997/85	85
Tabla 15 Calidad del Agua Tratada para Recarga Artificial [Acuíferos] por NOM-014-CONAGUA-2003	86
Tabla 16 Distribución de ART por calidad de Agua PTAR Cerro de la Estrella, Iztapalapa 2000*	87
Tabla 17 Tabla de aspectos a observar para la dotación ART por diferentes Usos de suelo(2014) ..	90
Tabla 18 Valoración de espacios abiertos y áreas verdes por características presentes (2014).....	92
Tabla 19 Valoración de espacios industriales por características presentes. (2014)	93

Tabla 20 Estimación de dotación de ART Uso en Espacio Público e Industrial	100
Tabla 21 Resumen de abasto de ART por tipo de uso, DF. (2000).....	101
Tabla 23 Tabla de PTAR propuestas	120
Tabla 24 Propuesta de Caudales de Tratamiento por PTAR (2015)	121
Tabla 25 Definiciones Internacionales sobre el reúso del Agua y ejemplos de su aplicación para la RHA-XIII-AVM (2014)	135
Tabla 26 Razones más populares entre por las que se impulsa el reúso del agua a nivel Internacional y su relación con aspectos del Desarrollo Urbano	140

ACRÓNIMOS

SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
ONU	Organización de las Naciones Unidas
GIRH	Gestión Integral de Recursos Hídricos
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
DF	Distrito Federal
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
ART	Agua Residual Tratada
MAPAS	Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
AMC	Academia Mexicana de Ciencias
BM	Banco Mundial
NOM	Norma Oficial Mexicana
LAN	Ley de Aguas Nacionales
PNH	Programa Nacional Hídrico
GIAU	Gestión Integral de Aguas Urbanas
SIG	Sistema de Información Geográfica

I. PROTOCOLO DE TESIS

1. Planteamiento del problema

El desarrollo de las ciudades, depende de la transformación, incorporación y consumo de materias primas, insumos y recursos, disponibles en el medio ambiente. Pero las formas y mecanismos de aprovechamiento de estos, tiende a deteriorar y/o sobreexplotar los recursos naturales disponibles comprometiendo la sostenibilidad de las zonas urbanas.¹ Ante esta situación, las ciudades realizan dos tipos de acciones: la disminución de la demanda y presión sobre los recursos naturales o la devolución de estos recursos de manera directa o indirecta.

Un consumo que incluya la reincorporación de los recursos naturales extraídos, es la ruta crítica para lograr la sostenibilidad urbana y la preocupación sobre este tema, ha hecho eco a nivel internacional. Los Objetivos del Milenio de la ONU plantean como meta la mejora de las condiciones de vida de las poblaciones urbanas y rurales y también reconocen la necesidad de aterrizar este concepto en los gobiernos y administraciones de las ciudades del mundo, que es donde se han obtenido mejores experiencias, mostrando que es posible la sostenibilidad urbana mejorando las condiciones de vida.²

Para encaminar a las ciudades a ser sostenibles, requerimos instituciones competentes en la administración de los recursos naturales y los servicios públicos que depende de estos. Estas deberán ser capaces de emplear los materiales y recursos de manera eficiente para atender las necesidades de la población y evitar las afectaciones al medio ambiente.

¹ Así mismo, la Organización de Naciones Unidas (ONU), señala que “... Los patrones de consumo, la preparación de las ciudades ante eventos de origen natural y el impacto que las actividades urbanas tienen sobre el medio ambiente más cercano y el clima son algunos de los factores que determinan la sostenibilidad de las áreas urbanas...”, V. “Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012, ONU-HÁBITAT, Brasil, (2012)

² V. “Agua y Saneamiento en las Ciudades del Mundo”, ONU-HÁBITAT, Reino Unido, (2003), p. xvii-xix

El Agua es el recurso de mayor importancia para las ciudades y el acceso a esta se encuentra en riesgo. Las fuentes sostenibles del agua (libres de contaminantes y no sobreexplotadas) están disminuyendo, el usar el agua es la causa de su contaminación.³

La diversidad de los usos del agua en las ciudades, es la causa de su contaminación. La mezcla del agua con jabones, detergentes, aceites, excretas, químicos etc. cambia las propiedades del agua, que al ser desalojadas de las zonas urbanas, contaminan los cuerpos de agua y otras regiones que se encuentran en contacto con las Aguas Residuales (AR).⁴

Para disminuir la contaminación del agua se realiza el saneamiento de las aguas residuales (considerado parte de los servicios públicos del agua). Que consiste en una serie de procesos, donde se capturan las aguas residuales y se les da un manejo en el que se extraen los contaminantes del agua. Como resultado de este tratamiento, se obtienen dos productos: agua con características diferentes al agua potable y lodos remanentes del tratamiento.

Esta agua tratada representa una fuente complementaria para el consumo de agua en zonas urbanas. El tratamiento de las aguas residuales y su reuso es un tema prioritario para las zonas urbanas del mundo, ya que es una extensión de la oferta del agua en usos que no necesariamente demanden agua potable como: el riego de parcelas agrícolas, el riego de parques públicos y jardines, insumo para la producción de materias intermedias o industriales, o preservador de cuerpos de agua y cauces naturales y artificiales. A esto se le denomina reuso del agua.

Para que el reuso del agua, se requieran instituciones fortalecidas en la gestión los servicios del agua y una coordinación estrecha, de otro modo se continuara aumentando la presión sobre las fuentes del agua y disminuyéndolas mediante la contaminación.⁵

Como ejemplo de esta situación en México, tenemos a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). La región se ha mantenido una política que garantiza el abasto de agua mediante la extracción

³ La ONU estableció entre 2005 y 2010, el Decenio Internacional del Agua, para impulsar las acciones encaminadas al cumplimiento de los Objetivos del Milenio, en materia de provisión de agua y saneamiento. Consúltense el sitio web: "Decenio Internacional para la Acción El Agua fuente de vida" 2005-2015", ONU-DAES, (2014), en la URL, <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>

⁴ El detrimento de las condiciones ambientales, está ligado con la contaminación del suelo, agua y aire. Se ha evidenciado que la contaminación de las ciudades escapa más allá de las cuenca hidrográficas y regiones de influencia de las ciudades; ya sea por lluvia acida llevada por el viento a otras regiones, descarga de aguas residuales domesticas e industriales a ríos, lagos y mares o la contaminación de los mantos freáticos por la infiltración de aguas residuales y residuos sólidos.

⁵ La Organización de Naciones Unidas (ONU) y el Banco Mundial (BM), recomiendan que se adopte un esquema de eficacia, mediante el fortalecimiento de las instituciones que administran y operan los servicios públicos del agua, recurriendo ya sea a la operación gubernamental o a la privatización. V. "Agua y Saneamiento en las Ciudades del Mundo", ONU-HÁBITAT, Reino Unido, (2003). p. 160

de fuentes locales y fuentes externas (cuencas hidrográficas vecinas a la ZMVM). El BM estima que se dota a la ZMVM un volumen de 2775 hm³ al año (2775 millones m³) donde, el 24% del agua que se consume, se obtiene de otras cuencas vecinas y para su abasto se transporta mediante “trasvases” y/o obras hidráulicas que bombean agua a la región Hidrológica-Administrativa XIII.⁶ El reuso del agua en la ZMVM es de 192 hm³ al año o solo el 8%.

Dado el grado de dependencia de fuentes externas y por ende insostenibles. Se hace necesario promover el reusó del agua como una fuente complementaria y sostenible del agua para las zonas urbanas de México y en especial de la ZMVM.

⁶ La Subregión Valle de México de la Región Hidrológica Administrativa XIII (en la que la ZMVM se encuentra inserta), depende de las siguientes fuentes de agua: Acuíferos locales donde la extracción de las aguas se hace mediante pozos; Cuerpos superficiales locales y captación de escurrimientos; Trasvases o transporte de agua de las cuencas Lerma y Cutzamala y Agua de reuso proveniente de las plantas de tratamiento locales. V. “Agu a Urbana en el Valle de México ¿Un camino verde para mañana?”, Banco Mundial, México, (2013), pp. 11-14

2. Pregunta General

¿Qué aspectos deben considerarse para realizar proyectos viables y eficientes de reuso de aguas residuales tratadas en las ciudades mexicanas?

3. Preguntas Particulares

¿Cómo ha evolucionado el saneamiento urbano para llegar al reuso del agua tratada? y ¿Qué razones impulsan el reuso en el plano internacional?

¿Cuál es el estado del saneamiento y reuso del agua en las zonas urbanas de México? ¿Cuáles son las normativas y políticas que lo enmarcan?

¿Qué elementos deben considerarse en una metodología que promueva el reuso del agua en México?

¿Qué resultados se obtendrían de su aplicación en el caso particular de la ciudad de México?

4. Objetivos General

Proveer una investigación que analice, desarrolle y ofrezca los aspectos necesarios para la planeación de sistemas de reuso del agua residual tratada en las ciudades de México

5. Objetivos Particulares

Realizar una descripción general de la evolución y estado del arte del reuso del agua en ciudades a nivel internacional y en México

Desarrollar una metodología para la planeación de sistemas de reuso del agua residual tratada eficiente y viable para las ciudades de México.

Emplear la metodología para el desarrollado de una propuesta de sistema de reuso de aguas tratadas en la zona suroriente del Distrito Federal

6. Alcances de trabajo de investigación

La presente tesis tiene por objeto exponer el conocimiento para la planeación de sistemas de reuso de aguas residuales tratadas. Se presentara la descripción del estado del arte del reuso del agua en el mundo y el estado del tratamiento de aguas en México. Después, se conformara una metodologia para la promoción del reuso de aguas, basándose en la correspondencia entre oferta y demanda de agua tratada. Por último, se aplicara la metodología propuesta a la zona sur-oriente del Distrito Federal (DF).

7. Justificación del tema de investigación

El reuso de las aguas residuales tratadas no es un tema nuevo, este se ha visto nutrido por las declaraciones de derechos humanos sobre el agua, la gestión integral de recursos hídricos⁷ y la planeación urbana. El reuso se ha colocado como un tema clave para lograr la sostenibilidad urbana mediante un uso eficiente de la infraestructura y del recurso agua, es por esto que merece atención.⁸

La planeación urbana y el urbanismo poseen el conocimiento para la coordinación en la mejora de los servicios públicos y el reuso es asumir la responsabilidad de aprovechar con un enfoque de eficiencia urbana el agua. Desde esta disciplina es donde se puede promover el reuso del agua tratada.⁹

Además en México, el tratamiento de aguas se ha plantea como una obligación de alto costo, sin abordar los aprovechamientos en diferentes usos y destinos del agua tratada. El ART se puede emplear en usos industriales, comerciales, agrícolas y recreativos (reúso urbanos), donde su reaprovechamiento implica un doble uso económico (uso industrial y comercial) y que puede contribuir a cubrir los costos del tratamiento de las aguas residuales.

El reuso en espacios abiertos y áreas de valor ambiental, se traduce en inversión para la mejora de la ciudad, su imagen y la conservación de su paisaje. El destino de agua tratada a ríos y cauces urbanos, lagos naturales y artificiales, espacios públicos, áreas de circulación peatonal o vehicular, son algunos ejemplos de estas mejoras. La promoción del reuso del agua muestra a los habitantes de la ciudad las ventajas de tener un sistema de saneamiento urbano y de reuso de las aguas residuales.

⁷ V. "Gestión Integral de Aguas Urbanas", Banco Mundial, EUA, WB, (2012), pp. 11-15

⁸ La ONU reconoce que existen tanto los derechos del agua como los del saneamiento, Además hace hincapié en que los principales beneficiados del saneamiento del agua son los que no tienen acceso seguro a ella, ya que por medio del saneamiento se protegen y mantienen las fuentes del agua libres de contaminantes.

⁹ Al respecto de esto, Lahera, realiza un comentario sobre la valía de abordar los temas de infraestructura hidráulica desde un punto de vista integrador; el urbanismo considero que es una disciplina que puede aportar a entender y resolver de manera más eficaz los temas de infraestructura. V."Viabilidad hidráulica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Contexto Nacional, Internacional y Local", Lahera R., Virginia, México, (2013), p.389

8. Hipótesis

Mediante el desarrollo de una metodología que considere la relación de oferta y demanda de ART, se podrán realizar proyectos de reuso más eficientes y viables para las zonas urbanas de México.

9. Marco Conceptual

El tratamiento de aguas residuales pertenece a las actividades incluidas en el saneamiento ambiental, se define como “el conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental, tanto en el ecosistema como en el medio urbano y rural. Comprende el manejo sanitario del agua, las aguas residuales y excretas, los residuos sólidos y el comportamiento higiénico que reduzca los riesgos para la salud y prevenga la contaminación. Tiene por finalidad la promoción y el mejoramiento de las condiciones de vida”,¹⁰ el concepto de saneamiento ambiental se relaciona con la salud de la población y el cuidado del ambiente, donde se busca lograr un ambiente libre de contaminantes y disminuir los agentes que son causa de la morbilidad en la población.¹¹

El tratamiento de aguas residuales se define como: “... la remoción en las aguas residuales, por métodos físicos, químicos y biológicos de materias en suspensión, coloidal y disuelta”,¹² donde se considera que el agua residual proviene de los diversos usos del agua. El tratamiento de aguas residuales se realiza en plantas diseñadas con parámetros específicos que incluyen: equipos de bombeo, tanques, aspersores, etc. que separan los contaminantes del agua residual. Dependiendo del tipo de planta y tecnología empleada, la calidad del agua resultante del proceso varía.

El tratamiento de aguas residuales, se emplea para evitar la contaminación de cauces y cuerpos receptores del agua, o para su reuso en actividades productivas (principalmente agrícolas e industriales) y para la conservación de cuerpos del agua en cauces naturales y artificiales. Según la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT) indica en su “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario” (MAPAS) que las estructuras para el tratamiento del agua son considerados parte de los sistemas de alcantarillado sanitario. Se considera que “De no existir estas redes de recolección de agua, se pondría en grave peligro la salud de las personas debido al riesgo de enfermedades epidemiológicas y, además, se causarían importantes pérdidas materiales”¹³. El MAPAS, considera que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se encuentran en contacto con la red de alcantarillado sanitario, mediante los colectores, interceptores y emisores de las

¹⁰ V. “Estrategia de cooperación técnica en saneamiento básico”, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, EUA, (2003), p. 2

¹¹ Ibidem

¹² V. “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado Sanitario”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, México (2009).

¹³ Ibidem. p. 2

aguas residuales, teniendo un carácter obligatorio en la planeación de las redes de alcantarillado sanitario.¹⁴ Las PTAR son el destino final de las aguas residuales de una red de alcantarillado sanitario y son por medio de estas que se realiza la descarga a cuerpos de agua y cauces.

La Academia Mexicana de Ciencias (AMC),¹⁵ considera en lo general tres niveles de tratamiento:¹⁶

1. Tratamiento Primario.

Tiene por objeto la separación de sólidos del agua residual, ya sean arenas, grasas, aceites o sólidos orgánicos e inorgánicos. Los métodos empleados para su separación incluyen tanques y canalizaciones donde se separa por medios mecánicos o por sedimentación los sólidos de mayor tamaño en el agua residual. Algunas plantas de tratamiento pueden o no poseer la separación de sólidos por tamaño, esto dependerá de las condiciones en que el agua residual es hecha. En algunos países se considera que el tratamiento primario es suficiente para el reuso en usos agrícolas o usos de riego, pero esto dependerá de las normas oficiales para la calidad del agua presentes en cada país.

2. Tratamiento Secundario.

Tiene por objeto la remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales, aquí se estabiliza la materia orgánica por medio de procesos químicos y físicos, que convierten la material celular no peligrosa, en gases y se libera energía. Existe una diversidad de tecnologías para realizar este nivel de tratamiento, pero en general consiste en añadir y controlar bacterias y químicos, con esto se logra estabilizar y eliminar la materia orgánica. El tratamiento secundario se emplea para agua tratada que será reusada con fines industriales, riego de espacios recreativos y mantenimiento de cuerpos de agua, ríos y cauces, es decir agua tratada que estará en contacto con la población de manera indirecta o directa.

3. Tratamiento Terciario

Consiste en la extracción de la materia orgánica aun presente en el agua proveniente de un tratamiento secundario. En este caso se emplean procesos muy específicos dependiendo del tipo de destino, por ejemplo la cloración, inyección de ozono y oxígeno, otros utilizan la desinfección por medio de rayos UV. El tratamiento terciario es un tipo de tratamiento aun en desarrollo y no han establecido tecnologías dominantes o estándar. El agua que recibe el

¹⁴ *Ibidem.* p. 80

¹⁵ V. "El Agua en México: Cauces y Encauces", Academia Mexicana de Ciencias, México, (2010), p. 191 y 228

¹⁶ En el MAPAS, no se establece una tipificación del nivel de tratamiento que reciben las aguas residuales, (que es empleada de manera generalizada en los temas de saneamiento de las aguas residuales). Es por esto que se recurre a la caracterización propuesta por la Academia Mexicana de las Ciencias.

tratamiento terciario puede ser empleada en regiones donde se requiera consumir agua potable y no se encuentre disponible.

También se presenta el empleo y diseño de tecnologías alternas para el tratamiento y pretratamiento de las aguas residuales a nivel doméstico, urbano y rural (sistemas alternativos que el MAPAS considera).¹⁷ Respecto a esto, Lahera ha recopilado soluciones de tratamiento y pretratamiento de aguas residuales a nivel de conjunto habitacional y doméstico. Estas soluciones han sido satisfactorias debido al detalle de sus propuestas procurando una eficiencia técnica y operativa.¹⁸

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales no se encuentran aislados de la infraestructura urbana. El Banco Mundial (BM) reconoce que existen relaciones estrechas entre la planificación urbana y la gestión del agua en ciudades. Estos puntos de contacto a continuación se describen:

- Planificación urbana y Zonificación.¹⁹ La regulación de las actividades de una ciudad mediante la zonificación permite dar un aprovechamiento eficaz del agua. La implementación de tecnologías para el ahorro de agua, como el consumo medido en domicilio, la separación de redes de alcantarillado sanitario o pluvial y el tratamiento son formas e instrumentos están relacionados con los servicios de dotación y desalojo del agua. Mediante la planificación, se establecen estrategias para el rescate de áreas de la ciudad con valor ambiental o áreas donde se realice la agricultura que emplean ART como un recurso para proyectos de rescate de cauces urbanos, mantenimiento de canales navegables y lagos, o el mantenimiento y riego de espacios públicos arbolados y la producción de alimentos en la ciudad.
- Diseño del paisaje urbano e imagen urbana.²⁰ Mediante la conservación de estas áreas libres de edificaciones y asfaltarían se contribuye a conservar el ciclo hidrológico del agua en la ciudad (al no interrumpir su infiltración y retención en el subsuelo). Al promover la introducción del tratamiento y reuso del agua en espacios libres como política urbana, se obtienen los recursos de agua para el mantenimiento de los espacios públicos y aporta a que la población mejore su opinión respecto a estos espacios.

¹⁷ V. "Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos", Comisión Nacional del Agua, México, CONAGUA, (2007)

¹⁸ V. "Infraestructura Sustentable: Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales", Lahera R., Virginia, (2010) p. 64-67 en Quivera (Revista Digital), donde se indican conjuntos urbanos que desde construcción que tomaron se cuenta las aguas residuales como elemento para el diseño de la vivienda y conjuntos habitacionales.

¹⁹ Es una herramienta de ordenación y dirección del desarrollo urbano, que permite la introducción y adecuación de la infraestructura urbana. Los aprovechamientos que se realizan son denominados usos del suelo, y estos poseen una relación con los servicios de dotación, desalojo y reuso del agua.

²⁰ La conservación de la imagen urbana, es una actividad que se realiza dentro las agencias de administración de la ciudad y que emplea recursos para mantener la cobertura vegetal de deportivos, parques, plazas, jardines, camellones, monumentos, etc.

- Valoración de activos de aguas urbanas. La valoración del agua se promueve por medio de programas de cultura del agua que llevan a cabo los gobiernos y los organismos de educación, para que los habitantes urbanos disminuyan el derroche y desperdicio del agua. Mediante el empleo de ART, para arroyos, cauces, lagos, parques y jardines se muestran las ventajas de un empleo eficiente del agua así como un reuso seguro, que repercutirá de manera que los habitantes tienen de su ciudad y su relación con el agua.

El BM observa con respecto a la gestión del agua; “[que las] deficiencias son producto de la excesiva dependencia de enfoques parciales en la gestión del agua y una limitada concepción del ciclo hidrológico, que no saca provecho de los problemas comunes que afrontan diferentes servicios urbanos”. Además a nivel institucional, aunque están presentes las autoridades de planificación urbana y de servicios de aguas, a menudo se consideran independientes entre sí, lo cual disminuye la capacidad de coordinación entre ellas. Hay un consenso general en la necesidad de adoptar “un enfoque integral de la gestión de aguas urbanas... .. [Que tome] en cuenta el contexto urbano al planificar la política del agua”.²¹

Para constituir un enfoque integral en la gestión de las aguas urbanas, es prioritario atender el tratamiento y reuso, así como los puntos de contacto entre planificación y gestión del agua. La Agencia para la Protección del Ambiente de Estados Unidos (USEPA por sus siglas en Inglés), en su guía para el Reuso del Agua²², menciona que para la planificación de estos sistemas de agua recuperada (reuso de agua tratada)²³ a nivel municipal, es necesario considerar al menos las siguientes preguntas:

- ¿El reuso del agua sería una práctica aceptada por la población en la comunidad, localidad o ciudad?
- ¿Existen consumidores potenciales? y ¿Cuáles son sus demandas de cantidad y calidad?
- ¿Cuál es la disponibilidad de agua tratada para ser reusada en los sistemas de distribución?²⁴
- ¿A qué marco normativo se somete el tratamiento y reuso de las aguas?

²¹ V. “Gestión Integral de Aguas Urbanas”, Banco Mundial, EUA, BM, (2012), p. 10

²² V. “Guidelines fo Water Reuse 2012”, United States Environmental Protection Agency, EUA, (2012), US-AID, p.47

²³ “Reclaimed Water” o Agua recuperada es un concepto que se refiere al agua tratada y que será reusada

²⁴ Para definir esto, es necesario plantear cuales son las condiciones actuales y futuras de capacidades instaladas y de operación de las PTAR, también debe considerarse el gasto medio de descarga de aguas residuales a las PTAR por horario, entre otras consideraciones, como los horarios de distribución del ART o el almacenamiento de esta.

También se recomienda que para el desarrollo y evaluación de proyectos de reuso de agua es necesario observar y seguir los siguientes pasos²⁵:

1. Identificar la cantidad de agua tratada disponible
2. Cubrir y definir todos los usos actuales y futuros del agua tratada, así como los usuarios de esta.
3. Identificar los usuarios potenciales
4. Determinar si los usuarios potenciales aceptarían el uso de agua tratada
5. Comparar la oferta de agua tratada con la demanda potencial (Balance)
6. Preparar un plan para la distribución del agua tratada
7. Finalizar la lista de usuarios potenciales e interesados
8. Establecer la viabilidad económica y financiera del proyecto
9. Establecer la lista final de usuarios y el tipo de distribución al que se ha acordado
10. Preparación de puntos de venta o espacios para la contratación de servicios de agua tratada
11. Obtener los permisos necesarios para la ejecución del proyecto
12. Llevar a cabo modernizaciones y adecuaciones de la infraestructura para la distribución de agua tratada
13. Realizar pruebas de conexión de la infraestructura con los usuarios
14. Comenzar a distribuir el agua tratada

Para que un proyecto de reuso del agua residual tratada en una ciudad resulte operativo, eficiente y financieramente viable, su planeación debe tomar en cuenta (como parámetro de diseño de la infraestructura urbana) la relación que existe entre la oferta de agua tratada y la demanda efectiva de esta. Proyectos de reuso que consideren estos aspectos, se estarán planteando de una forma eficiente, viable, sostenible y de valor para las ciudades.

²⁵ *Ibíd.*, p.48

II. ESTADO DEL ARTE DEL REUSO DEL AGUA

1. Panorama Internacional

a. Evolución del Saneamiento Urbano en el mundo

El saneamiento ambiental no es una actividad reciente, se comenzó a realizar a finales del s. XIX y se durante el s. XX,²⁶ cuando la revolución industrial, modifico la forma de vivir en las ciudades y los centros urbanos se transformaron en espacios donde la revolución tecnológica, la migración rural y la explosión demográfica, provocaron el hacinamiento y la pobreza. Fue cuando la salud en las ciudades se vio mermada por epidemias. el surgimiento de estas, estableció la necesidad realizar planes para el “saneamiento” urbano. El desalojo seguro de las aguas residuales, se convirtió en la primera prioridad atendida mediante estos planes.

Estos planes, integraron los avances tecnológicos para resolver el manejo de los residuos de lo ciudad, lo que logro el cambio de la estructura de las viviendas de la ciudad, de la ciudad.

El empleo de canaletas para el desalojo de las aguas residuales, permitió evitar la combinación de aguas potables con residuales, y permitió la introducción del agua a los domicilios. Con estas acciones

²⁶ Aunque proliferan las formas de referirse al tratamiento de las aguas residuales, la depuración se refiere a la extracción de los contaminantes y sustancias adicionadas al agua potable; se utiliza también saneamiento, refiriéndose a que con el proceso de depuración se obtendrá aguas “más sanas” o ambientalmente menos contaminadas, el empleo de este término es consecuencia de la herencia de los términos empleados por lo planes para el saneamiento de las urbes industriales y contaminadas del s. XIX y s. XX. Para más información referente a esto consúltese “Agua y Saneamiento en las Ciudades del Mundo”, Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos HABITAT, Reino Unido, (2003), p.159

se controló la proliferación de enfermedades, mediante la introducción de la asepsia y la higiene personal.

En el Londres del s. XIX, John Snow²⁷ promovió la adopción del alcantarillado público para el desalojo de las aguas residuales. Así se asentaron las bases para el desarrollo de las ciudades limpias, el enfoque que se mantuvo y mantiene a nivel internacional.

La ciudad limpia se convirtió en el modelo de ciudad de principios del s. XX, consolidando la forma de gestión de la infraestructura de dotación del agua y drenaje. El enfoque “Sanitarista” se convirtió en el predominante a nivel internacional y definió las tareas de los organismos de gestión del agua llevan, como:

- La construcción de las redes de distribución de agua en las ciudades para uso doméstico, industrial y/o comercial
- El mantenimiento y reparación de la red de distribución del agua en la ciudad
- La construcción de la red de alcantarillado para el desalojo de las aguas usadas
- La reparación de la red de alcantarillado
- La cobranza de los servicios de dotación de agua y alcantarillado

En el s. XX se presentó la evolución y adaptación de este enfoque, ante la escasez del agua. Pero la administración del agua no ha evolucionado a la par. Para tomar conciencia de la creciente presión y escasez de los recursos hídricos, la ONU definió la década de 1980 como “Década Internacional del Agua Potable y el Saneamiento” con el objetivo de alcanzar la cobertura universal de agua y de acceso adecuado al saneamiento.²⁸

Esta preocupación ha logrado un cambio en la forma de garantizar la dotación del agua y el saneamiento a un enfoque “ambientalista”, que promueve la conservación del agua y el ciclo hidrológico, el cual debe plantearse con una gestión integral de recursos hídricos para las ciudades,

²⁷ Al inglés John Snow se le puede atribuir la idea de emplear el alcantarillado público como opción para el saneamiento urbano; Snow en la historia de la medicina es asociado principalmente por su proposición de emplear el alcantarillado y el dren de las aguas para evitar la propagación del Cólera en Londres en 1854

²⁸ La ONU han observado deficiencias en materia de provisión de agua y saneamiento, por ejemplo la provisión de agua y el saneamiento no tienen una relación directa con el crecimiento de las ciudades como se esperaría. La presión por la demanda de los recursos hídricos de cada ciudad, se ha visto aumentada durante los últimos años, sin embargo, las ciudades han logrado responder con opciones convencionales (racionamiento y la medida en el consumo) o no convencionales (importación de agua de otras cuencas o el reuso). También se ha observado que la causa de la escasez del agua en las ciudades está asociada con rezagos en la gestión de esta, mas con la escases del agua. V. “Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012”, Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos HABITAT, Brasil, (2012), p. 108

considerando el desalojo del agua y tratamiento como el primer paso para el reuso.²⁹ Este enfoque se encuentra en adaptación a las diferentes realidades de cada país y ciudad.

Este cambio plantea nuevos retos para los organismos de dotación del agua del saneamiento urbano, como:

- Evitar la sobreexplotación y contaminación de las fuentes de agua disponibles
- Plantear sistemas eficaces para la distribución del agua evitando fugas y pérdidas
- Definir esquemas de alcantarillado efectivo que eviten el contacto de la población con el drenaje y recolecten la totalidad de las aguas residuales
- Construir sistemas para el tratamiento de las aguas residuales, así como destinos finales seguros para estas aguas y los lodos extraídos
- Promover al reuso del agua tratada como una fuente complementaria de agua

El enfoque ambientalista se consolidó en 1992, con los principios de Dublín sobre el agua. En forma resumida son los siguientes:³⁰

1. El agua es un recurso vulnerable y finito, y para su aprovechamiento es necesario adoptar enfoques de gestión que protejan las fuentes del agua
2. La gestión del agua debe plantearse con medios para la participación que involucren a diseñadores de política, proyectistas, administradores y usuarios, etc.
3. Para el diseño de las políticas de gestión del agua, es necesario adoptar una visión de género que considere la vulnerabilidad en la que se encuentran los grupos de la sociedad.
4. El agua tiene un valor económico y todo ser humano debe tener acceso al agua limpia y al saneamiento a un precio accesible. Y solo mediante el saneamiento de esta, se puede posibilitar el uso eficiente y equitativo del agua y la protección de los recursos hídricos.

A partir de lo anterior, el reuso de las aguas tratadas debe plantearse con un enfoque que incluya a los usuarios que pueden emplearla y a los distribuidores.

Durante la Cumbre del Milenio en el año 2000, se plantearon los objetivos del milenio al año 2015, en materia de agua se planteó la meta de reducir a la mitad el conjunto de gente sin acceso al agua potable y el acceso sostenible y seguro al agua. El aseguramiento de fuentes de agua potable y sostenible es uno de los objetivos más ambiciosos planteados debido a la creciente contaminación de

²⁹ Este enfoque, no se encuentra en directamente en contraposición al Sanitarista, sin embargo, si implica un gestión mas compleja del agua.. El enfoque Ambientalista plantea el uso responsable y sostenible de las aguas para evitar la contaminación y la sobreexplotación, todo esto por medio de una GIRH, a nivel de cuenca y ciudad.

³⁰ Consultado el 24/09/2014 en el sitio Web de la Organización Meteorológica Mundial, en su nota Declaración De Dublín Sobre El Agua Y El Desarrollo Sostenible (2014), en la URL, <https://www.wmo.int/pages/prog/hwarp/documents/espanol/icwedecs.html>

las fuentes de esta. El reuso de agua tratada es un medio para la ampliación de las fuentes de agua disponible y que contribuye a disminuir la contaminación de las fuentes sostenibles.

b. Aspectos que promueven el reúso del agua en las ciudades

Jiménez y Asano sostienen que la tendencia a la reutilización del agua tiene su base en la escasez.³¹ Han observado que los países desarrollados tienen una disponibilidad de agua *per capita* 58% mayor a los países en vías de desarrollo, pero todos los países tienen un índice de intensidad de uso del agua similar.

Si los países en vías de desarrollo continúan con su tendencia de crecimiento poblacional, aumentarán la presión de sus recursos hídricos, por lo cual, es probable que el reúso del agua tratada sea alentado en estos países, ya que la escasez de agua se presentará en usos agrícolas como de consumo urbano.

³¹ Jiménez, Blanca; Asano, Takashi Op. Cit., (2008) p.6

Tabla 1 Disponibilidad de Agua e Índices de intensidad de uso por regiones del mundo, grado de desarrollo y nivel de ingreso

Clasificación		Disponibilidad de agua per capita al año en 2006 (m ³ /capita-año)	Índice de intensidad de uso del agua al año 2000 (%)
Por regiones del mundo	Oriente Medio y Norte de África	1 383	62.8
	Asia (excluyendo Oriente Medio)	3 990	19.3
	México, Centro América y el Caribe	6 740	8.5
	Estados Unidos y Canadá	19 649	9.3
	Europa	10 680	6.4
	África Sub-sahariana	7 209	3.1
	Oceanía	53 290	1.6
	Sudamérica	45 400	1.3
Por grado de desarrollo	Países Desarrollados	11 392	9.0
	Países en Desarrollo	7 693	8.9
Por nivel de Ingresos	Países de Altos Ingresos	10 554	10.1
	Países de Ingresos Medios	10 171	6.9
	Países de Bajos Ingresos	5 894	12.1
A Nivel Global		8 462	8.9

Fuente: Adaptación y traducción propia, fuente original de *Water reclamation and reuse around the world* en *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. Jiménez, B., & Asano, T., Reino Unido, (2008), p. 4.

En Norteamérica, (EUA y Canadá), se ha adoptado el reuso como alternativa, a la creciente demanda de agua en zonas urbanas, a las legislaciones estrictas de descarga de agua residual, al aumento de los costos de transporte del agua y las restricciones ambientales de estos proyectos. Estados Unidos destaca en el reuso del agua, donde al menos el 88% de las aguas tratadas es utilizado, y es el primer país en tener una regulación con respecto al reuso del agua (1918) y la cual ha sido actualizada y adoptada a nivel internacional como norma estándar para los proyectos de reuso del agua tratada.³²

En contraste, Centroamérica, realiza el reuso con un enfoque de conservación ambiental y aprovechamiento de aguas residuales; el reuso se realiza en áreas de riego donde el suelo es pobre y la falta de tratamiento, permite el reciclaje de los nutrientes disueltos, lo que ha provocado la escasez de fuentes de agua limpias. Esto sucede principalmente en México y Perú, donde el agua residual no se trata en su totalidad y se emplea para la irrigación por agricultores y productores, debido a que tiene un ínfimo costo o es gratis. La política en estos países se centra en regular, el reuso indirecto del agua y se encuentra aún en desarrollo la implementación y/o instrumentación del reuso intencionado. Además, el reuso del agua sin tratamiento se ha propiciado por la existencia de descarga de aguas residuales sin previo tratamiento de origen urbano. El reuso de agua tratada intencionado para uso industrial y urbano está presente, pero no es representativo (4 m³/s).³³

En el plano internacional, la relación estrecha entre ciudad y producción agrícola, ha llevado a un fenómeno de reuso de las aguas residuales denominado agricultura urbana. Este se realiza típicamente en las ciudades de los países en desarrollo y consiste en la irrigación de parcelas agrícolas pequeñas (0.5 – 2 Ha) intraurbanas y periurbanas, para la producción de árboles frutales, forrajes, flores y vegetales (en algunos casos incluye la crianza de peces). Su existencia depende de la presencia de tres factores:

- 1 Disponibilidad de agua (con tratamiento o sin este),
- 2 Demanda de alimentos frescos por una zona urbana proxima
- 3 Presencia de grupos vulnerables o de bajos ingresos³⁴

³² Las denominadas USEPA Guideline for Water Reuse 2012, es un documento que indica los principales aspectos a considerar en la planeación, construcción ejecución y operación de los sistemas de reuso de agua, este compendio completo trata de ofrecer una guía paso a paso para la introducción de sistemas de reuso agrícolas, domésticos, municipales, urbanos e industriales. Los documentos pueden ser consultados en internet en la dirección www.watereuse.org/government-affairs/usepa-guidelines.

³³ Jiménez, Blanca; Asano, Takashi Op. Cit., (2008) p.15

³⁴ V. "The Beautiful City: Gardens in the Third world", Cockram, M.; Feldman, S., EUA, (1996), p.15

La agricultura urbana contribuye a la generación de ingresos mediante la producción de alimentos, bajo el riesgo de generar un espacio propicio para la propagación de enfermedades.³⁵ En el 2008, se estimó que entre el 10% - 70% de las personas que viven en las ciudades mundo, depende de la agricultura urbana y que por lo menos el 50% de los vegetales producidos de África hasta Asia son producidos de esta forma.³⁶

En el futuro urbano planteado por la ONU al año 2025, la gestión del agua se enfrentará a la creciente demanda de agua para usos urbanos y por ende, el aumento de las aguas a tratar. En relación a esto, Jiménez y Asano reconocen tres tipos de reuso del agua potenciales:

1. Reuso que demanda un tratamiento simple o de baja calidad, para llenado lagos, fuentes ornamentales, espejos de agua y cuerpos de agua artificial, irrigación de áreas públicas parques y jardines, y limpieza de calles y algunos usos no convencionales como los servicios de bomberos e hidrantes en caso de incendio,
2. Reuso que demanda procesos de tratamiento complejos, ya que su uso implica exposición al público y puede presentar riesgos a la salud. Este tipo de reuso, incluye el consumo del agua. aunque puede incluir también algunos destinos antes mencionados.³⁷
3. El reuso del agua en la industria para disminuir del consumo del agua. Cada industria tiene un uso específico del agua en la producción, uno de los mas comunes es la limpieza de maquinaria y enfriamiento de esta.³⁸

La política de la gestión del agua se maneja de manera diferencial entre los usos municipales, agrícolas e industriales. Esto es realizado por los organismos locales de gestión del agua. Por ejemplo, en tiempos de escasez y sequía, los gobiernos y organismos del agua tienden a garantizar el abasto de agua a usos municipales y en segundo lugar a usos agrícolas, dejando en última prioridad la provisión a industrias, lo cual aumenta el riesgo de operación de los negocios entorno a las industrias de las

³⁵ Jiménez y Asano exponen que, los productores agrícolas pueden implementar tecnologías de bajo costo para evitar la presencia de los patógenos que generan estas enfermedades. Pero estas opciones no han sido del todo exploradas y reconocidas desde el ámbito académico e institucional. V. Jiménez, Blanca; Asano, Takashi Op. Cit., (2008) p.23

³⁶ V. "Water - more nutrition per drop. Towards sustainable food production and consumption patterns in a rapidly changing World", Stockholm International Water Institute - International Water Management Institute, Suecia, (2006).

³⁷ Esto se definirá en base a la legislación en materia de agua residual de cada ciudad, estado o país.

³⁸ Se hace necesario resaltar que, el reuso industrial del agua tratada es se encuentra regulado estrictamente regulado y es costoso para las empresas. Al respecto Jiménez y Asano indican que, para alentar el reuso del agua industrial es necesario ofrecer incentivos económicos, primas o beneficios fiscales. En la industria, el consumo, reciclaje y reuso del agua resulta un proceso que incluye criterios específicos con respecto a la calidad y cantidad del agua, rentabilidad financiera y los recursos para su implementación. V. Jiménez, Blanca; Asano, Takashi Op. Cit., (2008) p. 24

regiones que hídricamente están estresadas o el agua es escasa. Esta situación se ve reflejada en ciudades que han impuesto, estrictas normas de regulación de descarga de las aguas residuales a las industrias (en vez de alentar el reciclaje de las aguas y el reuso de estas en otras industrias). Esta situación ha devenido tanto en la expulsión de las industrias de los núcleos urbanos, así como la pérdida de empleos en las ciudades, esta dinámica se ve reforzada por desarticulación de las cadenas de producción industrial intraurbanas y el éxodo forzado por la adopción de políticas que no incentivan y promueven el reuso del agua.

2. Panorama en México

a. Inventario de PTAR y reuso del agua en las zonas urbanas de México

La Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) reporta para el año 2009 un total de 2 422 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).³⁹ Para el desarrollo de un inventario de saneamiento a nivel urbano, se identificaron las PTAR, en base al Sistema de Consulta de Información Censal para el año 2010 (SCINCE 2010) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Se logró ubicar 2398 PTAR en 1909 localidades rurales y urbanas del país.

En 2009 la capacidad total de tratamiento de aguas residuales en México fue de 4 020.2 hm³/año, con un caudal de 88.47 m³/s. El 37.8% de las aguas colectadas en el alcantarillado público recibieron tratamiento

Tabla 2 Volumen de ART urbanas en México 2009

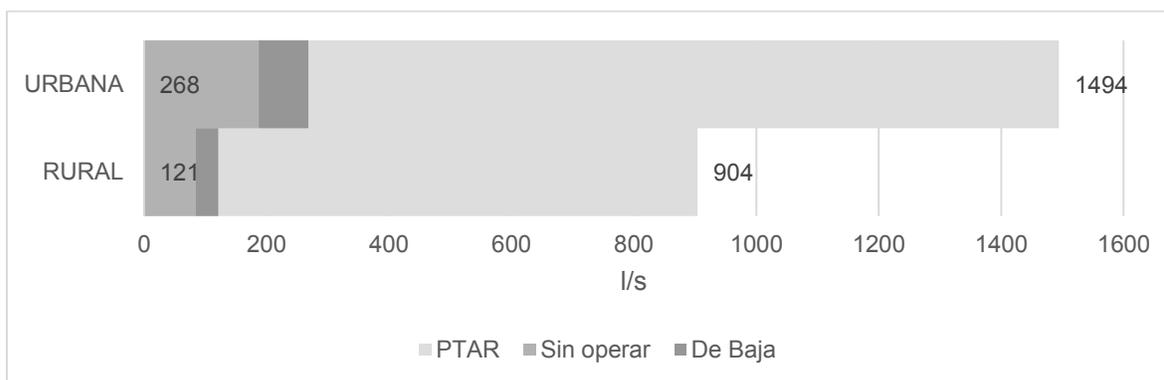
Volumen de aguas concesionada para Abastecimiento Público	Agua residuales colectada en alcantarillados municipales	Volumen de aguas que recibieron tratamiento en zonas urbanas
11 200 hm ³	6 560 hm ³	2 480.1 hm ³
100%	58%	22%

Fuente: Elaboración propia con datos de "Estadísticas del Agua en México Edición 2010", Comisión Nacional del Agua, México, (2010)

De las 2 398 PTAR, el 62% se encuentran en zonas urbanas y tienen una capacidad instalada de 3629.3 hm³. Las PTAR urbanas aportaron el 88% del volumen total de aguas tratadas y las PTAR rurales el 12% restante. A continuación se muestra gráfico comparativo entre número de PTAR por tipo de localidad en México y estado de las mismas

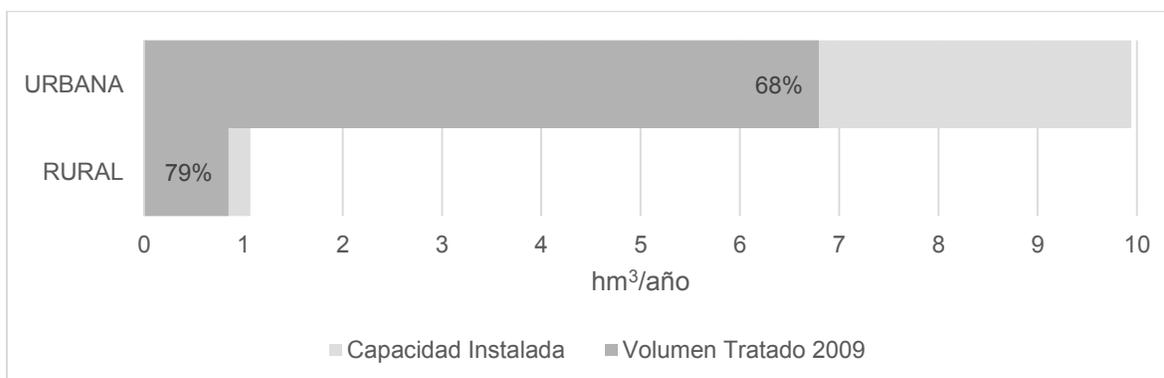
³⁹ Consúltense sitio WEB de la CONAGUA en su apartado Infraestructura Hidráulica, en su documento libre para descarga "Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2004-2009"

Ilustración 1 PTAR en México por tipo de localidad y estado (2009)



Fuente: Elaboración propia basado en datos de la CONAGUA en "Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2004-2009" documento digital

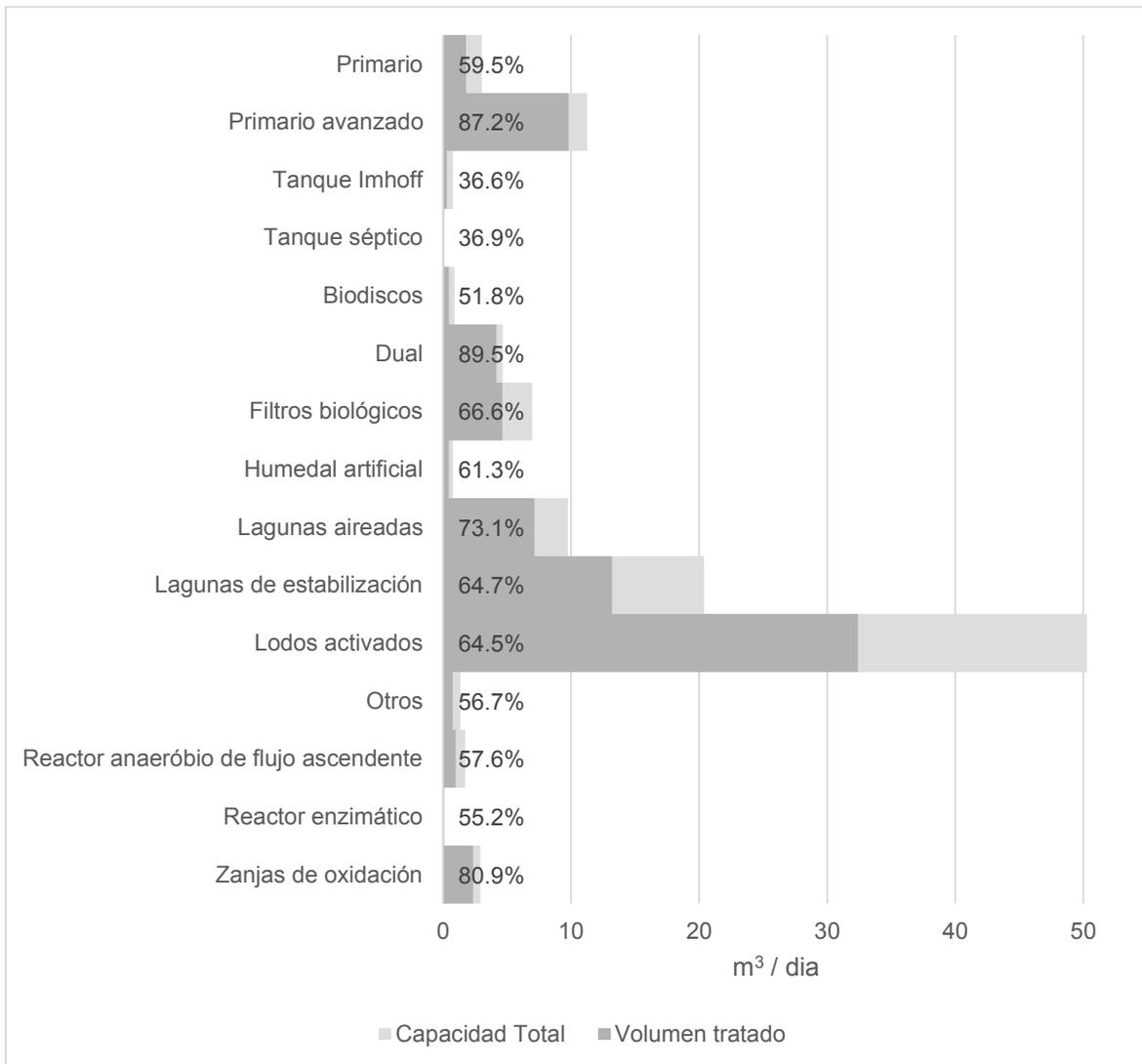
Ilustración 2 PTAR en México Comparativo de Capacidad Instalada y Volumen Tratado Anual (2010)



Fuente: Elaboración propia basado en datos de la CONAGUA en "Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2004-2009" documento digital

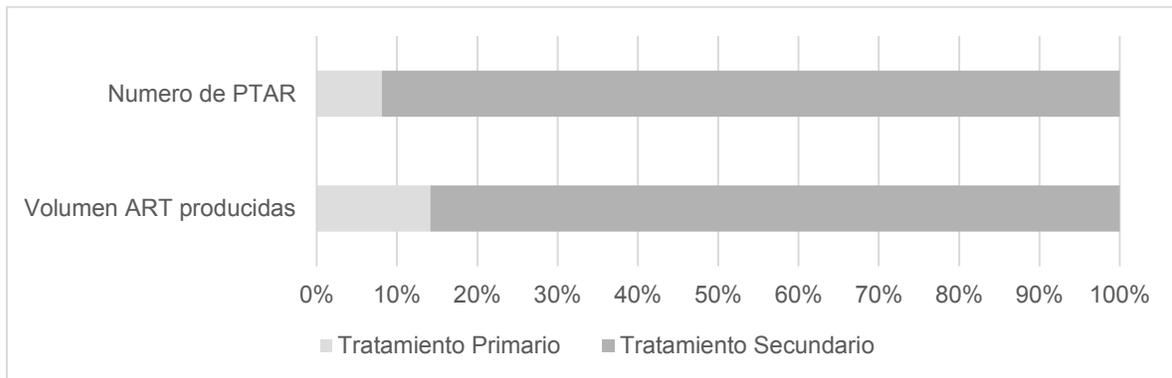
Las 1494 PTAR urbanas, emplean 15 diferentes tipos de tecnologías de tratamiento. Abarcan desde el nivel de tratamiento primario hasta el secundario. Las tecnologías más son: Lodos Activados y Lagunas de estabilización. Estas dos tecnologías tratan el 67% de las aguas residuales. La media de eficiencia en operación de las PTAR es del 62.8%; las tecnologías de mayor eficiencia son: Primario Avanzado, Dual y Zanjas de Oxidación

Ilustración 3 Tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas residuales en Zonas Urbanas de México (2010)



Fuente: Elaboración propia basado en datos de la CONAGUA en "Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2004-2009" documento digital

Ilustración 4 Cuadro comparativo entre Niveles de Tratamiento y Numero de PTAR y Volúmenes de producción de ART (2010)



Fuente: Elaboración propia basado en datos de la CONAGUA en "Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2004-2009" documento digital

El destino de las aguas residuales tratadas, se adecua al contexto de cada ciudad. A partir de este concepto, se realizó una clasificación de los reusos en base a la información disponible obtenida de la CONAGUA para el año 2009.⁴⁰ A continuación se muestra la tabla de reuso del agua en México.

⁴⁰ Esta clasificación se realizó tomando en base a criterios el reuso del agua dependiendo principalmente del destino del ART, la intencionalidad o no del reuso y los métodos para su distribución. Durante el análisis de datos de las PTAR, se identificó la ausencia de información en los campos de destino del agua residual tratada, sin embargo se mantuvieron estos campos en la categoría "No Definido". Se mantuvieron ya que estos representan un porcentaje no despreciable del volumen de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 3 Definición de principales tipos de Reuso de ART en México (2010)

Tipo de reuso	Destinos del ART	Características del reuso	Forma de distribución
Reuso Urbano	Industrias y Comercios Áreas verdes, parques jardines y plaza Limpieza de calles y mantenimiento de imagen urbana Programas de infiltración de ART al subsuelo	Intencionado – Por la planeación de sistemas para dotación de ART o programas para su distribución constante o periódica	Directa – Mediante la distribución por bombeo por tubería o abasto por carro tanque
Reuso Agrícola	Distritos de riego intraurbanos y periurbanos	Intencionado y no intencionado – El reuso se realiza para la producción de alimentos por usuarios identificados y no identificados	Directa e indirecta – Mediante tubería o por canales de riego para su aprovechamiento
Reuso cauces y arroyos	Ríos, arroyos, drenes y barrancas	Intencionado y no intencionado – El reuso del ART se realiza para la recuperación o no de cauces	Directa – Mediante estructuras de descarga a cauces
Descarga a cuerpos de agua	Lagos naturales y artificiales, pantanos, terrenos inundables, lagunas y mares	No intencionado – Por descarga de ART con un reuso incidental y sin una definición de los usuarios o beneficiados	Directa e indirecta – Por medio de canalizaciones o escurrimientos hacia estos terrenos.
Disposición sin reuso	Terrenos rústicos	No intencionado – se realiza la descarga de ART a terrenos sin un fin de reuso	

Fuente: Elaboración propia basado en datos de la CONAGUA en "Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2004-2009" documento digital

El caudal de agua que se reusa es 78.6 m³/s, su principal destino es la descarga a arroyos, drenes y canalizaciones que reintegran el agua al medio ambiente. El reuso urbano y agrícola representa el 36%, en contraparte el reuso ambiental es del 59%.

Tabla 4 Estado del reuso de ART en México (2010)

Tipo de Reuso	PTAR	Capacidad instalada para la distribución de ART (m ³ /s)	Caudal producido en 2010 (m ³ /s)	
Reuso Urbano	233	21.7	13.7	17.5 %
Reuso Agrícola	172	20.7	14.7	18.7 %
Reuso cauces y arroyos	715	53.4	36.6	46.6 %
Descarga a cuerpos de agua	188	11.7	9.6	12.1 %
Disposición sin reuso	17	0.3	0.1	0.1 %
No Definido	169	7.3	3.9	4.9 %
	1494	115.1	78.6	100%

Fuente: Elaboración propia basado en datos de la CONAGUA en "Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2004-2009" documento digital

b. Normatividad en materia de tratamiento y reuso del agua en México

La normatividad vigente en México entorno a la reglamentación, regulación y política del reuso de las aguas residuales tratadas se encuentra principalmente en tres documentos de carácter nacional, estos son:

- Ley de Aguas Nacionales
- Normas Oficiales Mexicanas que reglamentan las aguas tratadas
- Programa Nacional Hídrico 2013-2018.

La Ley de Agua Nacionales (LAN), establece que reuso es: “la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales con o sin tratamiento previo.”⁴¹

La LAN, establece que los principios generales que sustentan la política hídrica de México buscan que “El aprovechamiento del agua debe realizarse con eficiencia y debe promoverse su reuso y recirculación”.⁴² Se reconoce que la planificación hídrica es de carácter obligatorio para lograr una gestión integrada de los recursos hídricos. La formulación, implantación y evaluación de la planificación hídrica comprenderá a “Los subprogramas específicos, regionales, de cuencas hidrológicas, acuíferos, estatales y sectoriales que permitan atender problemas de escasez o contaminación del agua, ordenar el manejo de cuencas y acuíferos, o corregir la sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas...”.⁴³ El reuso del agua tratada, debe realizarse de manera planificada y los proyectos deben promover reuso intencionado de esta.

La autoridad encargada a nivel nacional de ejercer la autoridad y las atribuciones en materia de los recursos hídricos del país es la CONAGUA.⁴⁴ Entre sus atribuciones con respecto al reuso del agua se encuentran:

- “fomentar y apoyar los servicios públicos urbanos y rurales de agua potable, alcantarillado, saneamiento, recirculación y reuso en el territorio nacional.

⁴¹ Las aguas residuales son consideradas como “las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas”. Señalemos que en México no existe un concepto para el agua recuperada mediante la depuración y el tratamiento. V. “Ley de Aguas Nacionales”, Cámara de Diputados, México, DOF (2013), p.2

⁴² Ibidem p.34

⁴³ Ibidem p.6

⁴⁴ Ibidem p.5. Para su organización, la CONAGUA se puede organizar a dos niveles, una de carácter Nacional (con intereses y atribuciones a Nivel Federal) y a nivel Regional Hidrológico – Administrativo, a través de los organismos de Cuenca.

- “Fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; los de saneamiento, tratamiento y reúso de aguas; contratar, concesionar o descentralizar la prestación de los servicios que sean de su competencia o que así convenga con los Gobiernos Estatales y, por conducto de éstos, con los Municipales”.⁴⁵

Mediante los Consejos de Cuenca⁴⁶ se llevan a cabo las atribuciones de CONAGUA que consisten en “Impulsar el uso eficiente y sustentable del agua, y en forma específica, impulsar el reúso y la recirculación de las aguas”,⁴⁷ es responsabilidad directa de los consejos de cuenca.

La concesión de los recursos hídricos es el esquema por el cual se regula la explotación, uso o aprovechamiento del agua. Pero, para que se considere una petición de concesión de recurso hídricos es necesario que se presente “El proyecto de las obras a realizar o las características de las obras existentes para su extracción y aprovechamiento, así como las respectivas para su descarga, incluyendo tratamiento de las aguas residuales y los procesos y medidas para el reúso del agua, en su caso, y restauración del recurso hídrico...”⁴⁸ Los que adquieran los títulos de concesión deben procurar “Cumplir con los requisitos de uso eficiente del agua y realizar su reúso en los términos de las Normas Oficiales Mexicanas o de las condiciones particulares que al efecto se emitan”.⁴⁹

Es obligatorio que los concesionarios del agua hagan “Descargar las aguas residuales a los cuerpos receptores [con un] previo tratamiento... .. y procurar su reúso”.⁵⁰ En el caso de no cumplir con estas obligaciones, las concesiones pueden ser revocadas. Los organismos gubernamentales, en sus tres niveles de gobierno pueden establecer sistemas regionales de depuración del agua, siempre y cuando se realicen conforme a estudios y se defina la parte de los costos que deberán cubrir cada uno de los municipios y estados. Esta modalidad de tratamiento del agua deberá convenirse con los organismos de cuenca y con la CONAGUA.

⁴⁵ Ibidem p.14

⁴⁶ Los consejos de cuenca son los organismos que el consejo técnico a nivel federal decide formar, para la concurrencia de los diferentes intereses, demandas y necesidades en torno al agua en una cuenca hidrográfica, estos se componen de un representante designado por el consejo técnico de la CONAGUA (a nivel federal), representantes de los gobierno de la cuenca hidrográfica (a nivel estatal y municipal), y representantes de organizaciones ciudadanas.

⁴⁷ Diario Oficial de la Federación, Ley de Aguas Nacionales, en op. cit., p.29

⁴⁸ Ibidem p.40

⁴⁹ Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son estándares establecidos por SEMARNAT, las cuales definen las concentraciones máximas de contaminantes permisibles en la descarga de aguas residuales y tratadas por los usos de consuntivos del agua, definidos por la LAN.

⁵⁰ Diario Oficial de la Federación, Ley de Aguas Nacionales, en op. cit., p.48

Además, es responsabilidad de los organismos gubernamentales, “la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas que les hayan asignado, incluyendo las aguas residuales, desde los puntos de extracción y/o su entrega, hasta la devolución de estas a cuerpos receptores...”. Su explotación, uso y aprovechamiento lo podrán realizar mediante sus propias autoridades paraestatales o podrán realizar concesiones conforme a lo establecido en la LAN.⁵¹

En la LAN el reuso es un tema que está suscrito y subordinado a los temas de saneamiento de las aguas residuales, de los derechos de descarga de aguas residuales o de la gestión integrada de recursos hídricos. El reuso es una atribución de los consejos de cuenca, organismos de cuenca y de la CONAGUA, además de ser un eje de sustento de la política hídrica y se debe hacer conforme a las NOM en materia de aguas residuales, tratadas y descargas a aguas nacionales.

La LAN establece en México, una gestión descentralizada de los servicios de provisión de agua potable, de saneamiento y drenaje urbano,⁵² con una administración de los recursos económicos y materiales centralizada y dependiente de los organismos de cuenca, CONAGUA y de la coordinación con los diferentes niveles de gobierno.

Para que se realice un proyecto para el reuso del agua en una ciudad, este proyecto tendrá que hacerse promover con el gobierno del estado y el organismo de cuenca correspondiente. Después la CONAGUA evaluará con el organismo de cuenca y los gobiernos la viabilidad del proyecto para coordinarse en la adquisición de recursos económicos para construcción y mantenimiento. La designación de recursos económicos y materiales se hará solo mediante la aprobación del consejo de cuenca y la CONAGUA.⁵³

Este proceso puede ralentizar o cooptar los proyectos y acciones que promuevan el reuso del agua, más si se carece de una estructura de gobierno sólida y una claridad en torno a la viabilidad del proyecto. La ausencia de una figura jurídica para el reuso, dificulta la conformación de estándares para su promoción. Lo cual ha provocado que se opte por sistemas de reuso del agua de carácter indirecto o incidental que están reglamentados por las leyes y/o normas oficiales, que resultan simples de implementar, pero difíciles de gestionar y de acordar entre las autoridades interesadas.

⁵¹ Es en este artículo, donde se conforma de manera incidental el concepto de agua recuperada, pero de manera superficial y subordinada a la asignación de las aguas por parte de la CONAGUA.

⁵² Esta condición está dada por el Artículo 115 fracción III donde se establece que los municipios tendrán a cargo las funciones y servicios públicos en “Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales”

⁵³ Este proceso resulta simple, sin embargo, puede verse complicado debido a composición política de los organismos de cuenca, al entorno político presente en los municipios y estados de las cuencas y las condiciones en las que se encuentre el agua.

En México, las NOM son las normas que la LAN considera como las normas vigentes en torno a la descarga, tratamiento y reuso de las aguas residuales. Las NOM en materia de reuso del agua o referente a esta, son las siguientes:⁵⁴

- NOM-001-SEMARNAT-1996
- NOM-002-SEMARNAT-1996
- NOM-003-SEMARNAT-1997
- NOM-004-SEMARNAT-2001

A continuación se presenta un cuadro que resume los aspectos que observan las normas técnicas y los parámetros que observa por las NOM.

Tabla 5 Resumen de Aspectos Regulados por NOM en materia de ART 2014

Norma	Aspecto regulado	En	Variables y elementos observados
NOM-001-SEMARNAT-1996	Contaminantes en descarga de Aguas residuales a bienes y aguas nacionales	Ríos Embalses Naturales y Artificiales Aguas Costeras Suelos	Temperatura del agua Grasas y Aceites Materia Flotante Solidos Sedimentables Solidos Suspendidos Totales Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrógeno Total Fosforo Total
NOM-002-SEMARNAT-1996	Contaminantes que se descargan a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal	Sistemas de Alcantarillado Urbano y Municipal	Grasas y Aceites Solidos Sedimentables Arsénico Total Cadmio Total Cianuro Total Cobre Total

⁵⁴ V. "Tratamiento de Aguas Residuales en México", De la Peña, María Eugenia; Ducci, Jorge; Zamora, Viridiana Plascencia, México, (2013)

			Cromo Hexavalente Mercurio Total Níquel Total Plomo Total Zinc Total
NOM-003-SEMARNAT-1997	Contaminantes presentes en las aguas residuales tratadas que se reúsen para servicios al público	Servicios al público con contacto directo Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	Coliformes Fecales Huevos del Helminto Grasas y Aceites Deficiencia Bioquímica de Oxígeno Sólidos Suspendidos Totales
NOM-004-SEMARNAT-2001	Contaminantes presentes en lodos y biosólidos	Concentración de metales pesados Concentración de patógenos y parásitos	Arsénico Total Cadmio Total Cromo Total Cobre Total Plomo Total Mercurio Total Níquel Total Zinc Total Coliformes Fecales Salmonella Huevos de Helminto

Fuente: Elaboración propia en base a NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997, NOM-004-SEMARNAT-2001, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, DOF, México, (1996; 1997; 1998; 2002).

La NOM-003-SEMARNAT-1997, establece cuáles deben ser las características del agua que se produce en las plantas de tratamiento de las aguas residuales, en base a un contacto incidental del agua tratada con los usuarios de los destinos del agua tratada.

El Programa Nacional Hídrico 2013-2018 (PNH2013-2018) es instrumento del cual emana la política pública a aplicar en los recursos hídricos. Su formulación está inscrita en las obligaciones y atribuciones que tienen el Poder Ejecutivo Federal.⁵⁵

El PNH 2013-2018, reconoce que es necesario asegurar la sustentabilidad hídrica en México. La línea política que dirige el reuso del agua, consiste en plantear una política de “manejo responsable y sustentable del agua para orientar su uso y consumo racionales”.⁵⁶

Los objetivos políticos planteados con respecto al reuso del agua tratada se presentan en la siguiente tabla, se resumen los puntos de contacto objetivos, estrategias y líneas de acción:

Tabla 6 Objetivos, Estrategias y Líneas de Acción entorno al Reuso del agua en ciudades planteadas en PNH 2013-2018 y su relación con el reuso del agua en ciudades

Objetivo	Estrategia	Línea de acción	Reuso del agua en ciudades
Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua	Ordenar la explotación y el aprovechamiento del agua en cuencas y acuíferos	Reutilizar todas las aguas residuales tratadas.	Ya que la producción de las aguas tratadas se realiza próximo a zonas urbanas, para el reuso de la totalidad de estas, se deberá de considerar métodos para la distribución del agua, uso y aprovechamiento en usos industriales, municipales y/o agrícolas
		Establecer un sistema de gestión	Considerar la gestión del agua en todas sus etapas, es vital para la integración de sistemas

⁵⁵ . El PNH está subordinado e inscrito con 5 objetivos planteados en el Plan Nacional de Desarrollo establecido para México en el periodo 2013 -2018

⁵⁶ Programa Nacional Hídrico 2014-2018”, Gobierno de la Republica, SEMARNAT, México (2014) p. 57

		de proyectos del sector hídrico con visión de corto, mediano y largo plazos.	más eficientes para la provisión, saneamiento y reuso del agua en ciudades. La adopción de horizontes temporales para implementar acciones de reuso del agua es un medio para gestionar los recursos presupuestales escasos. Además la planeación de obras con un enfoque de corto mediano y largo plazo, permite integrar el reuso del agua como un planteamiento para planes de desarrollo urbano y mejora de los servicios públicos e imagen urbana
	Mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos	Fortalecer la medición y evaluación de la calidad del agua y sus principales fuentes de contaminación.	El planteamiento de sistemas para el reuso del agua en usos municipales, industriales y agrícolas, requiere necesariamente la medición y monitoreo continuo de las aguas que se van a emplear y los contaminantes presentes en estas.
		Modificar la normatividad sobre descargas de aguas residuales para contribuir a un marco de sustentabilidad de la calidad del agua.	Para el reuso del agua en ciudades es necesario incorporar una figura jurídica, que dé certeza jurídica para adoptar el reuso. De manera indirecta, la reglamentación del reuso del agua permite establecer la base para la introducción de empresas que consuman y produzcan agua recuperada.
Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento	Sanear las aguas residuales municipales e industriales con un enfoque integral de cuenca hidrológica y acuífero	Mejorar el funcionamiento de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales.	Para la adopción de esquemas de reuso del agua, el mantenimiento de la infraestructura es un tema prioritario. La distribución del agua a reusar debe plantearse basados en esquemas similares a la dotación de agua. Otro elemento a considerar es la correspondencia de la demanda de los usos potenciales del agua y la oferta presente de infraestructura para dotar el agua tratada.
		Construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales.	Para el reuso del agua, la construcción de nueva infraestructura debe procurar su eficiencia en la colección de las aguas residuales y su depuración y procurar la separación de las aguas de origen pluvial. En zonas rurales debe adoptarse sistemas de depuración simples pero efectivos en la separación de contaminantes de origen agrícola, estos en general emplean arenas, gravas humedales y tecnologías que emplean poca energía para su operación.

		<p>Impulsar el uso y manejo de fuentes de energía alternativas para el autoconsumo en procesos de tratamiento de aguas residuales.</p>	<p>El reúso del agua, debe plantear esquemas sostenibles para su desarrollo y creciente expansión, entendido en aumento de volúmenes de tratamiento de aguas como usuarios que empleen el reúso como fuente alternativa de agua. Es necesario que los sistemas de reúso del agua se diseñen teniendo en cuenta el potencial que estos tienen para la producción de energía y el reciclaje de esta en las plantas de depuración. Elementos a considerar para plantear el diseño deben basarse en la tecnología empleada para la depuración y el costo energético y financiero que tienen</p>
--	--	--	---

Fuente: Elaboración propia en base "Programa Nacional Hídrico 2014-2018", Gobierno de la Republica, SEMARNAT, México (2014) pp. 63 – 75

En México, se posee un esquema normativo que regula directamente las descargas de aguas residuales tratadas a cuerpos de agua y bienes nacionales, se reglamenta mediante permisos para descarga. El saneamiento de las aguas es obligatorio, pero el reúso se limita a una recomendación y su figura jurídica está ausente.

Desde la política se mantiene una posición optimista respecto al reúso del agua, pero se ignora, la necesidad de reglamentar y estipular planes para el reúso del agua.⁵⁷ Para promoverse el reúso, éste tendrá que adquirir un carácter de obligatoriedad ya sea por medio de NOM que establezcan un volumen en calidad y porcentaje de tratamiento de descarga de aguas residuales o por una figura jurídica reglamentada.

⁵⁷ La NOM-014-CONAGUA-2003, es un ejemplo de NOM que define las características necesarias para la presentación de proyectos para el reúso del agua como medio para la recarga de acuífero.

c. Indicador para la promoción del reuso del agua en el distrito federal

Para poder dimensionar el potencial de reuso del agua tratada en una zona urbana de México, se desarrolló un indicador, basándose en los datos de los organismos de operación del agua potable, drenaje y saneamiento.

Se desarrolló este indicador con datos del Distrito Federal (DF), ya que es una entidad federativa que destaca en el reuso del agua tratada. En este caso, el organismo encargado de la operación del sistema de abasto, tratamiento y desalojo de las aguas residuales es el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).

Esta empresa pública durante el año 2014 gastó o ejerció, \$9,827 Millones de pesos (mdp) para los servicios del agua en el DF. Su presupuesto fue asignado en 15 ramas de gasto que cubrió el abasto, operación, mantenimiento, sustitución y ampliación de las redes de agua potable, alcantarillado urbano y saneamiento de las aguas. Para la conformación de un indicador se agruparon en 7 actividades principales y 3 grandes grupos. Las actividades son:

- Extracción y trasvase de agua potable
- Construcción, rehabilitación, ampliación, sustitución y mantenimiento de la red de agua potable
- Operación de la red de agua potable
- construcción, rehabilitación, ampliación, sustitución y mantenimiento del sistema de drenaje
- Operación del sistema de drenaje
- Construcción, rehabilitación, ampliación, sustitución y mantenimiento de la red de distribución de aguas tratadas
- Operación del tratamiento de aguas residuales

El gasto en agua potable ocupó el 67% del presupuesto, el agua residual el 28.4% y agua tratada ocupa el 4.6%. Con este presupuesto se atendió la demanda de abasto de agua potable, desalojo de aguas residuales y tratamiento de los 8,874,724 habitantes del DF.⁵⁸

El gasto alto en agua potable, se debe a los costos que se presentan en la extracción transporte y potabilización del agua.. El agua residual es el segundo rubro mas importante, ya que para que el drenaje funcione se depende de equipos de bombeo y conducciones que requieren mantenimiento y energía para su operación. El gasto en agua tratada es considerablemente bajo con respecto a lo que

⁵⁸ V. "Distrito Federal: Indicadores demográficos, 2010-2030", Consejo Nacional de Población, México. (2015).

se ejerce para agua potable y residual. Se considera que no se gasta en este rubro por tres razones principalmente.

1. Los rubros de agua potable y agua residual abarcan casi la totalidad de los recursos financieros de esta empresa
2. Se considera que el tratamiento de las aguas residuales es caro con respecto a su desalojo.
3. No se han exploran las ventajas comparativas del reusó del agua tratada.

Para poder medir si este presupuesto es bajo o no, será necesario estimar cuál es el costo que los habitantes de la ciudad pagan por el agua residual y cuál es el costo por metro cúbico del agua tratada.

Tabla 7 Presupuesto Ejercido por SACMEX 2014

	Actividad	Presupuesto ejercido (mdp)	
Agua Potable	Extracción y trasvase de agua potable	\$ 2,825.86	28.8%
	Construcción, rehabilitación, ampliación, sustitución y mantenimiento de la red de agua potable	\$ 1,092.07	11.1%
	Operación de la red de agua potable	\$ 2,662.40	27.1%
Agua Residual	Construcción, rehabilitación, ampliación, sustitución y mantenimiento del sistema de drenaje	\$ 1,636.07	16.6%
	Operación del sistema de drenaje	\$ 1,163.86	11.8%
Agua Tratada⁵⁹	Construcción, rehabilitación, ampliación, sustitución y mantenimiento de la red de distribución de aguas tratadas	\$ 195.80	2.0%
	Operación del tratamiento de aguas residuales	\$ 251.58	2.6%
	Total	\$ 9,827.63	100.0%

Fuente: Elaboración propia en base a datos del "Presupuesto 2014", Sistema de Aguas de la Ciudad de México, México, (2015)

⁵⁹ Los datos presentados en esta parte son estimaciones, ya que en el informe presupuestal de 2014 no desglosa el gasto en materia de agua tratada. Los datos se estimaron a partir de datos obtenidos de 2010, donde se desglosan los gastos. V. "Presupuesto 2010", Sistema de Aguas de la Ciudad de México, México, (2015).

En 2014, se gastaron 1,107.45 pesos por habitante para mantener los servicios del agua. Por cada habitante del DF se ejercieron \$50.4 pesos para mantener el tratamiento de las aguas residuales. A continuación se presenta el costo por habitante desglosado para agua potable, agua residual y agua tratada.

Tabla 8 Gasto por habitante para Servicios de Agua Potable, Residual y Tratada (2014)

	Población Atendida	Presupuesto Ejercido SACMEX 2014 (mdp)	Costo por habitante (pesos)
Agua Potable	8874724	\$ 6,581.0	741.5
Agua Residual		\$ 2,799.9	315.4
Agua Tratada		\$ 447.4	50.4
Total		\$ 9,828.3	1107.4

Fuente: Elaboración propia en base a datos del "Presupuesto 2014", Sistema de Aguas de la Ciudad de México, México, (2015) y "Distrito Federal: Indicadores demográficos, 2010-2030", Consejo Nacional de Población, México. (2015).

La CONAGUA reporta que en 2010, se abasteció al DF con 1090 hm³ de agua potable⁶⁰, de los cuales 849 hm³ se convirtieron en aguas residuales y 108 hm³ recibieron tratamiento de algún tipo (12.7%).⁶¹ Basados en estos datos se procedió a realizar el cálculo del costo del agua potable, residual y tratada por metro cubico.

El tratamiento del agua residual cuesta 4.14 pesos por metro cubico y el agua residual por metro cubico cuesta \$ 3.30 pesos. Aunque el costo del agua tratada es ligeramente más alto que el del desalojo de las aguas residuales, es preferible incentivar el reuso ya que:

- Se puede hacer un reaprovechamiento económico del agua. El agua de reuso es una segunda oportunidad para generar valor de manera directa e indirecta
- Se extiende de manera artificial las fuentes de agua que se necesitan para usos que no impliquen el consumo por parte de la población. Aportando a disminuir la demanda sobre las fuentes de agua potable.
- Se agrega valor a zonas de la ciudad mediante el cuidado y mantenimiento de una imagen urbana. El espacio público es el principal beneficiario de los programas de reuso del agua

⁶⁰ V. "Estadísticas del Agua en México Edición 2010", Comisión Nacional del Agua, México, (2010) Pag. 215

⁶¹ Existe un volumen de aguas residuales que no es capturado por los sistemas de drenaje urbano y que no es reportado explícitamente en documentos oficiales. Por otro lado, se calcula que el 12.7% de las aguas residuales producidas recibe tratamiento. V. "Estadísticas del agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México", CONAGUA, México, (2009), Pag. 103.

tratada en ciudades y la recuperación del espacio público, que es el motor para el desarrollo urbano.

Tabla 9 Gasto por Metro cubico de agua potable, agua residual y tratada (2014)

	Volumen anual de agua 2010 (hm ³)	Presupuesto SACMEX (mdp)	Costo por m ³
Agua Potable	1090	\$ 6,581.0	\$ 6.04
Agua Residual	849	\$ 2,799.9	\$ 3.30
Agua Tratada	108	\$ 447.4	\$ 4.14
Total		\$ 9,828.3	

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SACMEX y CONAGUA. "Presupuesto 2014", Sistema de Aguas de la Ciudad de México, México, (2015) y "Distrito Federal: Indicadores demográficos, 2010-2030", Consejo Nacional de Población, México. (2015) y V. "Estadísticas del agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México", CONAGUA, México, (2009), p.. 103

Conociendo los costos por habitante y por metro cubico, se puede determinar en lo general la cantidad de gasto necesario para operar y rehabilitar las PTAR del DF. Para esto hay que conocer las condiciones en las que se encuentran las PTAR mas importantes del DF.

Durante el año 2009, se trato un caudal promedio de 3563 l/s. 7 de las 28 PTAR del Distrito Federal aportaron el 85% de este caudal. (Cerro de la Estrella, Coyoacán, San Juan de Aragón, Santa Fe, Ciudad Deportiva, Acueducto de Guadalupe y Lomas de Chapultepec),

Estas PTAR distribuyeron agua tratada a áreas verdes, deportivos y camellones, mediante la red de distribución de agua tratada o el transporte carro tanque. A menudo se presentan dificultades en la distribución del agua tratada para el riego de estos espacios, lo que provoca que se atiendan de manera diferencial. Al analizar con detalle su localización, se observó que aunque distribuyen el agua tratada se encuentran deficiencias en la uniformidad del riego y que, no se incluyen otros espacios que se pueden regar.

Basados en la información del PTAR se realizó una tabla que reporta las superficies atendidas, el caudal tratado, el área que potencialmente se puede regar dada su localización en la ciudad y el caudal para atender esta demanda potencial. Esta tabla esta acompañada con dos gráficos, uno de

localización general del PTAR mas importantes del DF y gráficos de detalle que identifican que espacios se pueden atender.

Tabla 10 Principales PTAR del DF (2009)

Nombre	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)	Área atendida (ha)	Área Potencial (ha)	Caudal demandado (l/s)	inversión anual estimada (mdp)
PTAR Cerro de la Estrella	4000	2000	5977.7	229.8	133.0	\$ 17.36
	Mantenimiento Zona Chinampera Xochimilco y Tláhuac, Deportivo Santa Cruz Meyehualco y Cuitláhuac					
PTAR Coyoacán	1250	400	102.9	59.6	34.5	\$ 4.50
	Riego de Viveros de Coyoacán y camellones de la delegación Coyoacán					
PTAR San Juan de Aragón	500	198	70.5	313.7	181.5	\$ 23.70
	Áreas verdes, llenado de lago de San Juan de Aragón					
PTAR Santa Fe	280	150	0.0	2.4	1.4	\$ 0.18
	Barrancas de la delegación Álvaro Obregón					
PTAR Ciudad Deportiva	230	107	44.1	100.3	58.0	\$ 7.58
	Áreas verdes del Centro Deportivo Siglo XXI					
PTAR Acueducto de Guadalupe	110	102	0.0	46.0	26.6	\$ 3.47
	Camellones de Av. Mario Colín y Acueducto de Guadalupe					
PTAR Lomas de Chapultepec	160	100	388.9	99.1	57.3	\$ 7.49
	Áreas verdes de 1a y 2a sección del bosque de Chapultepec, llenado de lagos y Av. Reforma					
Total	6530	3057	6584.1	850.8	492.4	\$ 64.28

Fuente: Elaboración propia con datos de Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Alvaro Obregon, Delegación, Coyoacan, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, 2000.

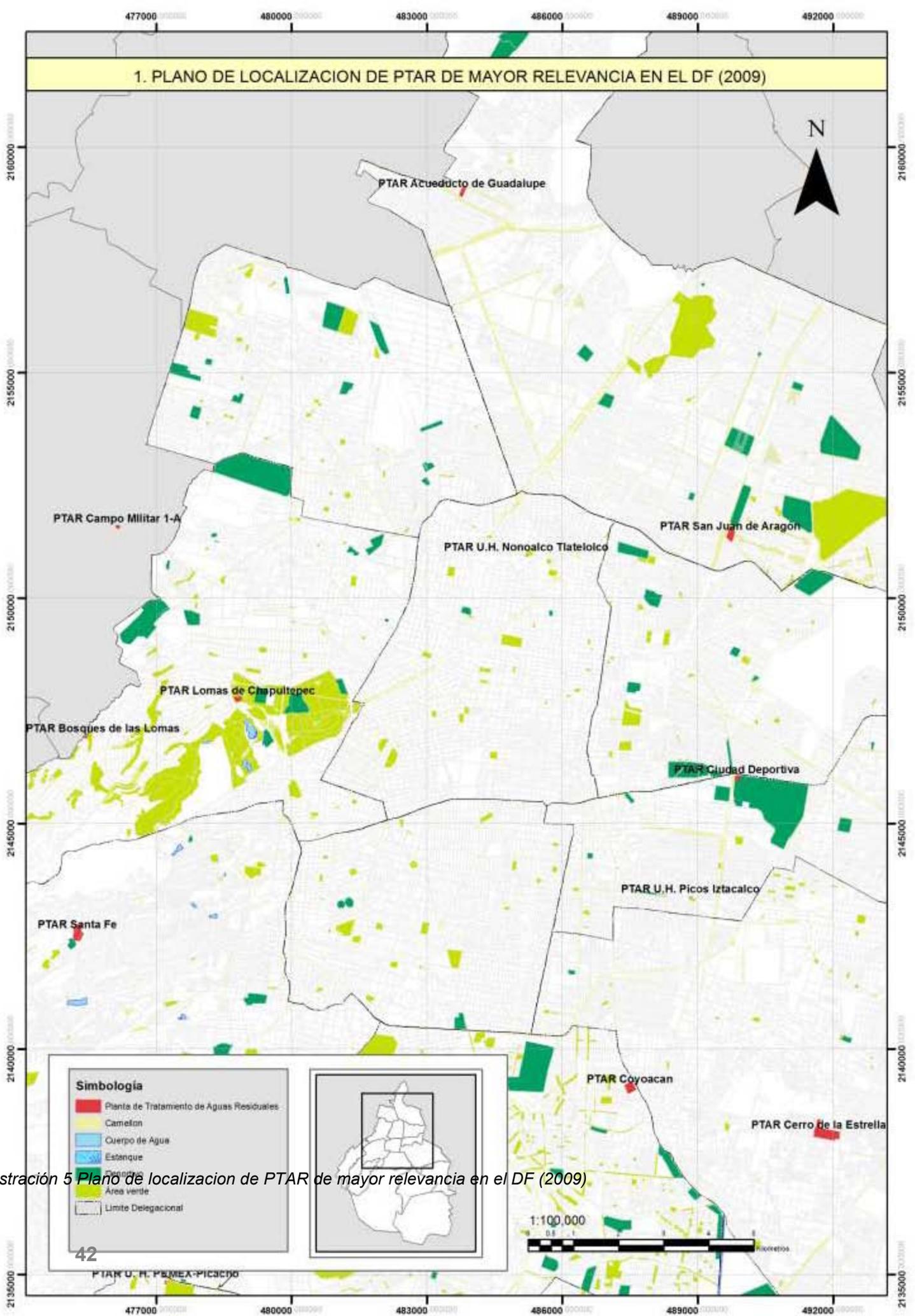


Ilustración 5 Plano de localización de PTAR de mayor relevancia en el DF (2009)

2. PLANO DE LOCALIZACION DE DEMANDA POTENCIAL DE ART EN EL DF (2009)

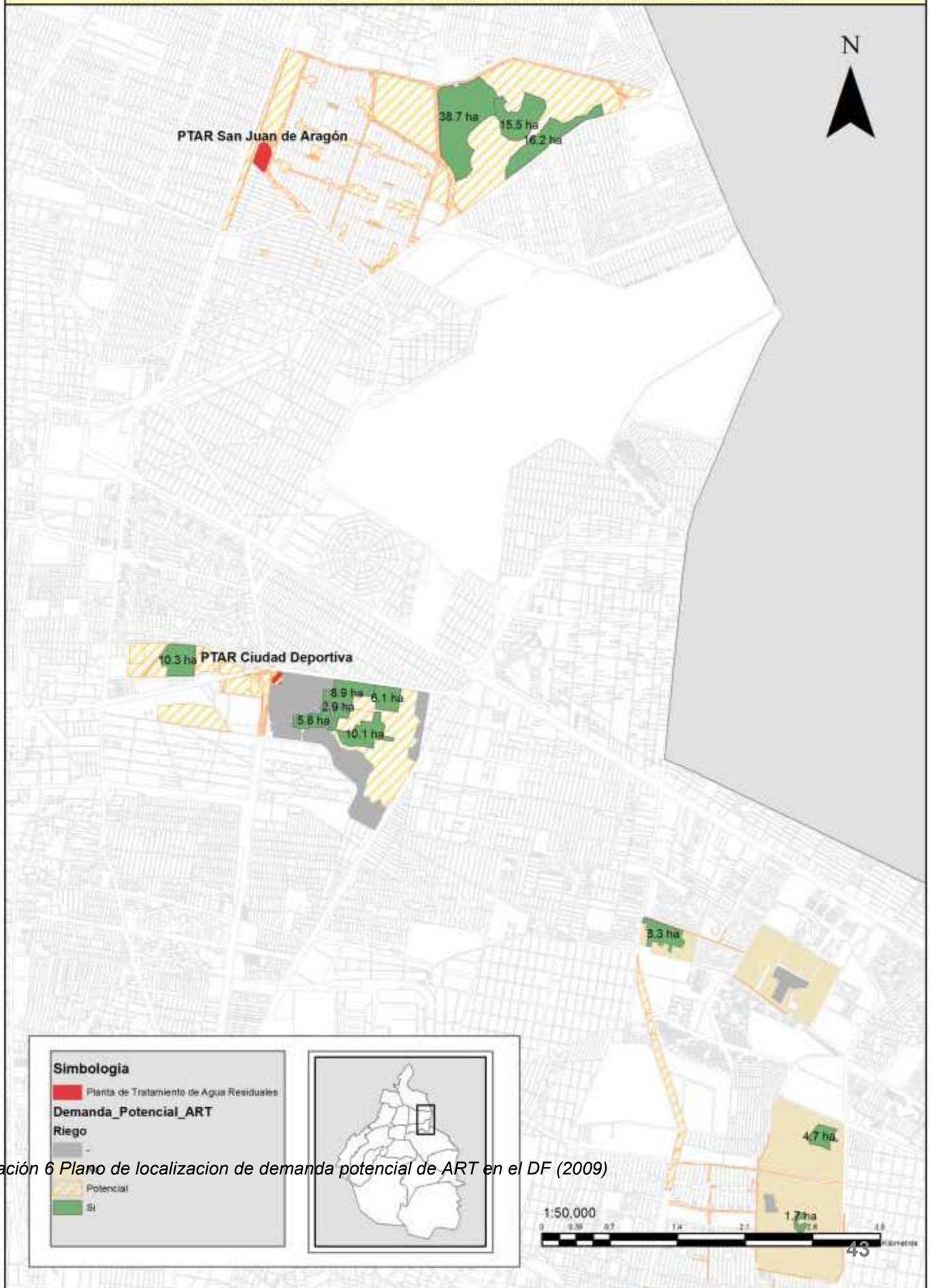


Ilustración 6 Plano de localización de demanda potencial de ART en el DF (2009)

3. PLANO DE LOCALIZACION DE DEMANDA POTENCIAL DE ART EN EL DF (2009)

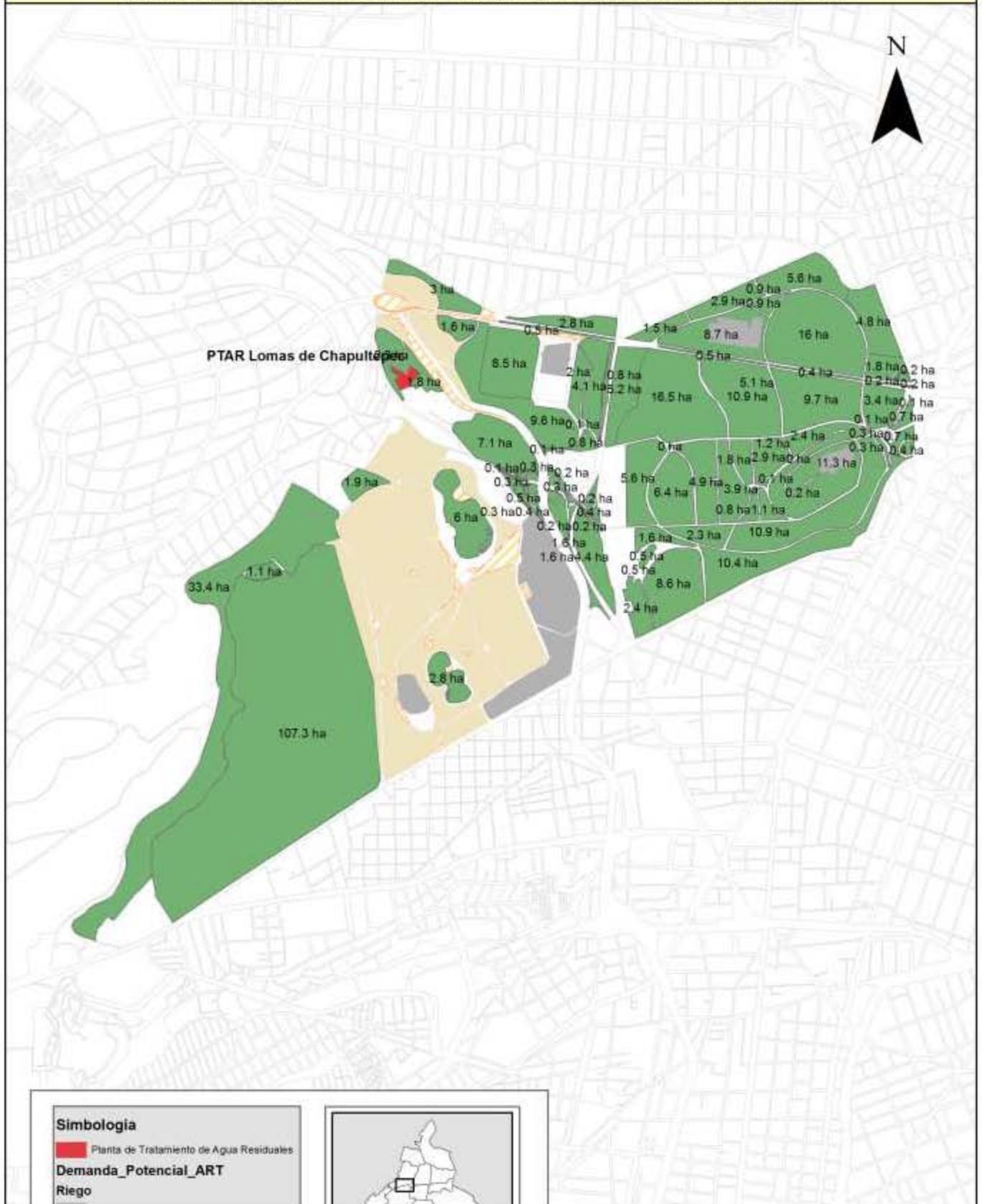
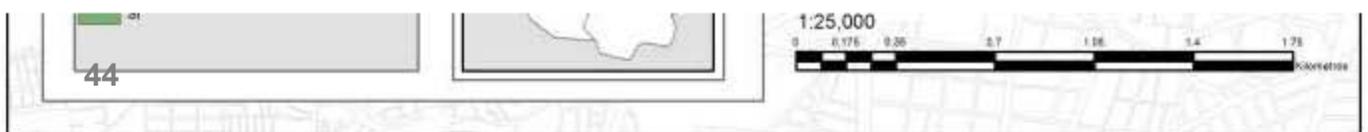


Ilustración 7 Plano de localización de demanda potencial de ART en el DF (2009)



III. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL REUSO DEL AGUA

1. Reuso de ART como elemento de la gestión integral de aguas urbanas

A menudo la planificación urbana y los servicios del agua se encuentran desvinculados, lo que propicia que persigan objetivos comunes de manera paralela, lo cual dificulta la administración de la ciudad y el agua. Las razones por que no se lleva a cabo una coordinación entre estos organismos incluyen:

- La dependencia de un enfoque sectorial de la administración del agua y la ciudad
Las instituciones involucradas tradicionalmente nacen como instituciones independientes y diferentes, que persiguen sus propias agendas, colaborando y coordinándose de manera incidental lo que propicia conflictos y competencia cuando se tienen objetivos comunes vistos desde diferentes sectores y visiones.
- Un financiamiento del agua que tiende al subsidio
La opinión pública sobre la importancia de los servicios obtenidos del agua tiende a ser mala, en especial del saneamiento y la recolección del agua pluvial. Esto propicia que el financiamiento para estos servicios sean operados bajo subsidios poniendo en riesgo la factibilidad de cobrar por estos servicios porque no se muestran sus beneficios
- Falta de evaluación de los servicios del agua
Ausencia total o parcial de la medición del rendimiento de los servicios básicos como el agua, tiende a originar mayores costos y una ineficiente administración del servicio. Ya no se realizan las evaluaciones periódicas para mejorar y hacer eficiente el servicio del agua

Ante el contexto actual donde la escasez del agua esta presente y los recursos financieros son escasos, la promoción de un enfoque integral en la gestión del agua es una forma de reducir los costos de una gestión ineficiente del agua.

La gestión integral de agua urbanas (GIAU), es un nuevo enfoque de administración pública para la mejora en la gestión de las aguas urbanas, que busca una relación más estrecha y flexible entre los organismos que operan los sistemas de dotación, desalajo y saneamiento del agua (la administración urbana y los organismos de cuenca). Este enfoque busca maximizar los beneficios económicos, sociales y medioambientales obtenidos del agua a partir de un aprovechamiento sustentable del agua en las ciudades.

Este enfoque interrelaciona el ciclo de aguas urbanas, el desarrollo urbano y la gestión de cuenca. La GIAU reconoce la diversidad de actores y promueve una coordinación de estos para lograrse. Es por que se reconoce que no se encuentra sujeto a un proceso definido, sino que cada forma de realizar la GIAU tendrá diferentes resultados dados por las condiciones en la que se encuentren sus actores así como los retos y problemáticas que se busquen enfrentar a partir de este enfoque.⁶²

Ilustración 8 Actores que interviene para lograr una GIAU (2013)



Fuente: Elaboración propia tomado de "Gestión Integral de Aguas Urbanas", Banco Mundial, USA, BM, (2012)

Aunque existe un universo de posibilidades para la implementación de la GIAU, se pueden definir de manera general un conjunto de principios que dirigen las acciones en la mayoría de los escenarios que se presentan en su implementación. A continuación se enumeran:

⁶² V. "Gestión Integral de Aguas Urbanas", Banco Mundial, USA, BM, (2012)

1. GIAU tiene que ser adaptada a la problemática y contexto local de la zona urbana donde se pretende implementar, considerando su magnitud y los impactos que genera en la cuenca hidrográfica donde se encuentra. Es por esto que es necesaria la continua evaluación para comprender mejor los retos a los que se enfrentara la GIAU.
2. GIAU implica la participación como instrumento para la generación de diagnósticos que incluyan las valoraciones de los organismos institucionales y no institucionales dependientes de los servicios del agua. Con esto, se generaría una visión compartida y común entorno al desarrollo futuro del agua en la ciudad. Esta participación puede devenir en la generación de acuerdos y establecimiento de agendas conjuntas para la mejora de la gestión del agua.
3. GIAU es un proceso que continuamente tiene que repetirse y reforzarse con una visión a largo plazo, de este modo los objetivos se pueden integrar como una sucesión en el corto y largo plazo. Realizarlo de este modo integrara las agendas de manera coordinada para lograr la GIAU.
4. GIAU trata de integrar estrechamente tanto instituciones, infraestructura y financiamiento, es necesario que las ciudades sean capaces de coordinarse en el empleo de los recursos disponibles para la mejora de la gestión del agua.
5. GIAU es soportada por datos sólidos y un análisis técnico minucioso. A pesar de que la GIAU es un proceso altamente político, la discusión y la resolución de problemas tiene que estar basado en análisis técnicos de las situaciones y retos específicos. Además, el análisis técnico no solo debe centrar en aspectos de ingeniería y sus sectores, sino que debe incluir reportes y análisis técnicos con un enfoque ambiental e impacto urbano urbano.
6. GIAU requiere superar el enfoque sectorial en cómo se concibe el agua de las ciudades, donde se confía en la disponibilidad de fuentes de agua y el empleo de energía para su extracción potabilización, desalojo, saneamiento. LA GIAU busca reemplazar esta forma lineal de aprovechamiento del agua por uno cíclico donde se minimizan los impactos ambientales, se protegen las fuentes de agua potable y segura para la población de las ciudades y se obtienen beneficios crecientes del reuso del agua tratada.
7. GIAU busca responder de manera flexible a los retos que se presentan hoy en la gestión del agua, con el fin de acercar a las ciudades a una visión ideal de la ciudad.

Para mostrar las ventajas que ofrece la GIAU con respecto a la gestión clásica del agua se ofrecerán algunos ejemplos comparativos entre la gestión clásica del agua y la GIAU. En una ciudad hay una serie de carencias con respecto al saneamiento urbano. En primer lugar la recolección y conexión al alcantarillado es deficiente en algunas zonas de la ciudad esto ha devenido en que se realicen descargas ilegales del agua residual a diferentes espacios (canales irregulares, barrancas y terrenos etc.), esta situación ha obligado a que se emplee un alcantarillado que combina aguas pluviales y residuales para extender la infraestructura disponible para el desalojo de las aguas. La gestión clásica del agua preferirá implementar un único sistema de tratamiento centralizado al final de los sistemas de

colección de las aguas residuales, que muy a menudo se encuentra “aguas abajo” o a las afueras de la ciudad. Sin embargo, en su implementación no se considerarían la efectividad de la recolección del agua o los altos costos de su implementación y mantenimiento. En contraparte la GIAU, consideraría la implementación de sistemas de tratamientos descentralizados o locales y la reutilización como un medio para promover el tiramiento descentralizado. El reuso se implementaría dentro de la ciudad (parques, plazas, camellones e industria) como fuera de esta (agricultura), así como incentivos a las conexiones domesticas para alcantarillado e incentivos a los que empleen el reuso como fuente de agua.

México es un país que se vería ampliamente beneficiado de la implementación de la GIAU, ya que México tienen las instituciones competentes con un marco legal avanzado y relaciones institucionales solidas entre los organismos de cuenca, los organismos municipales del agua y los ayuntamientos. La GIAU puede ser un motor para la promoción del reuso del agua a nivel urbano, sin embargo, será necesario que las instituciones y los actores de la ciudad promuevan proyectos que adopten un enfoque flexible y viable para el empleo de la infraestructura descentralizada y PTAR locales, a su vez se debe promover la recuperación de la infraestructura del saneamiento y de las redes de distribución para el reuso del agua. Además para que estos proyectos estén completos y sean viables, aparte de incluir la ingeniera necesaria para su construcción, estos deberán ser complementados con una metodología clara para su planificación, donde se incluya las condiciones urbanas como un marco y un elemento predominante para su proyección. De este modo se obtendrán mejores condiciones para que el saneamiento urbano y el reuso del agua, se realice dentro de las ciudades, se pueda realizar la planificación y el desarrollo de la ciudad una manera más sostenible y se pueda continuar promoviendo el reuso del agua como una alternativa para mitigar los impactos que las ciudades realizan el medio ambiente.

2. Propuesta de metodología para la planeación de sistemas de reuso de agua en zonas urbanas de México

El reuso intencionado y planeado del agua es el eje para el desarrollo de esta metodología, ya que actualmente el reuso del agua se realiza sin un objetivo claro, que ha llevado a la no correspondencia entre la infraestructura de saneamiento (oferta) y los usos de suelo que necesitan agua tratada (demanda).⁶³

A continuación, se enumeran las partes de la metodología para la planificación de Sistemas de Reuso del Agua Urbana (SRAU) para las zonas urbanas de México. Posteriormente se abordara cada inciso para explicar en detalle que elementos se deben incluir y considerar:

1. Recolección de datos de infraestructura de saneamiento urbano

Conformación de información cartográfica, estadística y administrativa de la infraestructura de saneamiento de la ciudad o zona urbana

2. Estado de operación de saneamiento urbano

Recopilación de información sobre el estado, operación y capacidad de la infraestructura de saneamiento, así como la distribución espacial de ART y de esta en la zona urbana.

3. Análisis de relación de oferta y demanda de ART para el SRAU

Identificación, clasificación y desarrollo de indicadores para la atención a probables beneficiarios y demandantes de ART

4. Valoración de alternativas para la implementación de SRAU

Construcción de opciones y alternativas para la distribución de agua de reuso basados en la correspondencia entre oferta-demanda y su relación con la ciudad

5. Propuestas para la conformación de SRAU acorde a la zona urbana

Diseño de propuestas de reuso de agua, propuesta de tramos de extensión de red y esquemas para la gestión del ART.

⁶³ Esta metodología indicara los pasos a seguir para la planeación de sistemas de reuso del agua tratada. Por lo tanto, estas metodología es complementaria a los proyectos ingeniería civil, hidráulica y mecánica, necesarios para este tipo de proyectos

a. Recolección de datos de infraestructura de saneamiento urbano

En primer lugar, se hará una recolección de la información disponible sobre infraestructura de saneamiento urbano y desalojo. Las fuentes principales de esta información son los organismos operadores del agua (públicas o privadas), organismos de cuenca, organismos de administración del agua a nivel nacional, programas de desarrollo urbano y proyectos promulgados para el reuso del agua y promoción del tratamiento de aguas residuales.

La información de este apartado comprende la ubicación de la red de tuberías que conducen las aguas residuales tratadas en la zona urbana. A menudo esta información se encuentra lejos del acceso público y será necesario realizar peticiones formales de esta a las dependencias que la posean. Esta información incluye:

- Planos de Infraestructura de agua residual y agua tratada
- Ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales
- Memorias de construcción de proyectos de tuberías, ampliaciones, desviaciones.
- Balances hidráulicos de demarcaciones y sistemas de dotación, desalojo y saneamiento del agua
- Estadísticas generales de desempeño de las plantas de tratamiento de aguas residuales
- Informes y noticias respecto al reuso del agua en la demarcación

La recopilación de información debe considerarse una tarea continua y abierta, donde se capture la nueva información a medida que se encuentre y tenga acceso. Es crucial que la información obtenida sea lo más actual posible, ya que será la base para el análisis, valoración y diseño del SRAU.

Se recomienda adoptar un sistema de captura digital que permitirá realizar captura de información estadística y territorial, así como permita cambios, modificaciones y ajustes, ya que los tiempos para el acceso a esta información son variables y en el contexto mexicano se tienden a prolongar los tiempos de espera para el acceso a la información sobre infraestructura urbana.

A su vez, en paralelo es recomendable realizar esquemas que expliquen de manera esquemática cual es la participación, competencias o responsabilidades de los organismos que estén involucrados en la gestión del saneamiento urbano. Estos esquemas nos facilitaran entender cuál es el grado de responsabilidad con respecto a la infraestructura de los diferentes actores.

Esta paso de la metodología, es probable que se mantenga abierto y sin concluir, pero será necesario que cierre en la captura de información, antes de que se realicen las valoraciones y análisis de correspondencia entre oferta y demanda de agua tratada.

b. Estado de operación de saneamiento urbano

En segundo lugar, se realizarán visitas de campo, a plantas de tratamiento de aguas residuales, a la infraestructura de distribución y tomas de ART, a los puntos donde se realiza la dotación de agua residual. Esto con el fin de observar y tomar registro sobre las condiciones en las que se encuentra la infraestructura de saneamiento y conocer de primera mano los medios que se poseen para la distribución de ART.

Se recomienda que para que estas visitas se realicen, sean programadas con el personal que opera los sistemas de saneamiento urbano (previa autorización de los organismos operadores del agua). El permiso para el acceso a estas infraestructuras debe ser presentado de manera formal para que estas visitas se realicen con pleno consentimiento y evitar opacidad y omisión en los reportes de visitas.

Al igual que con el primer paso de esta metodología, los permisos de acceso a la infraestructura tendrá que ser presentados de manera formal y escrita.⁶⁴ Cuando se autorice el acceso y se acuerden las fechas de visita, será necesario preparar las fichas técnicas donde se reportaran los siguientes aspectos:

- Años de servicio de la PTAR
- Dependencia encargada de la operación de PTAR
- Fuente del agua residual para el tratamiento
- Tecnología o proceso empleado para el tratamiento del agua
- Caudal medio tratado y horarios de distribución de ART
- Capacidad total instalada de la PTAR
- Indicador de Calidad del ART
- Principal medio de distribución y destino final del ART
- Adecuaciones y modificaciones al tren de tratamiento de la PTAR
- Personal responsable y experiencia general en la operación de la PTAR
- Reporte fotográfico de visita

Estas fichas servirán para obtener una imagen objetiva de cómo se está gestionando las PTAR y que aspectos deben de atenderse para mejorar la operación y conformar un SRAU.

Este paso de la metodología representa un reto, ya que implica realizar preguntas que pueden incomodar al personal, ya que los materiales resultantes servirán para la evaluación del desempeño

⁶⁴ El acceso a los espacios de distribución del ART a menudo son de acceso público y no es necesario el empleo de un permiso. Los aspectos a observar de estos espacios se especificaran en el tercer paso de esta metodología.

en la operación de la PTAR. Se recomienda discreción en el tratamiento de la información y mantener una actitud neutra pero no pasiva en la investigación de estos aspectos.

c. Análisis de relación de oferta y demanda de ART para el SRAU

El tercer paso de esta metodología se dividirá en dos partes, la primera consistirá en una identificación y clasificación de los espacios, áreas y puntos que se consideraran como probables demandantes de ART. En la segunda parte, se buscara comparar la “demanda” de ART con la “oferta” o ART disponible para para el abasto, a este tipo de análisis se le considerara de correspondencia entre oferta-demanda y servirá como punto medular para la toma de decisiones en el modo o forma de implementar un SRAU.

Se recomienda que se adopte un sistema para la captura de información cartográfica y estadística en formato digital. Ya que se manejaran volúmenes de información considerables que se necesitarán clasificar en un sistema que estará sujeto a actualizaciones continuas.

La identificación de estos espacios y sitios se debe realizar abarcando la totalidad del área que se defina como área de estudio y será necesario clasificar las característica observadas en variables objetivas (cuantitativas) y subjetivas (cualitativas), es decir, .aspectos que pueden ser medidos y capturados como datos e información estadística y características que poseen los espacios.

Este proceso deberá culminar en la generación de un solo indicador que indique de manera sintética la utilidad y viabilidad de dotación de ART a cada espacio. A continuación se expresan aspectos que se consideran importantes para usos de suelo de espacio público, industrial, comercial y producción agrícola (que son usos comunes del agua tratada):

- Si son Áreas libres, espacios abiertos, plazas, parques, jardines, camellones, rotondas monumentos, etc.
 - Función urbana o valor urbano del espacio
 - Área total y área de vegetación permanente
 - Distribución de actividades en el espacio
 - Equipo y mobiliario urbano presente
 - Calidad de agua requerida por normas y reglamentos
 - Relación con otros usos de suelo (equipamientos, comercios, vivienda, circulaciones, etc.)
 - Distancia con respecto a la infraestructura de distribución de ART

- Relación y distancia con otros espacios de probable demanda de ART
- Si son industrias y/o comercios
 - Calidad de agua demandada por comercio o industria
 - Superficie total de predio y superficie disponible para construcción
 - Distancia con respecto a la infraestructura de distribución de ART
 - Relación y distancia con otras industrias o comercios demandantes de ART
 - Sector y rama de comercio o industria a la que se quiere considerar
- Si son áreas de producción agrícola
 - Superficie total de parcela
 - Calidad de agua adecuada para la producción de alimento
 - Volumen de demanda de ART
 - Distancia con respecto a la infraestructura de distribución de ART
 - Relación y distancia con otros sitios para el aprovechamiento agrícola
 - Interés y capacidad organizacional para la producción agrícola urbana y periurbana
 - Opinión pública respecto al riego de alimentos con ART

Se recomienda que para la clasificación de las variables objetivas o cuantitativas se realice una escala basados en características de los espacios. A continuación se escriben algunas características de los espacios que pueden ser medidas y por ende, clasificables:

- Para los usos de área libre, espacio público y áreas verdes
 - El área total y el área permeable; Es la variable que define cual es la dimensión de demanda de agua para su mantenimiento basándose en un volumen mínimo riego.
 - La calidad del agua requerida; El ART tendrá contacto con los usuarios de los espacios donde se distribuya, es necesario identificar las necesidades de calidad de cada demanda de agua tratada y las capacidad de la infraestructura para proveerla.
 - Distancia a la red de distribución de ART: Ya sea por tubería o por acarreo en carro tanque, esto definirá el costo medio y la periodicidad con que se riega los espacios que tienen vegetación.
 - Distancia con respecto a otras áreas libres con vegetación o espacios de valor patrimonial urbano; Con el fin de conformar zonas de riego por agua tratada.

- Para los usos de suelo de industria y/o comercio
 - Volumen de ART demandado en base a las características y tipo de giro de la industria, comercio o actividad. La calidad del agua es un aspecto secundario dado que las industrias requieren emplear agua con características físicas y químicas específicas.
 - La superficie disponible de una industria o comercio; Ya que en el caso de empleo de ART, será necesario que los predios o locales posean espacio disponible para la conexión e inclusive almacenaje del agua.
 - La distancia con respecto a la red ART será a su vez un elemento de decisión para la adopción o no del ART en los procesos de producción, dependiendo del tipo de acuerdo de conexión a la red, las industrias y/o los organismos de operación del agua consideraran si es viable (o no) la dotación de ART. Esto se traducirá en quienes son los que absorben los costos de construcción y expansión de la red de ART y quien los paga.
 - Distancia o proximidad con otras industrias o comercios demandantes de ART.

- Para los usos en la producción agrícola
 - Volumen de agua demandada y el periodo por el cual se debe de distribuir ART a las parcelas será un elemento para definir su dotación o no.
 - La calidad del ART es importante, ya que es la variable que establece lo que se puede producir de alimentos para el consumo humano o animal.
 - Distancia a la red de ART ya que los volúmenes de agua para la producción agrícola son considerables, el método más económico para su dotación es emplear la red de tuberías de ART
 - La distancia otras parcelas con el objeto de agrupar parcelas y conformar sectores de producción agrícola, que es una forma de aprovechar su proximidad entre sí.

Para la valoración de aspectos subjetivos o variables cualitativas, será necesario utilizar argumentos y su aplicación se realizará de una forma simple y esta dependerá del detalle de información que se posea y los objetivos del proyecto. A continuación se enuncian los argumentos a considerar para la clasificación de espacios por tipo de uso de suelo:⁶⁵

- Para los usos de área libre, espacio público y áreas verdes.

⁶⁵ Los argumentos y juicios de valor expuestos buscan dar una orientación respecto a las necesidades, objetivos y beneficios del empleo del ART para impulsar proyectos de reuso. Se considera que los argumentos no son numerosos y pueden ser extendidos en concepto e inclusión de otros. Sin embargo, su empleo siempre se debe someter al contexto en el que se desarrolle esta metodología, la intención con que se emplea y el contexto local al que se aplique.

- Evaluar cuál la utilidad o función urbana del espacio es clave para determinar cuáles serán los espacios beneficiados y establecer prioridades en su atención con un proyecto de reuso de agua tratada.
 - Considerar que actividades se realizan en cada espacio. Los horarios y las horas de ocupación pueden indicar cuál es el mejor momento para el riego del área. Y cuales serían las actividades que se pueden promover en estos espacios.
 - El mobiliario urbano presente en los espacios define la función del espacio y su potencial para ser recuperado, rehabilitado o transformado.
- Para los usos de suelo de industria y/o comercio
 - El sector y rama de los comercios e industrias indica cual es la utilidad del empleo de ART. Se realizara una selección preliminar de las ramas, sectores y subsectores de industrias y comercios interesados en el ahorro de agua.
 - Las industrias y comercios consideran positivo las certificaciones que se consiguen mediante el ahorro de recursos como electricidad, agua y suelo en sus sitios de trabajo, es necesario evaluar el deseo de las diferentes ramas de la industria a adoptar la dotación ART a sus sitios de operación. Además, alentar el reuso mediante beneficios fiscales derivados de las certificaciones de ahorro y reciclaje del agua.
- Para indicadores en la producción agrícola
 - Considerar quienes son los productores y la disponibilidad de infraestructura para distribuir ART, No basta con la distribución no intencionada del agua tratada y su canalización, es necesario que el reuso se realice con un fin definido para evitar tener estrategias mejores para la atención de estas actividades.
 - Informar a la opinión pública de la seguridad del agua tratada y promover una práctica responsable y transparente con respecto a los residuos que generan las ciudades. El reuso del agua tratada en parcelas es un buen ejemplo de un destino provechoso útil.

A partir de la clasificación cuantitativa y su valoración cualitativa. Se generara un indicador que establecerá el rango de valores (mínimos y máximos) por tipo de uso de suelo. Con el desarrollo de este indicador se podrá realizar una comparación del potencial de empleo de ART entre los mismos usos de suelo y en su clasificación será útil definir calificaciones mínimas (que debe de poseer) para que sea útil y viable su abasto la dotación de agua tratada. De este modo se definirá cual es la demanda efectiva de ART para una zona urbana determinada.

Posteriormente, se procederá a conformar el balance de oferta y demanda de ART basándose en la comparación de la demanda efectiva de ART con la producción total de ART producida y el volumen

de aguas tratadas que ya está comprometido. Este balance de oferta y demanda de ART concluye esta parte de la metodología.

d. Valoración de alternativas para la implementación de SRAU

En esta parte de la metodología se buscara realizara la valoración de alternativas para la dotación de ART a los diferentes usos de suelo, considerando, alternativas que se poseen para la distribución y la conformación de un SRAU.

Se trabajara una tipificación simple de la demanda de efectiva de ART por zona, empleando las características de cada uso de suelo, localización, demanda de volumen de ART y destino de esta.

La tipificación de la demanda de ART se realizara de manera libre dadas las diferencias intrínsecas de cada contexto urbano. No obstante, se recomienda que la demanda se agrupe en unidades territoriales, ya que de esta forma se podrá tener una idea clara de las necesidades locales de ART.

Para lograr una construcción adecuada de alternativas, se necesitara información complementaria que respalde la tipificación de la demanda de ART y sus alternativas para la dotación. La información complementaria se puede hallar de manera circunstancial e indirecta, su acceso a menudo depende del grado de investigación que se posea del caso de estudio. Las mejores fuentes de información complementaria son los estudios profesionales, realizados por instituciones privadas y públicas, evaluaciones de proyectos gubernamentales con respecto al empleo de ART o información empírica obtenida en visitas de campo, reuniones con organismos y actores entorno al ART, etc.

La información complementaria obtenida se debe emplear de manera contextual y esta no debe de sustituir la investigación y definiciones de demanda de ART. Se recomienda que la información complementaria conteste las siguientes cuestiones:

- ¿Hay programas, proyectos y actividades actualmente se beneficien del empleo de ART?
- ¿Existen proyectos para la expansión de la red de saneamiento urbano en el corto plazo? Y, ¿Responden o no la demanda identificada en el estudio?
- ¿Qué disponibilidad de infraestructura se tiene para mejorar la oferta de ART?
- ¿Qué sectores de la ciudad son prioritarios para la distribución de ART? Y ¿Qué beneficios o ventajas a nivel urbano se tendrían del abasto de ART a estas zonas?
- ¿Qué estrategias se deben de seguir para la creciente recolección y tratamiento de aguas residuales urbanas?

- ¿Cuáles son los mecanismos de financiamiento disponibles para la conformación de SRAU?
Y ¿Cuáles serían las responsabilidades que adquirirían los diferentes organismos que gestionarían este nuevo sistema?

Contestadas las anteriores preguntas, se podrá proceder a la construcción de propuestas para promover el reuso del agua tratada en zonas urbanas.

e. Propuestas para la conformación de SRAU acorde a la zona urbana

Por último, se procederá a realizar las propuestas para la conformación de un SRAU, el cual tendrá como objetivo principal realizar un reuso eficiente del agua empleando las capacidades actuales de saneamiento urbano y las oportunidades que se presenten para el desarrollo de mejores propuestas, acordes con el análisis de oferta y demanda de ART.

Con esta información y con la tipificación, se podrán definir propuestas y estrategias para la conformación de un SRAU. Estas propuestas pueden ser catalogada en 3 grandes grupos, aunque no se limitan a las enunciadas:

- Propuestas de Ingeniería para aumento de recolección, saneamiento y distribución de ART
 - Aumento de colección de agua residual
 - Aumento del abasto de agua residual a PTAR
 - Ubicación de sitios para nuevas PTAR
 - Monitoreo de calidad de ART
 - Propuestas ampliación de la red de distribución de ART
- Propuestas Urbanas para la promoción del reuso
 - Ratificación y construcción de acuerdos para la distribución de ART
 - Monitoreo de mejoras por el reuso del ART a nivel urbano
 - Ubicación de nuevos sitios y zonas de la ciudad para la promoción del reuso
 - Proyectos para la expansión del saneamiento urbano y la formación de SRAU
- Propuestas Administrativas y de responsabilidad conjunta para la mejora del saneamiento urbano
 - Construcción de acuerdos institucionales para la conformación de SRAU
 - Promoción de las carteras de proyectos respecto al reuso del agua
 - Adquisición de presupuestos para el mantenimiento y proyección de SRAU

- Fortalecimiento institucional para la promoción y replica de proyectos para el reuso de agua en otras ciudades

A partir de estos lineamientos y recomendaciones, se generaran los productos correspondientes como proyectos ejecutivos y constructivos, estrategias de atención a demandantes, planos de localización de demanda, reglamentos de operación, etc. Para promover la conformación los SRAU en las ciudades de México, basándose en el estudio de la oferta y demanda de ART.

IV. ESTUDIO DE CASO: ZONA SURORIENTE DEL DISTRITO FEDERAL

1. Preliminar

a. Objetivos Generales y Particulares de estudio

OBJETIVO GENERAL:

Realizar una propuesta para la conformación SRAU que se ubique en la zona Suroriente del Distrito Federal (SO-DF), empleando como base el análisis, diagnóstico y propuesta la relación de oferta-demanda de agua residual tratada.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Conformar la información estadística y cartográfica de infraestructura de saneamiento que conducen el agua residual tratada (ART) en la zona Suroriente del DF
2. Colectar información sobre el estado actual y operación de la PTAR de la zona Suroriente del DF.
3. Identificar y clasificar los diferentes consumidores potenciales que emplearan ART como fuente complementaria de agua para el desarrollo y mejora de sus condiciones y actividades.
4. Diagnosticar la relación y correspondencia entre la oferta y demanda agua tratada en la zona Suroriente del DF
5. Realizar una propuesta para la conformación de un SRAU para la zona Suroriente del DF

b. Zona de Estudio

La zona de estudio las delegaciones Iztapalapa, Xochimilco Y Tláhuac del Distrito Federal en los Estados Unidos Mexicanos. El propósito de este estudio de caso se enfoca en la infraestructura e estructuras del ART y su relación con los usos del suelo, el polígono fue definido en base a las áreas urbanas del SCINCE para el año 2010.

La zona de estudio comprende una superficie de 23 000 Ha y con una población al año 2010 de 1 833 342 hab. Como descripción general, la delegación Iztapalapa es una área relativamente nueva en la ciudad, el desarrollo urbano en esta delegación se ha realizado por medio de la autoconstrucción, sin embargo esta condición ha devenido en que sea una de las delegaciones carente de espacios públicos, plazas parques y áreas libres⁶⁶ para el disfrute de sus habitantes. La delegación Xochimilco es una de las zonas más antiguas de la ciudad, esta poco a poco se ha ido incorporando a la ciudad, ha logrado mantener una imagen muy característica, mediante el mantenimiento de los sistemas canales navegables y las chinampas, que se han empleado para el desarrollo de actividades recreativas y productivas (en estas se producen principalmente alimentos hortalizas y flores de ornato). La delegación Tláhuac es una demarcación que ha mantenido una actividad agrícola importante para la ciudad, en esta zona caracteriza por encontrarse en la periferia de la ciudad y se han implementado sistemas para el riego sistemático con agua tratada.

⁶⁶ Donde solo se tiene 1.7 m² de espacios públicos para cada habitante, esto representa un serio déficit de espacios con respecto a recomendaciones de la OMS (10 – 15 m² por habitante) y propuestos por el GDF en el plan vigente (Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal 2003)

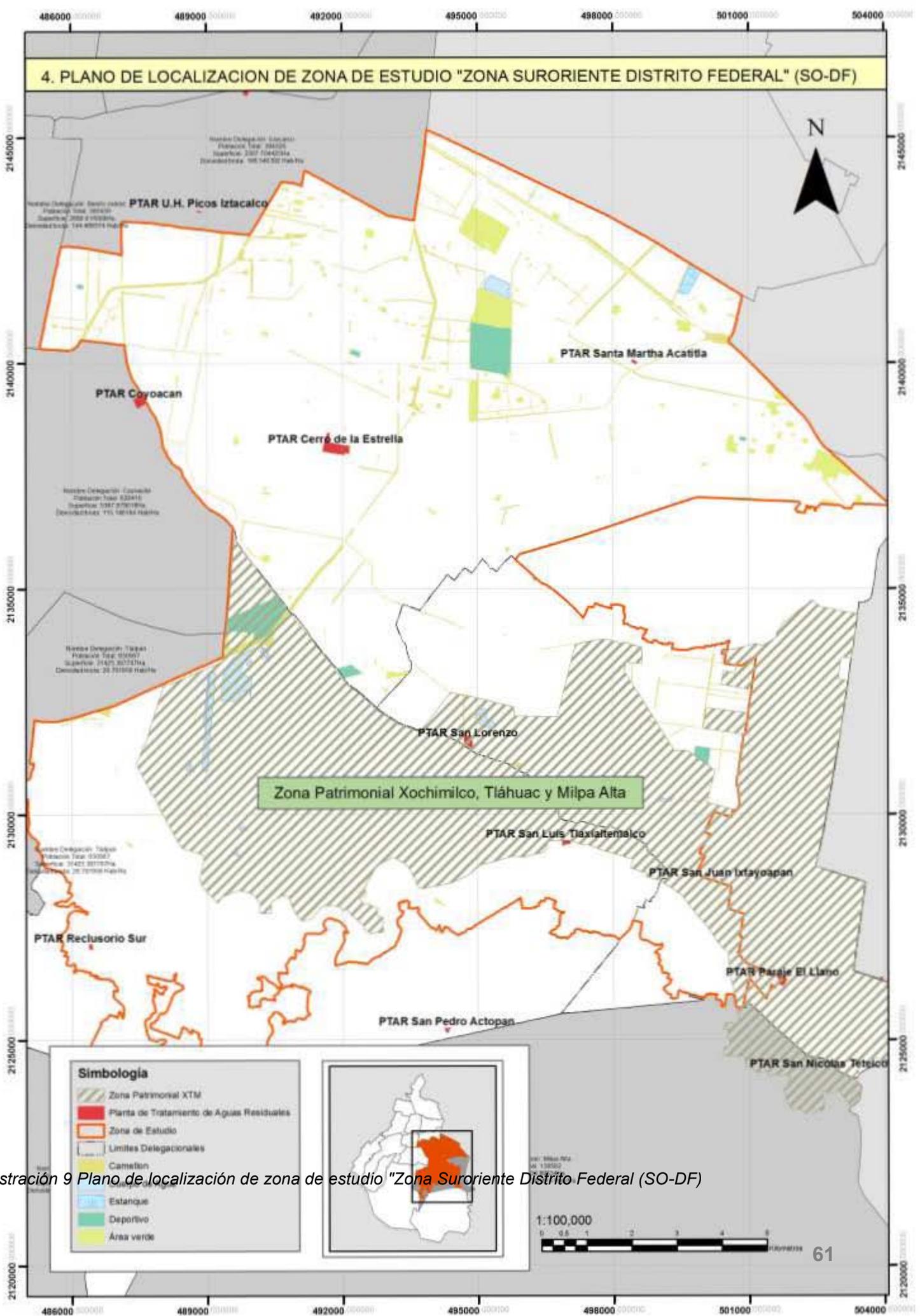


Ilustración 9 Plano de localización de zona de estudio "Zona Surorienté Distrito Federal (SO-DF)

4. PLANO DE LOCALIZACION DE ZONA DE ESTUDIO "ZONA SURORIENTE DISTRITO FEDERAL" (SO-DF)

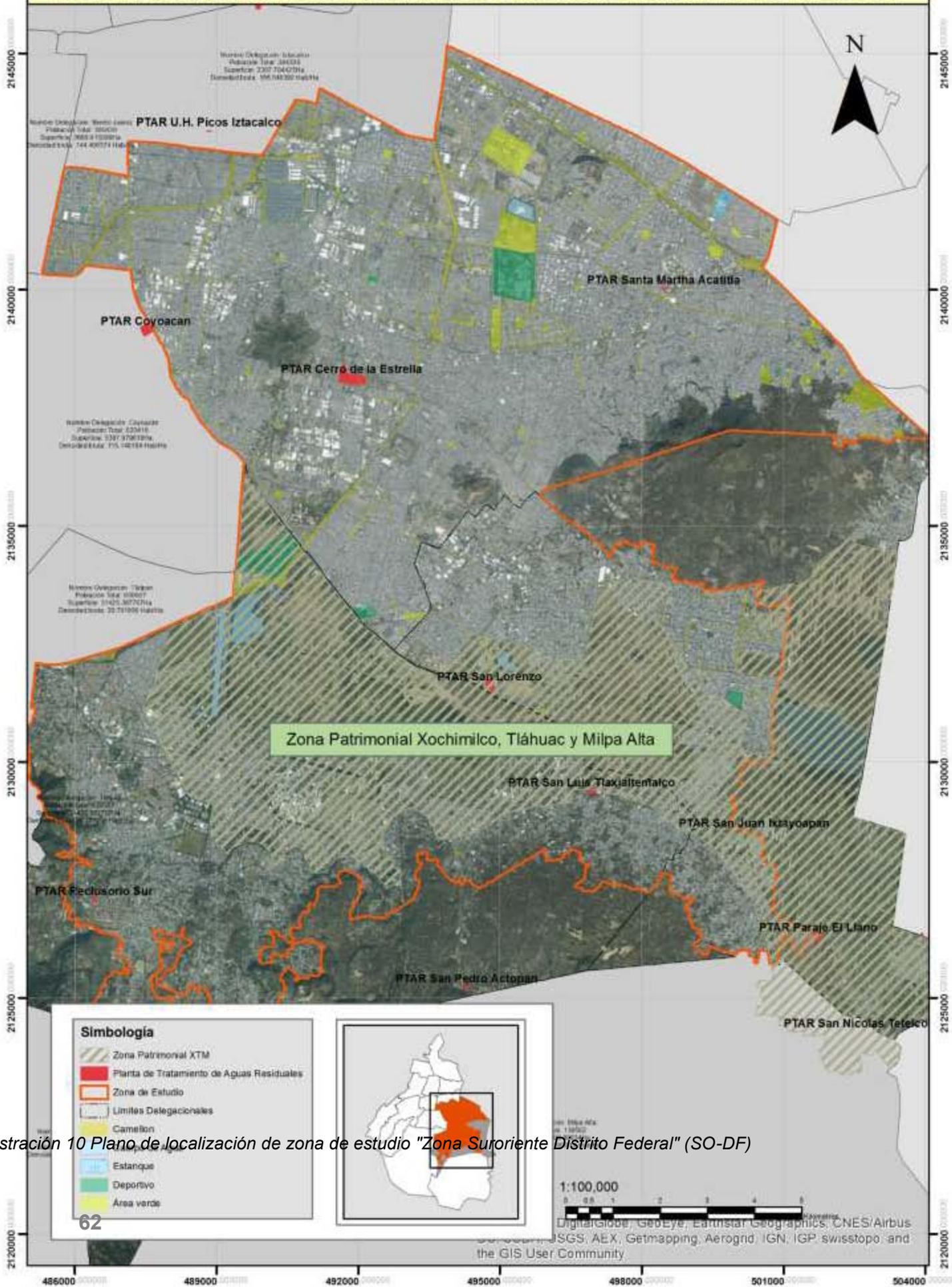


Ilustración 10 Plano de localización de zona de estudio "Zona Suroriental Distrito Federal" (SO-DF)

De manera sintética se enuncian los pasos que se siguieron para el desarrollo de este estudio de caso:

1. Captura de información cartográfica de tramos de tubería de la red de aguas residuales, incluyendo diámetros de tubería, sentido de flujo y volumen de agua residual producida
 - a. Realización de base cartográfica digital en digital para su manejo posterior
 - b. Desarrollo de la información estadística de la red de agua residual tratada
2. Captura de información sobre el estado de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Suroriente del DF, capacidades tratamiento, caudales tratados y destino del agua residual tratada
 - a. Realización de fichas comparativas entre PTAR que contemple capacidad de tratamiento, capacidad de operación, puntos de distribución de ART
 - b. Complementación de información con informes respecto al estado de las instalaciones y la infraestructura
3. Identificación y caracterización de áreas, usos y espacios probables que demandarían ART
 - a. Identificación y ubicación de demanda de ART en base a información cartográfica digital
 - b. Clasificación de demandantes de ART
 - c. Balance de oferta-demanda de ART de la zona de estudio
4. Valoración de alternativas para la distribución de ART
 - a. Relación de destinos y espacios atendidos con ART
 - b. Alternativas para el aumento del reuso del agua y el desarrollo de un SRAU en la zona de estudio
5. Realización de propuestas en materia de aumento de tratamiento de aguas residuales
 - a. Argumentos para la introducción de un SRAU en la zona de estudio
 - b. Propuesta para la implementación de un SRAU descentralizado

d. Observaciones

Durante el desarrollo de la investigación se empleara en su mayoría información de documentos oficiales y académicos de la CONAGUA, Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM). Al realizarse la búsqueda de la información, se dio fe de lo escasa que es. Los informes de infraestructura no se publican de manera periódica, lo cual limita su validez temporal, sin embargo, son los únicos disponibles para la realización de este tipo de estudios. Dada esta condición, la información generada y los datos obtenidos se consideraran en todo momento como estimaciones y aproximaciones.

El estudio se desarrolló en el marco del “Plan Hidráulico Integral para la delegación Iztapalapa 2013 – 2016” (PHIDI 2013-2016), dirigido por el Maestro en Ingeniería Hidráulica Juan Ansberto Cruz Gerón, quien busco que esta investigación se realizara y se ampliara con un sentido analítico y crítico de los principales indicadores disponibles para la evaluación de la operación de PTAR en el Distrito Federal y el reuso del agua en la ZMVM.

El proceso de captura de la información se realizó a lo largo del desarrollo de la investigación y no se limita a la etapa inicial del proyecto. Es por esto que a menudo se realizaron ajustes a esta, tanto en la fuente y en contenido. Sin embargo, se presentan los datos más actuales que se adquirieron con referencia de fecha de la información.

La recopilación del estado actual de la infraestructura de saneamiento no se pudo realizar de manera completa, integra y extensa debido a que los permisos para el acceso a estas infraestructuras fue limitado. Se tuvo la oportunidad de requerir de nueva cuenta el acceso a estas infraestructuras, pero el tiempo de espera para la otorgación de los permisos fue escaso, esa fue la razón por la cual no se realizaron las visitas pertinentes. A pesar de esto, se realizó una investigación documental del estado de PTAR Cerro de la Estrella que es una de las principales de la red de ART.

La aplicación de la metodología propuesta obedece a la intención de la búsqueda de poner a prueba un método para la evaluación de la gestión de la PTAR. Se busca que esta investigación aporte conocimientos para realizar ajustes en la planeación y operación de las infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales, basándose en un análisis de variables presentes en el contexto urbano. Se reitera que la aplicación de la metodología, no profundiza en la tecnología, ni ingeniería aplicada para el tratamiento de aguas residuales. Existen una multitud de obras, textos y documentos que abarcan los temas de ingeniería aplicada al tratamiento del agua residual, pero hay una ausencia de metodologías para la planificación de sistemas de reuso del agua a nivel urbano. Este estudio busca ofrecer un método, para la planeación y gestión de redes e infraestructuras dedicadas a la distribución de aguas tratadas y al reuso de las aguas.

2. Compilación de información sobre saneamiento urbano

a. Estandarización de información

Para adquirir la información sobre la red de distribución de ART de las delegaciones Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac, se realizaron la petición de la información cartográfica por medio de cartas oficiales dirigidas a SACMEX en sus oficinas centrales en Nezahualcóyotl 109, Col. Centro Delegación Cuauhtémoc, D.F.

El material requerido consiste en mapas de localización de las PTAR y las tuberías que distribuyen el ART. El carácter de esta información es pública, pero en el caso de los planos y mapas, se requiere indicar el motivo o propósito de las investigaciones, para que se pueda dar la autorización de su acceso y reproducción.

Los planos que se obtuvieron son replicas fotostáticas de planos de la red de ART de las delegaciones mencionadas y empleando esta información como fuente fidedigna, se procedió a realizar su captura de trazo y atributos en formato digital en un sistema de información geográfica (SIG), empleando como base de trazado la información del SCINCE 2010. Se emplearon las manzanas urbanas como elemento de referencia y base para el trazado de la red ART. Se capturaron los siguientes atributos de la red de ART:

- Descripción del tramo de tubería y ubicación de PTAR
Trazo de la red de ART y rasgos de la red de tuberías
- Tipo de tramo de red
Estado constructivo de la red en dos clases: construido (existente) o en proyecto (propuesto)
- Diámetro de las tuberías
Diámetro de las tuberías de la red, medidos en pulgadas (ejemplo: 4', 8', 42', etc.)
- Longitud de tramo
Longitud del tramo medido en metros.

- Fuente de información
Fuente, documento y fecha de donde se ubicó esta información.

De lo cual se obtuvieron los siguientes productos:

1. Plano de la red de distribución de ART del Oriente del DF
2. Datos de la red de ART

b. Inventario de infraestructura para saneamiento urbano

El área de estudio posee 8 PTAR y la extensión de la red de distribución de ART es de 234 Km de longitud. En suma, en la zona de estudio se tiene una capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales de 5934 litros por segundo (l/s). Entre los principales destinos del agua según informes de la DGCOH (1985) y la CONAGUA (2009) se encuentran: riego de áreas verdes, parques y jardines, riego agrícola así como, infiltración a mantos acuíferos por proyecto. A continuación se muestran las tablas resumen de la PTAR y la red de ART capturada:

Tabla 11 Resumen de PTAR en SODF (2009)

Plantas de Tratamiento de ART	Capacidad Instalada (2009)	Caudal en Tratamiento (2009)	Destinos del Agua
8	5934 (100%)	2686 l/s (45%)	Riego de áreas verdes Riego de agrícola Infiltración a acuífero

Fuente: Elaboración propia en base información recabada del SACMEX y la CONAGUA V. "Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación", Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009)

Tabla 12 Red de distribución de ART por tipo en SO-DF (2013)

Tipo de tramo	Diámetro de tubería (pulg.)	Tramos de tubería	Longitud (Km)
En propuesta	N/A	50	59.3
Existente	4"	38	31.3
	6"	33	08.5
	8"	11	10.3
	12"	59	60.5
	20"	10	12.6
	36"	13	15.1
	48"	1	1.0
	72"	14	16.2
		179	175.4

Fuente: Elaboración propia en base información recabada del SACMEX y la CONAGUA V. "Planos de red de agua tratada", Sistema de Aguas de la Ciudad de México, GDF, (1985).

c. Relación de Infraestructura con desarrollo de la ciudad

La construcción de la infraestructura para el saneamiento de las aguas en la ciudad de México, se ha venido realizando desde finales de los años 50. Las primeras obras PTAR que se construyeron en la ciudad, se localizaron en unidades habitacionales, residenciales y desarrollos planificados, lo que permitió la introducción de infraestructura para el saneamiento de las aguas.

Las PTAR Lomas de Chapultepec, San Juan de Aragón y Ciudad Deportiva fueron las primeras plantas en construirse y operar. Es notable que aunque se trataron de PTAR de modesto tamaño, componen hoy tratan el 25% del agua residual que se trata. El destino de las aguas tratadas es el riego y mantenimiento de las áreas verdes, parques y jardines que se encuentran próximas a la infraestructura.

Aunque se tuvo un buen inicio en la promoción del tratamiento de las aguas de la ciudad, este esfuerzo se frenó durante la década de los 60. No fue sino hasta la construcción y operación de la PTAR Cerro de la Estrella cuando se logró otro avance en el aumento de la capacidad de tratamiento de las aguas en la ciudad de México. Esta sola planta duplicó el volumen de agua tratada para inicios de los años 70,⁶⁷ y sus aguas se destinaron a las áreas verdes de la delegación Iztapalapa⁶⁸ y al tratamiento de las aguas residuales que se estaban convirtiendo en una fuente contaminación de la ciudad y sus aguas. Los años 80 serán para el saneamiento urbano otro periodo donde se construirán nuevas PTAR pero ninguna del tamaño y comparable a la de Cerro de la Estrella.

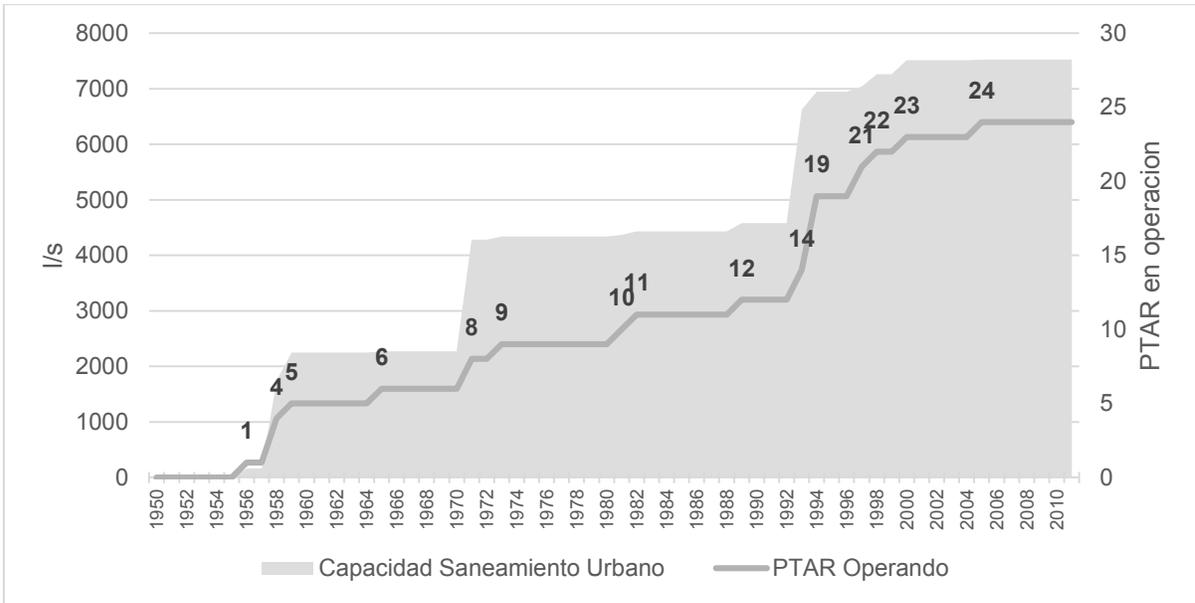
En los años 90, se logra otro aumento considerable de la capacidad para el tratamiento de las aguas, en esta década donde se tiene el primer antecedente de un reuso del agua planificado y estratégicamente planteado para mantener la viabilidad hídrica de la ciudad de México. En 1993, la UNESCO en conjunto con el Gobierno del Distrito Federal (GDF), reconocen el valor patrimonial y ambiental que representa la zona canalera y chinampera de Xochimilco y Tláhuac. De esta forma se declara como área natural protegida y se define un programa para su manejo, en donde se reconoce el abatimiento de los niveles de los canales y el detrimento de la producción agrícola en las chinampas. Para mejorar la PTAR Cerro de la Estrella se aumentan los equipos y el tren de tratamiento para aumentar la capacidad instalada y lograr que esta se convierta en el principal distribuidor de ART a los canales y chinampas de Xochimilco.

⁶⁷ La PTAR Cerro de la Estrella se construyó con la idea de que tratase 2000 l/s. En 1990 sufrió modificaciones en su tren de tratamiento y equipo lo que le permitió aumentar el caudal tratado en 2000 l/s, llegando a una capacidad de tratamiento de 4000 l/s

⁶⁸ El desarrollo urbano de la delegación Iztapalapa durante los años 70, se caracteriza por un desarrollo urbano basado en la autoconstrucción de la vivienda y un desarrollo urbano desordenado y carente de los más básicos servicios públicos, como el transporte público, la dotación del agua, alcantarillado urbano, entre otros.

Entre 1994 y 2010 se construirán 10 nuevas PTAR que se sumaran a la capacidad de tratamiento de la ciudad, ninguna de ellas se comparan en características a la de Cerro de la Estrella, sin embargo, los destinos del agua será para usos agrícolas en vez de reuso para el riego de áreas verdes.

Ilustración 12 Evolución histórica de la capacidad de tratamiento de agua residual DF (1950-2010)



Fuente: Elaboración propia en base información recabada del SACMEX y la CONAGUA V. "Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación", Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009).

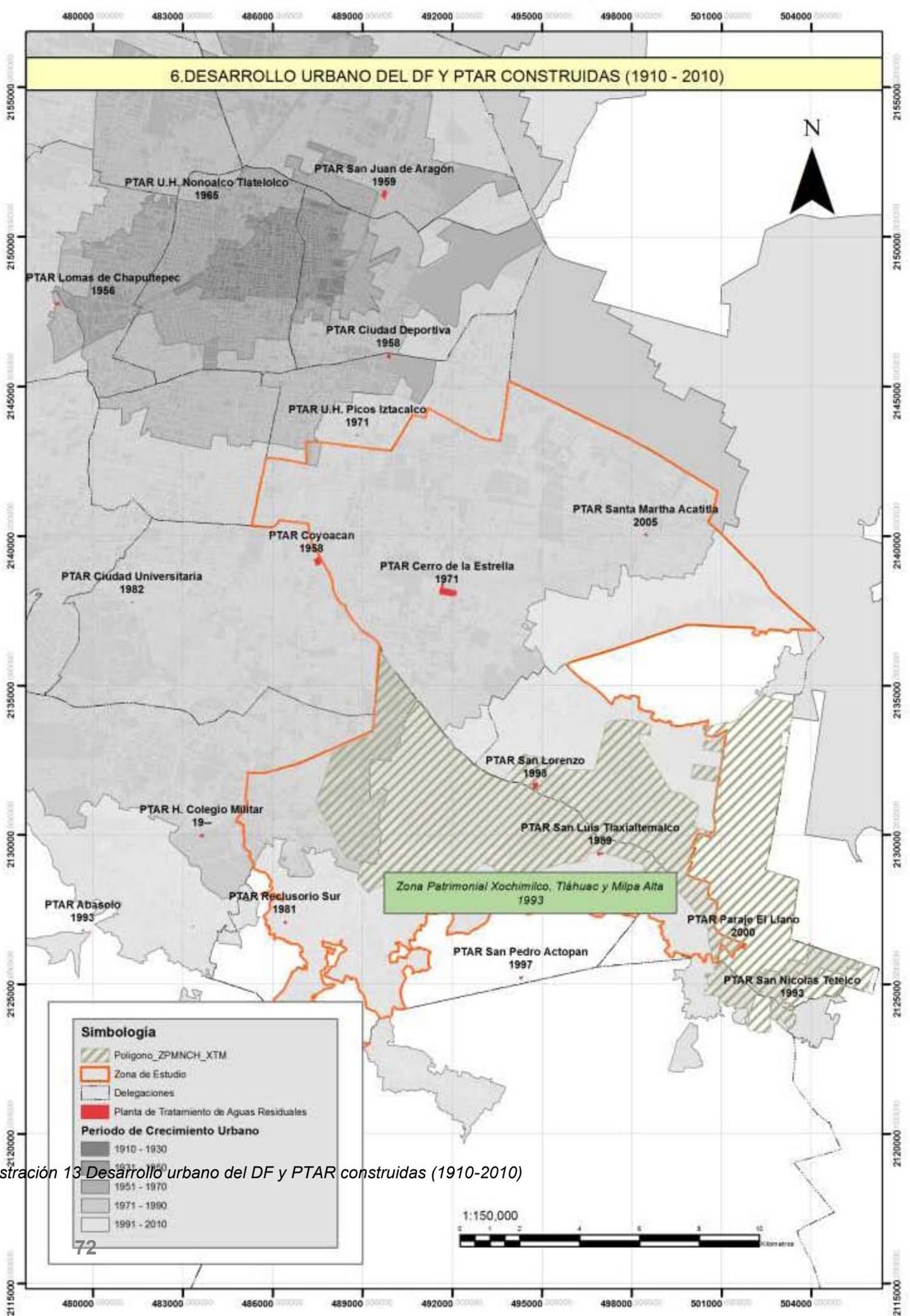


Ilustración 13 Desarrollo urbano del DF y PTAR construidas (1910-2010)

d. Oferta de ART y cobertura de la red

En la zona SO-DF se posee una red de distribución de ART extensa. Esta red se encuentra sobre avenidas y vías principales, su trazo coincide con áreas verdes, jardines, deportivos, etc. Esta red esta nutrida por diferentes PTAR que aportan caudales al sistema de distribución de ART.

La red de distribución se encuentra interconectada entre las diferentes delegaciones del DF, sin embargo, toda la red de ART confluye y distribuye agua principalmente a las delegaciones Xochimilco y Tláhuac, a continuación se muestra el caudal tratado de aguas residuales por delegación, donde se realiza una caracterización de delegaciones productoras y consumidoras de ART.

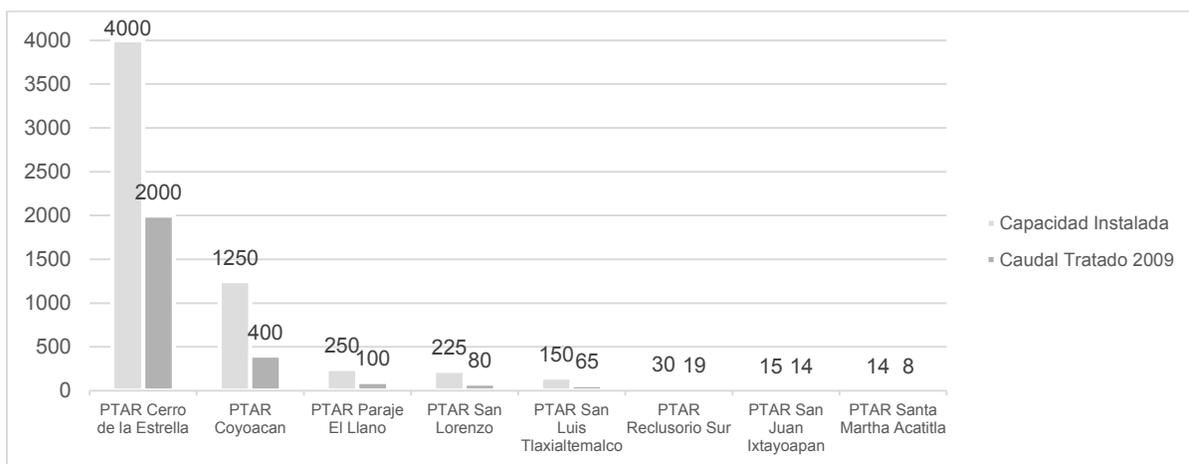
Tabla 13 Balance de producción de ART por delegaciones seleccionadas, 2000

Delegación	Aportación de ART por delegación	Consumo de ART por delegación	Aportación Neta de ART	Relación de consumo de ART
	Q aportado (l/s)	Q consumido (l/s)	Déficit (-) /Superávit (+)	
Benito Juárez	0	4	-4	Consumidor
Coyoacán	860	11	849	Productor
Iztacalco	245	66	179	Productor
Iztapalapa	1709	66	1643	Productor
Tláhuac	50	780	-730	Consumidor
Xochimilco	251	1000	-749	Consumidor
Total	3065	1926	1139	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Delegación Benito Juárez, Coyoacán, Iztaalco, Iztaalapa, Tláhuac y Xochimilco, 2000)

La red de agua residual tratada de estas delegaciones comprende un total de 363.3 km de longitud, con un total de 11 PTAR con una capacidad de tratamiento instalada de 6230 l/s, de los cuales se encuentran en operación un gasto de 2723 l/s (43.7% de su capacidad instalada) al año 2009.

Ilustración 14 Capacidad Instalada y Caudal de Tratamiento de PTAR (2009)



Fuente: Elaboración propia en base información recabada del SACMEX y la CONAGUA V. "Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación", Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009).

En la zona de estudio se encuentra 8 de estas 11 PTAR, las cuales en promedio operan a un 52% de su capacidad Instalada. Los tamaños de estas plantas varían entre sí, pero es importante notar las diferencias de capacidad de tratamiento. Donde las plantas de Cerro de la Estrella y Coyoacán abarcan el 60% del total de capacidad e saneamiento de aguas.

La razón para explicar esto se encuentra en los informes de DGCOH (85') sobre la construcción de la redes de distribución de ART. Antes de los años 90, se construía esta infraestructura con el fin de distribuir agua para riego de áreas verdes, jardines, parques y deportivos locales de las delegaciones. Pero a raíz de la construcción de PTAR Cerro de la Estrella y su empleo para mantener los niveles de los del Área Natural Protegida de Xochimilco y Tláhuac, se comenzó a emplear la infraestructura - disponible para el abasto y distribución de ART a los canales y áreas chinamperas de las delegaciones Xochimilco y Tláhuac.

A pesar del crecimiento urbano de la ciudad y las necesidades de riego de otras áreas verdes y libres, la tendencia del reuso del agua para áreas de valor ambiental se ha mantenido. Se posee una red de distribución extensa e integrada a la ciudad, a pesar de esto, el reuso en usos urbanos no se ha mantenido por diferentes razones, por lo que poco a poco la red de distribución de ART y su infraestructura se han desmantelado de manera parcial.⁶⁹

⁶⁹ V. "Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005" Delegaciones Benito Juárez, Coyoacán, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco,; Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)

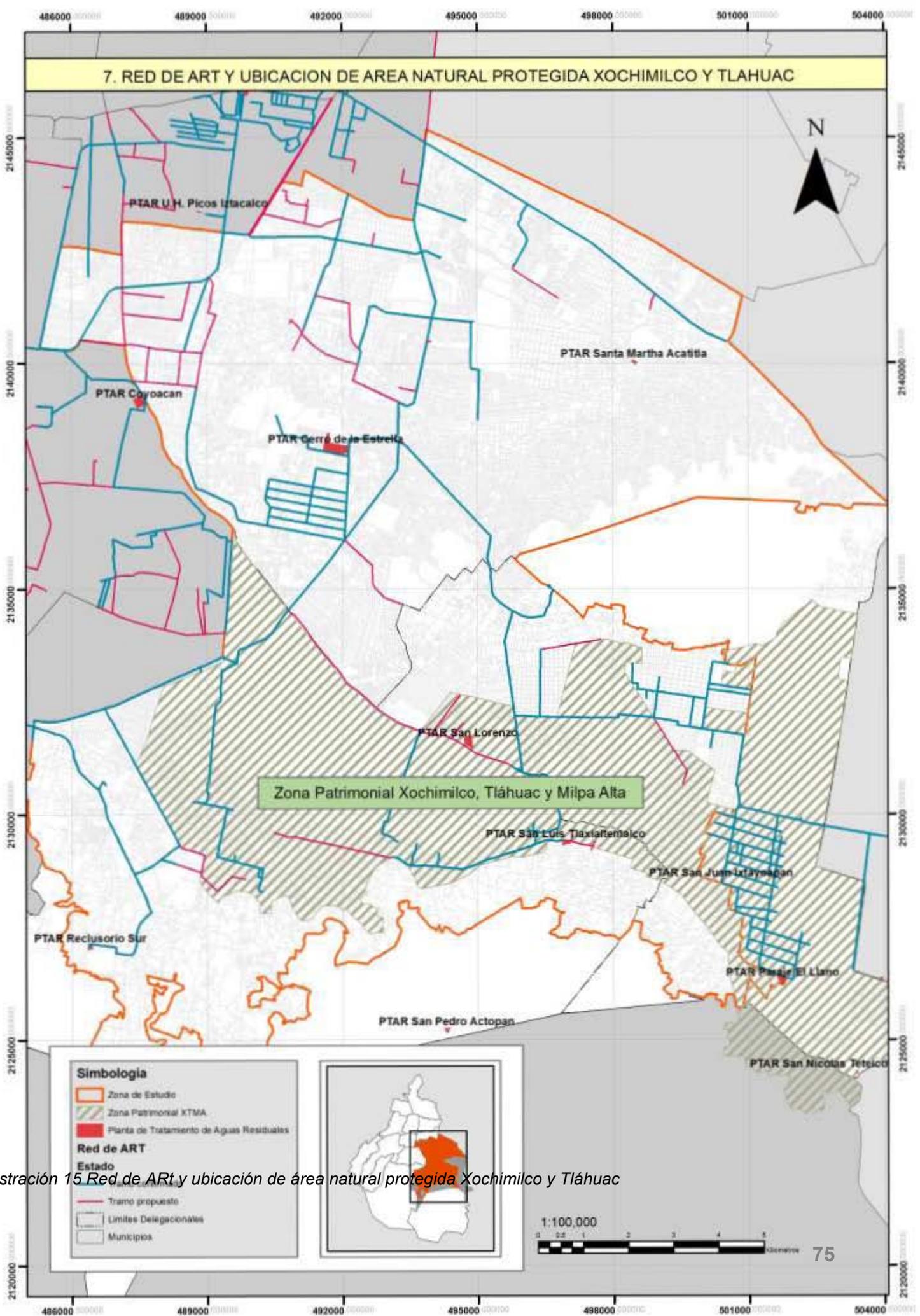


Ilustración 15 Red de ART y ubicación de área natural protegida Xochimilco y Tláhuac

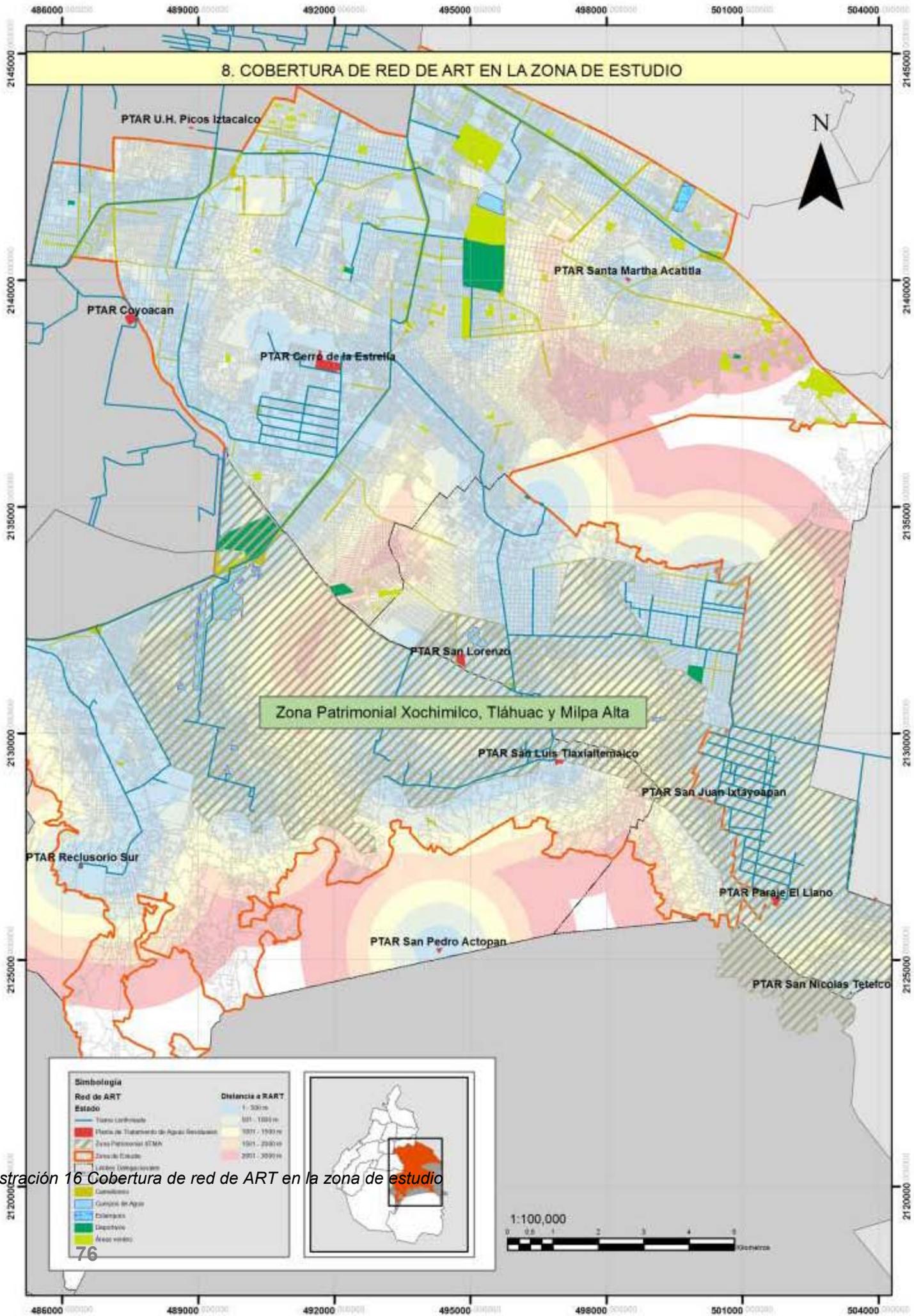


Ilustración 16 Cobertura de red de ART en la zona de estudio

3. Situación actual del saneamiento en la zona de estudio

a. Fichas resumen de infraestructura para el saneamiento de las aguas

NOMBRE DE LA PTAR	CERRO DE LA ESTRELLA
UBICACIÓN	Av. San Lorenzo # 312, Colonia San Juan Xalpa, Delegación Iztapalapa,
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1971
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	Capacidad Instalada: 4000 l/s Caudal en tratamiento: 2000 l/s
DESTINOS DEL ART	Riego de áreas verdes, parques, jardines y deportivos (Iztapalapa) Distribución a zonas industriales (Iztapalapa) Proyecto de infiltración de agua tratada a acuíferos (Tláhuac) Mantenimiento de niveles de canales en Xochimilco y Tláhuac
FUENTES DE INFORMACIÓN	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación”, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009).</i> <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Iztapalapa, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)</i> <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inédita)”, Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)</i>

NOMBRE DE LA PTAR	COYOACÁN
UBICACIÓN	Av. Heroica Escuela Naval Militar No. 66, Colonia Paseos de Taxqueña, Delegación Coyoacán,
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1958
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	Capacidad Instalada: 1250 l/s Caudal en tratamiento: 400 l/s
DESTINOS DEL ART	Riego de áreas verdes, parques, jardines y deportivos (Coyoacán)
FUENTES DE INFORMACION	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación</i> , Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009). <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Coyoacán, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)</i> <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en la Ciudad de México (Tesis Inédita)”</i> , Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)

NOMBRE DE LA PTAR	PARAJE EL LLANO
UBICACIÓN	Canal Amecameca, Esquina Puente de Tubos, Colonia El Llano, Pueblo de San Juan Ixtayopan, Delegación Tláhuac
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2000
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	Capacidad Instalada: 250 l/s Caudal en tratamiento: 100 l/s
DESTINOS DEL ART	Riego agrícola (Tláhuac) Proyecto de infiltración indirecta (Tláhuac)
FUENTES DE INFORMACIÓN	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación</i> , Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009). <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Tláhuac, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)</i> <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en la Ciudad de México (Tesis Inédita)”</i> , Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)

NOMBRE DE LA PTAR	RECLUSORIO SUR
UBICACIÓN	Calz. Ermita Iztapalapa y Zacatepec, Colonia Paraje Zacatepec, Delegación Iztapalapa,
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1981
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	Capacidad Instalada: 30 l/s Caudal en tratamiento: 19 l/s
DESTINOS DEL ART	Reuso en áreas libres del reclusorio sur
FUENTES DE INFORMACIÓN	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación</i> , Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009). <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Xochimilco, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)</i> <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inédita)”</i> , Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)

NOMBRE DE LA PTAR	SAN JUAN IXTAYOAPAN “LA LUPITA”
UBICACIÓN	Carretera Xochimilco - Oaxtepec Km. 17 + 400 Pueblo De San Pedro Atocpan Delegación Milpa Alta.
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1994
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	Capacidad Instalada: 15 l/s Caudal en tratamiento: 14 l/s
DESTINOS DEL ART	Riego de áreas verdes Riego agrícola (Tláhuac)
FUENTES DE INFORMACIÓN	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación</i> , Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009). <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Milpa Alta, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)</i> <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inédita)”</i> , Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)

NOMBRE DE LA PTAR	SAN LORENZO
UBICACIÓN	Av. Canal de Chalco y Av. Heberto Castillo, Colonia Unidad Habitacional Villas de los Trabajadores del DF, Delegación Tláhuac.
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1998
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	Capacidad Instalada: 225 l/s Caudal en tratamiento: 80 l/s
DESTINOS DEL ART	Aportación al mantenimiento de canales en Xochimilco y Tláhuac
FUENTES DE INFORMACIÓN	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación</i> , Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009). <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Tláhuac</i> , Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000) <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inédita)”</i> , Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)

NOMBRE DE LA PTAR	SAN LUIS TLAXIALTEMALCO
UBICACIÓN	Av. 5 de Mayo, Colonia San Luis Tlaxialtemalco, delegación Xochimilco.
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1989
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	Capacidad Instalada: 150 l/s Caudal en tratamiento: 65 l/s
DESTINOS DEL ART	Aportación al mantenimiento de canales en Xochimilco de la zona Turística
FUENTES DE INFORMACIÓN	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación</i> , Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009). <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Xochimilco</i> , Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000) <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inédita)”</i> , Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)

NOMBRE DE LA PTAR**SANTA MARTHA ACATITLA**

<i>UBICACIÓN</i>	Calz. Ermita Iztapalapa y Zacatepec, Colonia Paraje Zacatepec, Delegación Iztapalapa,
<i>AÑO DE CONSTRUCCIÓN</i>	2005
<i>CAPACIDAD DE TRATAMIENTO</i>	Capacidad Instalada: 14 l/s Caudal en tratamiento: 8 l/s
<i>DESTINOS DEL ART</i>	Reuso en sanitarios y áreas libres
<i>FUENTES DE INFORMACIÓN</i>	<i>Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación”, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009).</i> <i>Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Iztapalapa, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)</i> <i>“Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inédita)”, Riveros O., Bruno, UNAM, México (2013)</i>

b. Esquema de operación de la PTAR Cerro de la Estrella y calidad del agua
producida

Según CONAGUA, la planta de tratamiento trata un caudal de 2000 l/s, con una tecnología de tratamiento a nivel terciario,⁷⁰ que incluye la desinfección del agua por cloro y un prototipo de desinfección por medio de rayos ultravioleta.⁷¹ A continuación se describe de manera general el tren de tratamiento de las aguas:

1. Pre-tratamiento

Consiste en la conducción de las aguas residuales por medio de una canal que disminuye la velocidad con la que llega el agua, donde posteriormente se retiraran por medios mecánicos los sólidos de mayor tamaño, es decir basura y objetos que pueden dañar las partes del tren de tratamiento, estos residuos son retirados por medio de maquinaria o por el personal.

2. Tratamiento Primario

El agua se hace depositar en tanques donde se disminuye su velocidad para permitir la precipitación de los lodos (Sedimentado Primario), los cuales serán removidos por medio de palas al fondo del tanque, estos lodos son un primer producto del tratamiento.⁷²

3. Tratamiento Secundario

Después de separar los lodos, el agua pasara a unos segundos tanques, donde esta será puesta en contacto con burbujas de aire, mediante tuberías perforadas se inyecta aire, este proceso tiene el objeto de generar un agua con una alta concentración de oxígeno, el cual hará provocara la proliferación de bacterias que ayudaran a disolver la materia orgánica disuelta en el agua, este proceso da como resultado una mezcla de agua y lodos orgánicos. Este paso es esencial para el tratamiento, ya que dependiendo del tiempo de exposición del agua a este ambiente generado, dependerá la calidad del agua que resulta del tratamiento. Posteriormente, el agua se somete a un proceso parecido al del tratamiento primario, donde se disminuye la velocidad del flujo y se deja precipitar de nuevo los lodos “activados” por bacterias, mientras se separa el agua clara que se encuentra en la capa más superior del

⁷⁰ V. Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación”, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México (2009).

⁷¹ V. Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Iztapalapa, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000)

⁷² Estos lodos pueden ser estabilizados con otros procesos y servir como abono para la mejora de suelos agrícolas entre otros usos.

tanque⁷³ (Sedimentado Secundario). Los lodos a su vez restantes serán revueltos y reintegrados a este mismo tanque para que sigan aportando sus bacterias al tratamiento. Después se procederá con la filtración del agua extraída mediante la decantación, por medio de arenas y gravas, esto se realiza con el fin de retirar los sólidos suspendidos aun presentes en las aguas tratadas.

4. Tratamiento Terciario

El último proceso del tratamiento consistirá en hacer pasar el agua por un tanque en la que se le adicionará gas cloro para disminuir la concentración de los patógenos que se hayan formado en el agua. La PTAR “Cerro de la Estrella” posee un proceso alternativo para la desinfección del agua que consiste en hacer pasar el agua por tubos de vidrio expuestos a rayos ultravioleta, que eliminan de igual manera los patógenos, sin embargo, este tren de tratamiento es un prototipo pero ha demostrado su efectividad. Por último, el agua que ha sido desinfectada, pasa a un cárcamo de bombeo donde es bombeada a la red de agua residual tratada a diferentes puntos dentro y fuera de la delegación.

A este apartado cabe hacer algunas aclaraciones, ya que aunque la PTAR Cerro de la Estrella es un modelo para la gestión del agua tratada, en la operación, de esta se encuentran fallas que pueden ser atribuidas a la edad de la planta. Por ejemplo, se menciona que los motores que sirven para mover los equipos de dragado (palas de los tanques) para la remoción de lodos, se encuentran en mal estado por fallas. La alternativa a la que han tenido que recurrir es a la eliminación del tanque primario de sedimentación, y a la ampliación de los tanques de reacción biológica; otros casos de estas fallas son la eliminación de la filtración por arenas debido a límites presupuestales, el daño generalizado de los motores para el dragado de los tanques de sedimentación primaria. Además, Riveros menciona que es necesario hacer adecuaciones a la planta como la implementación de un sistema de tratamiento terciario que complemente el tratamiento actual.⁷⁴ También Ramírez, al realizar una evaluación de los equipos y de la tecnología empleada en la PTAR, indica que “Existen equipos que no han sido reemplazados por más de 20 años, lo cual se traduce en obsolescencia de la infraestructura, vulnerabilidad en la operación, disminución de la eficiencia y el rendimiento de los equipos...”, esta son las condiciones de operación de PTAR Cerro de la Estrella.⁷⁵

⁷³ La decantación es un proceso físico que consiste en la separación de una solución, basado en la densidad; es dejar precipitarse sólidos en un líquido para su posterior separación.

⁷⁴ V. “Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inédita)”, Riveros O., Bruno, UNAM, México, (2013).

⁷⁵ V. “Política Hídrica y Cambio Tecnológico en Tecnologías Aplicadas al Tratamiento de las Aguas Residuales” en Journal of Technology, Management & Innovation, Ramirez G., Patricia; Longar B., María del Pilar; Gómez V., Hortensia; Maffini G., Clandia (2013), pp. 68

Reconociendo estas condiciones de operación, es difícil establecer cuál es la calidad del agua que se está produciendo y bombeando a diferentes puntos conectados a esta infraestructura. El monitoreo de la calidad del agua emitida por la PTAR no se hace público lo cual dificulta la evaluación de la misma.

Como lo indica DGCOH,⁷⁶ el agua residual tratada se emplea principalmente para el mantenimiento de áreas verdes, parques y jardines, a la recarga del acuífero en la Sierra de Sta. Catarina (en la delegación Tláhuac), en mantener el tirante medio de los canales de Xochimilco y a la dotación de agua tratada a usos industriales en la delegación Iztapalapa.

La calidad del agua producida en la PTAR Cerro de la Estrella, las normas oficiales mexicanas aplicables por los destinos el agua tratada tiene son las siguientes:

- NOM-003-SEMARNAT-1997
- NOM-014-CONAGUA-2003

Los usos o (reúsos) que se reconocen y se reglamentan en la NOM-003-SEMARNAT-1997 son de dos tipos:

1. Reuso en servicios al público con contacto directo.

Esta norma los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

2. Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional

Esto significa que los usuarios tendrán un contacto indirecto o en su caso incidental, donde es posible que existan barreras físicas o personal que evite el contacto, la norma oficial reconoce los siguientes reúsos: riego de jardines y camellones en autopistas; camellones en avenidas; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

La NOM-003-SEMARNAT-1997 establece que los principales parámetros para observar en la calidad del agua son coliformes suspendidos, huevos de Helminto, grasas y aceites, DBO y solidos suspendidos totales (SST)⁷⁷. A continuación en la siguiente tabla se especifican cual son los niveles establecidos máximos para estos contaminantes:

⁷⁶ V. Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Iztapalapa, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000) pp. 89 y 112

⁷⁷ Se establecen una serie de nomenclaturas para los diferentes contaminantes: NMP/100 mil significa número más probable entre 100 mil, h/l indica número de huevos por litro y mg/l indica miligramos por litro.

Tabla 14 Límites Máximos Permisibles de contaminantes en ART por NOM-003-SEMARNAT-1997

Promedio medio de manera Mensual

Tipo de Reuso	Coliformes Fecales (NMP/100 mil)	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites (mg/l)	DBO₅ (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

Fuente: "Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, DOF, (1998)

La NOM-014-CONAGUA-2003, establece de la misma manera los lineamientos necesarios para realizar los proyectos de recarga de acuíferos con agua residual tratada, establece en lo general 3 tipos de recarga de acuíferos:

- Superficial: consiste en la recarga desde la superficie por infiltración en obras como: estanques o piletas de infiltración, inundación del terreno, cauces acondicionados, zanjas, sobre riego o una combinación de ellas;
- Subterránea: consiste en la introducción del agua en la zona no saturada mediante pozos secos, zanjas o estanques profundos, y
- Directo: consiste en la introducción directa del agua al acuífero por medio de pozos cuya sección abierta lo penetran parcial o totalmente.

A continuación se indican los límites de contaminantes permitidos por la NOM-014-CONAGUA-2003:

Tabla 15 Calidad del Agua Tratada para Recarga Artificial [Acuíferos] por NOM-014-CONAGUA-2003

Tipos de contaminante	Tipos de Sistema de Recarga	
	Superficial / Subterránea	Directo
Microorganismos Patógenos	Remoción o inactivación de microorganismos entero patógenos	Remoción o inactivación total de microorganismos entero patógenos
Contaminantes Regulados por Norma	Límites permisibles NOM-127-SSA1-1994 ⁷⁸	Límites permisibles NOM-127-SSA1-1994
Contaminantes no Regulados por Norma	DBO5 ≤ 30 mg/l, COT = 16 mg/l	COT ≤ 1 mg/l

Fuente: "Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, DOF, México, (2009)

Conociendo las normas a los que se somete la descarga (o abasto) de ART, se realizó una clasificación de las calidades del agua que se deben de producir para el reuso de las aguas tratadas de la PTAR Cerro de la Estrella. La DGCOH (2000) identificó la dotación y/o abasto de ART por tipo de uso, de esta forma se realizó una aproximación del caudal distribuido por tipo de NOM aplicable.

El caudal requerido para los usos de riego de áreas verdes, equipamientos y mantenimiento de canales en Xochimilco y Tláhuac, son los usos que abarcan la mayor parte del caudal suministrado. Pero la falta de indicadores de calidad disponible, se hace necesario realizar un estudio de calidad del agua del agua tratada por PTAR Cerro de la Estrella.

⁷⁸ Los contaminantes regulados por la NOM-127-SSA1-1994, son los referentes a organismos coliformes presentes, coliformes fecales, coloración, olor, sabor y turbiedad del agua; concentración relativa y total de diferentes metales, arsénico presente y radiactiva máxima. Para más información consultar (Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, 2000)

*Tabla 16 Distribución de ART por calidad de Agua PTAR Cerro de la Estrella, Iztapalapa 2000**

Norma Aplicada	Destino o uso especificado	Conteo de sitios abastecidos	Caudal suministrado	Caudal Total
NOM - 003 - SEMARNAT - 1997	Riego de Espacios abiertos y camellones	27	0.28	1068.95
	Consumo en Equipamiento Urbano**	5	68.67	
	Mantenimiento de tirante de canal con ART	1	1000	
NOM-014- CONAGUA-2003	Recarga artificial acuífero con ART	1	600	600
Sin norma Aplicable	Uso en procesos Industriales***	1	0.05	0.05
	Total		144,197	

*Información cotejada y actualizada con respecto a los "Planes de acciones hidráulicas del año 2001 – 2005", esta información fue actualizada en base a información cartográfica y corrección de polígonos abastecidos por medio de fotografías aéreas

** El consumo en equipamiento urbano se centra en el riego de un panteón, dos deportivos y el parque "Cerro de la estrella"

*** No hay norma aplicable para el uso de ART en procesos industriales

Fuente: Elaboración propia con datos Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 Delegación Iztapalapa, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, GDF, México (2000).

4. Relación oferta-demanda de agua residual tratada

a. Aspectos para evaluar el potencial de reuso de ART

Para identificar a que espacios se distribuye ART, se analizó la información disponible en documentos oficiales. Se empleó el patrón de abasto actual de ART como elemento para identificar que usos de suelo son demanda de potencial de agua tratada. Se clasificaron los principales destinos del ART y los medios por los cuales se distribuye agua y se concluyeron los siguientes usos de suelo demandantes de ART:

- **Uso en riego de áreas verdes y equipamiento urbano**
Se riegan estos espacios por medio de carros tanque (pipa) y la red de ART. Los usos de suelo abastecidos poseen cobertura vegetal como pasto, arbustos y árboles etc. Los camellones son típicos ejemplos de este tipo de reuso, ya que se les distribuye agua para mantener la imagen urbana de la ciudad, sin embargo, es atípico ver que estos se rieguen por medio de la red de ART, en vez de esta, se emplea el riego por medio de carro tanque. Por otro lado, los deportivos y parques son usos de suelo a los que se les distribuye ART por medio de la red.
El reuso del agua se puede clasificar como un uso directo del agua ya que se abastece por medio de pipa y red de distribución. La normatividad aplicable en este caso es la NOM-003-SEMARNAT-1997 en el caso específico del ART con contacto directo con los usuarios.
- **Uso industrial**
Se realiza el aprovechamiento del agua mediante la dotación a áreas que se reconocen que emplean ART en los procesos de producción. Se identificó que para la dotación ART se tiene que realizar modificaciones en los terrenos y lotes para introducción y almacenamiento del ART. Además, para facilitar la introducción de la infraestructura, se requiere la aglomeración de industrias para garantizar el mínimo aprovechamiento de la infraestructura y por último, la disponibilidad inmediata de la infraestructura es importante para garantizar un caudal continuo. Para el reuso industrial aquí se considera como una combinación entre un reuso planeado e intencional y un reuso indirecto, ya que la disponibilidad de la RART, no garantiza su aprovechamiento. En el caso del reuso industrial, México carece de un marco normativo para la distribución de ART a usos industriales.

- Uso de valor ambiental o de conservación ambiental

Se da abasto a estos sitios y usos mediante la infraestructura presente. El abasto se realiza mediante la dotación de agua en bloque, donde los volúmenes carecen de un indicador para determinar un consumo definido medio para estos usos. El abasto se realiza para la conservación del ambiente en la zona patrimonial en las delegaciones Xochimilco y Tláhuac. Parte del caudal está comprometido para la recarga de acuíferos en la Sierra de Sta. Catarina. El reuso del agua aquí se presenta como un uso indirecto e incidental. La normatividad aplicable en este caso, ya incluye tanto la NOM-003-SEMARNAT-1997 y la NOM-014-CONAGUA-2013

Haciendo este breve análisis, se concluyó que:

1. Hay una serie de conceptos que rigen la dotación de ART y que están presentes en los diferentes reusos que pueden tener el agua tratada.
2. Hay parámetros que son compartidos entre diferentes usos, los cuales se relacionan con el contacto o no que tienen los usuarios con el ART.

Se establecieron 9 aspectos a evaluar con los usos de suelo, con el fin de calificar cuál es el potencial para el reuso del agua en estos reusos.

Para este caso de estudio, se planteó el análisis de solo dos tipos de usos de suelo. Se excluyó la identificación de usos de suelo de conservación ambiental.⁷⁹ A pesar de esto, se seguirán empleando los datos encontrados de demanda de ART para estos usos como una demanda fija o ya comprometida de la red de distribución de ART.

⁷⁹ La razón por la que se excluyen, es la carencia de los conocimientos para su dimensionamiento de demanda agua tratada.

Tabla 17 Tabla de aspectos a observar para la dotación ART por diferentes Usos de suelo(2014)

Uso espacios abiertos (Parques, plazas, camellones y áreas verdes)

Uso industrial (uso en procesos industriales)

<u>Permeabilidad</u>	<u>Empleo</u>
Los espacios deben tener una superficie permeable al agua, con o sin cobertura vegetal	Los espacios deben garantizar el empleo de las ART en sus procesos de producción
<u>Utilidad</u>	<u>Adaptabilidad</u>
Los espacios deben tener equipo ya sea para desarrollar actividades recreativas o deportivas	Los espacios en su conjunto deben conformar polígonos de dotación para uso industrial
<u>Imagen Urbana</u>	<u>Aglomeración</u>
Los espacios deben ser espacios públicos emblemáticos o reconocibles en la estructura de la delegación	Los espacios deberán tener una superficie considerable para realizar las obras para el abasto

Infraestructura

Los espacios tienen acceso inmediato a la infraestructura para garantizar la dotación continua

Fuente: Elaboración propia con información de "Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005" – Delegación Coyoacan, Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco, 2000)

Tomando como base estas características se realizaron dos tablas para la valoración cuantitativa. Calificarlos cumple el fin de identificar el potencial reuso de ART en sus sitios y áreas. La escala de calificación se planteó en números decimales, con una calificación mínima de 2.5 y una máxima de 10, para áreas verdes y espacios públicos; y una calificación mínima de 3 y máxima de 10 para usos industriales.

Se procedió a la clasificación de espacios potenciales demandantes de ART. La fuente de información para su clasificación fueron imágenes satelitales de alta resolución de la delegación Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac, Orto fotos, catastros y planes de desarrollo urbano. Por otro lado, los usos industriales, fueron precisados mediante el filtrado de las actividades económicas desagregadas del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)⁸⁰, en las

⁸⁰ V. "Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, México, 2015. Consulta en línea.

cuales se identificó las siguientes ramas y sub ramas de producción industrial que emplean ART según la DGCOH en el año 2000⁸¹

- Elaboración de productos lácteos
- Hilados y tejidos y acabado de fibras blandas
- Industria del cuero, pieles y sus productos
- Manufactureras de papel y celulosa
- Industria del hule
- Elaboración de productos de plástico
- Fabricación productos de aserradero
- Fabricación de envases y otros productos
- Fabricación de cemento, cal y yeso
- Fundición y moldeo de piezas metálicas
- industria básica del hierro y acero

Al igual que con la captura de la infraestructura de saneamiento, se empleó SIG para la captura de la información. Por lo cual se logró conformar la base de datos cartográfica y estadística de la demanda de ART en la zona de estudio.

⁸¹ V. "Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005" – Delegación Iztapalapa, DGCOH, México, (2000)

Tabla 18 Valoración de espacios abiertos y áreas verdes por características presentes (2014)

Uso espacios abiertos	Características observada	Puntos por característica
Infraestructura	Tuberías de ART a 100 m	4
	Tuberías de ART a 300 m	3
	Tuberías de ART a 500 m	1
	Tuberías de ART a más de 500	0.5
Utilidad	Canchas deportivas y equipos de ejercicio	3
	Juegos para niños, bancas, pistas para trotar	2
	Sin equipo de ninguna clase	1
Permeabilidad	Cobertura vegetal completa	2
	Cobertura vegetal mínima	1
	Sin cobertura vegetal	0.5
Imagen Urbana	Parques y deportivos de la delegación	1
	Camellón y seccionamientos viales	0.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19 Valoración de espacios industriales por características presentes. (2014)

<i>Uso industriales</i>	<i>Características observada</i>	<i>Puntos por característica</i>
Empleo	Uso en procesos industriales	4
	Uso en limpieza y mantenimiento de equipo	2
	Sin aprovechamiento	1
Infraestructura	Acceso a tubería inmediata en calle	3
	Proyecto existente de extensión de ART	2
	Sin disponibilidad de red	1
Aglomeración	Aglomeración mayor de industrias	2
	Aglomeración menor	1.5
	Sin aglomeración	0.5
Adaptabilidad	Terreno con capacidad de hacer adaptaciones	1
	Terreno sin capacidad de hacer adaptaciones	0.5

Fuente: Elaboración Propia

b. Estimación de demanda de ART por de uso de suelo

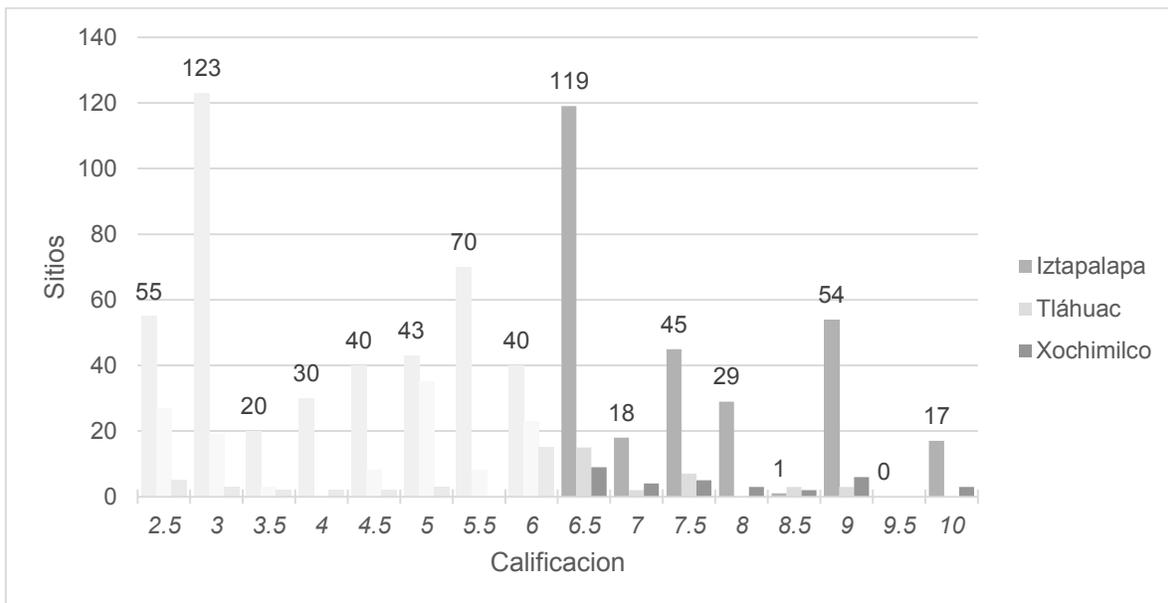
Se localizaron un total de 1173 espacios que son posibles demandantes de ART, con una superficie total de 1386.6 ha de las cuales 78.5% correspondes a áreas verdes, espacios abiertos, deportivos plazas y jardines, y el restante 12.5% corresponde a polígonos industriales.

A cada espacio identificado se le asignó una calificación en base a las características que posee. A continuación se presentan los resultados y planos que indican las calificaciones relativas a cada uso de suelo.

1. *Áreas libres, parques, deportivos y jardines*

Se ubicaron 921 áreas libres, espacios abiertos, jardines y deportivos en la zona de estudio, la superficie que abarcan es de 646. ha, la calificación promedio en estos usos fue de 5.4 puntos. Se estableció un mínimo de 6.5 puntos para que se considerase potencial demanda de ART. De este modo se disminuyó a 345 las áreas libres que se consideran demanda efectiva de ART. A continuación se muestra un gráfico que describe las calificaciones de los 921 espacios en las 3 delegaciones que se abarcan, para efectos prácticos de identificación se resaltan los considerados como demanda efectiva de ART. También se muestra el mapa resultante de la identificación.

Ilustración 17 Calificaciones de Espacios y Áreas Libres por Delegacion



Fuente: *Elaboración propia*

Las principales características de la demanda efectiva de ART en usos de espacios abiertos y áreas libres son:

1. Las áreas verdes y espacios verdes se encuentran muy próximos a la red de distribución de agua tratada, lo cual hace factible su abasto por la red
2. Algunos de estos espacios poseen el mobiliario urbano y se emplean como canchas deportivas o lugares donde se realiza ejercicio, por otro lado, los que no han sido adecuados para estas actividades carecen totalmente del mobiliario urbano de cualquier índole
3. En casi su totalidad estas áreas libres poseen un mínimo cobertura vegetal como pastos, arbustos o árboles, a pesar de esto, es notoria la falta de mantenimiento de estas áreas.
4. Por último estos espacios son por igual camellones y/o parques, a menudo se observó que camellones son empleados como parques urbanos o canchas deportivas dadas sus dimensiones

9. CALIFICACION DE DEMANDA EFECTIVA DE ART (USO EN AREAS LIBRES Y ESPACIOS ABIERTOS)

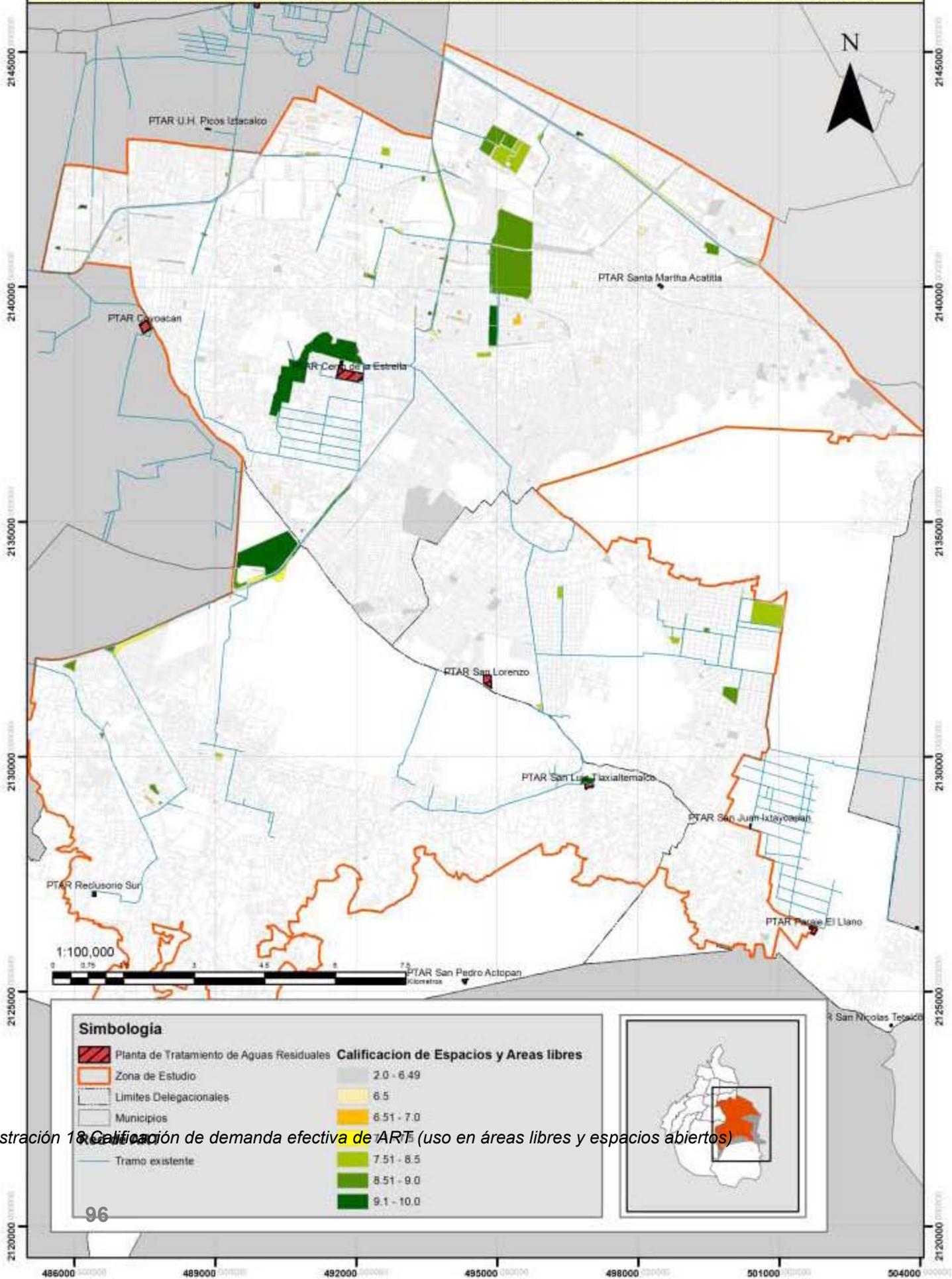


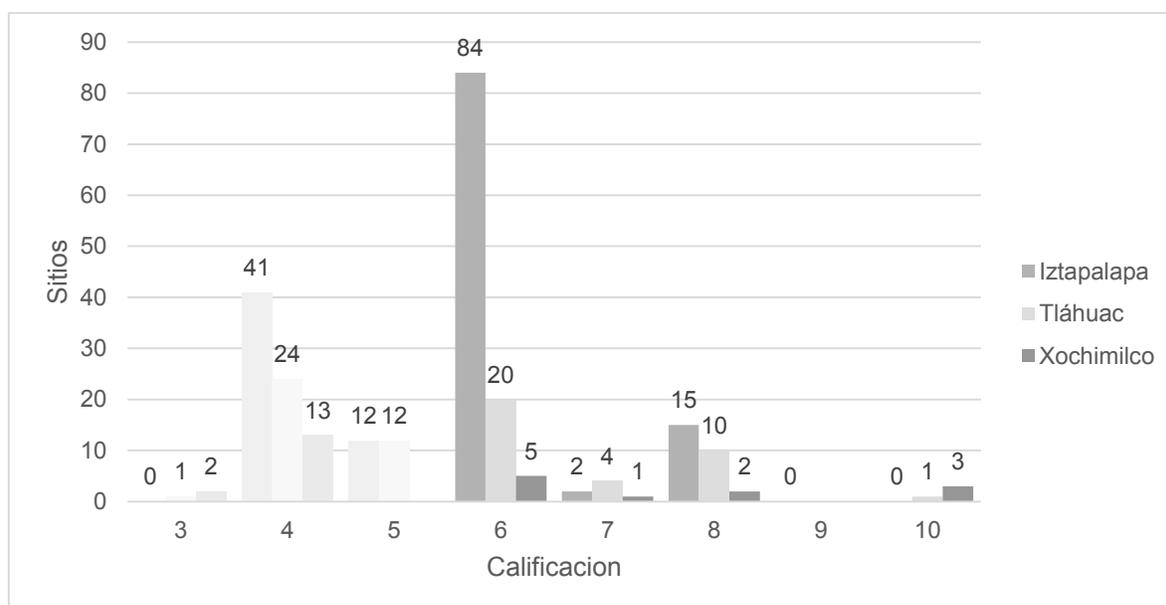
Ilustración 18. Calificación de demanda efectiva de ART (uso en áreas libres y espacios abiertos)

2. Usos industriales

Se ubicaron en la zona de estudio 252 polígonos industriales, que abarcan un área de 430.5 ha. La calificación promedio fue de 5.5, sin embargo se estableció que como mínimo su calificación sea de 6 puntos para ser considerados como demanda efectiva de ART.

La demanda efectiva de ART se redujo a 147 sitios en las tres delegaciones. A continuación se muestra el gráfico de las calificaciones de los usos industriales por delegación, donde se resaltan cuáles son los que están por encima del mínimo, además se presenta el plano correspondiente de la información.

Ilustración 19 Calificaciones de Sitios y usos Industriales por Delegación

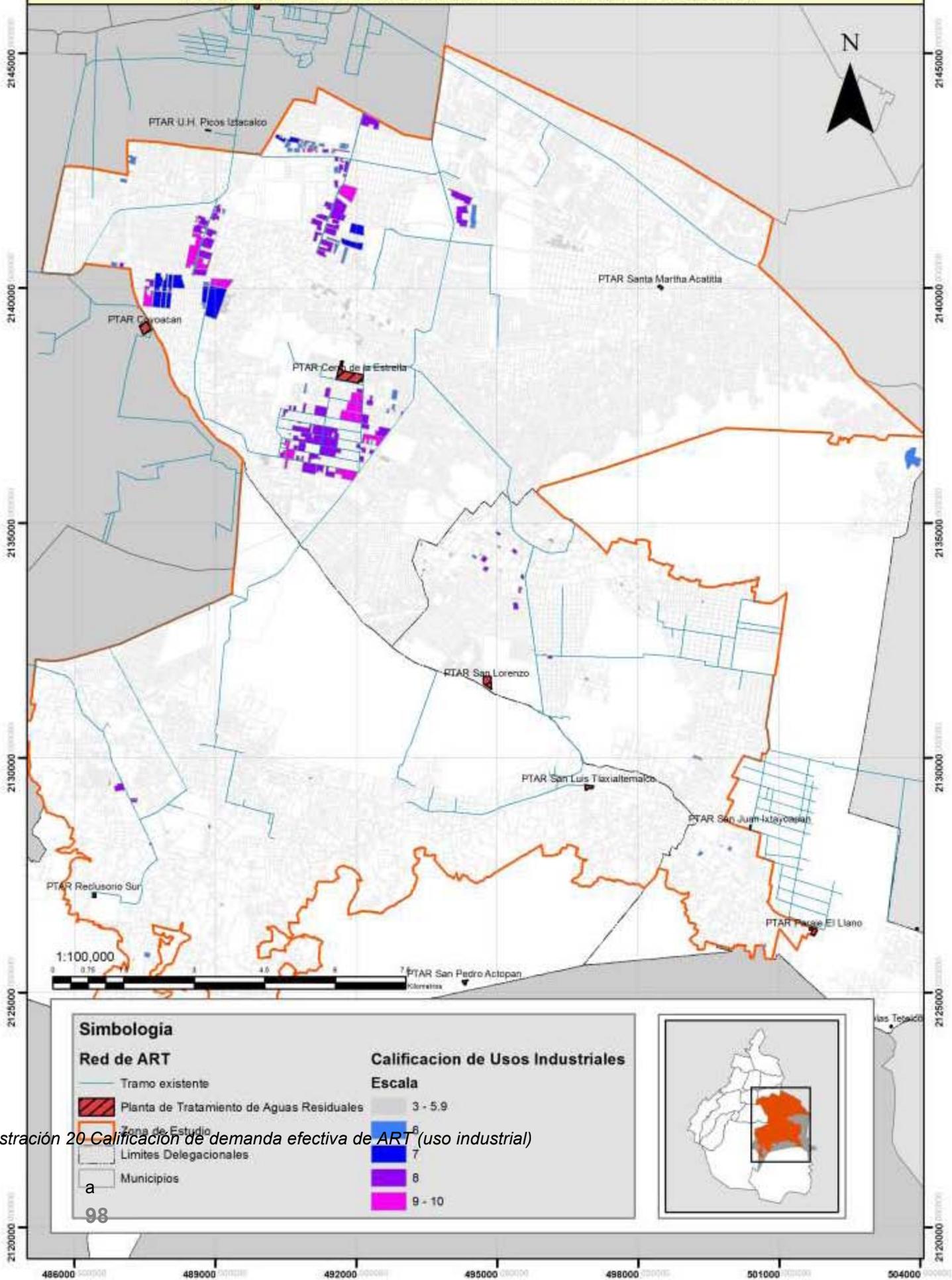


Fuente: Elaboración propia

Las características principales de los usos industriales considerados como demanda efectiva son:

1. El empleo del agua tratada para uso industrial sería para la limpieza, el mantenimiento y el enfriamiento del equipo industrial.
2. La mayoría de las industrias se encuentra muy próximas a la red de distribución actual y algunas se encuentran en las propuestas de expansión de red de la DGCOH en 1985.
3. Su distribución espacial es dispersa y no ha conformado aglomeraciones notables
4. Las dimensiones de los lotes y predios permite realizar las adecuaciones para la introducción de agua de reuso en sus procesos

10. CALIFICACION DE DEMANDA EFECTIVA DE ART (USO INDUSTRIAL)



Simbologia

Red de ART

- Tramo existente
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- Zona de Estudio
- Limites Delegacionales
- Municipios

Calificacion de Usos Industriales

- Escala**
- 3 - 5.9
 - 6
 - 7
 - 8
 - 9 - 10

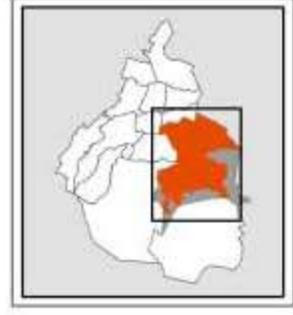


Ilustración 20 Calificación de demanda efectiva de ART (uso industrial)

Con los usos identificados, se procedió a realizar la estimación del volumen de demanda de ART, los medios necesarios para su distribución y la calidad necesaria.. Las estimaciones se encontraran relacionadas con las características específicas de cada uso; en el caso de las áreas verdes el parámetro principal a observar ser la superficie total, ya que se requiere riego directo de la superficie forma de dotación En usos industriales, la demanda de ART depende de la participación del agua en la producción.⁸²

Los parámetros de dotación, se manejaran como “columnas” de agua, esto es una constante de riego sobre una superficie en un día y es similar al concepto de precipitación sobre una cuenca hidrográfica⁸³.

Las dotaciones establecidas para cada tipo de uso que se muestran a continuación:⁸⁴

- | | |
|--|---|
| • Áreas Libres | 5 mm de columna de ART por m ² |
| • Áreas Libre (por debajo del mínimo) | 3 mm de columna de ART por m ² |
| • Polígonos industriales | 0.7 mm de columna de ART por m ² |
| • Polígonos industriales (por debajo del mínimo) | 0.5 mm de columna de ART por m ² |

Aunque no son considerados demanda efectiva de ART, se incluyó en los datos de dotación a los sitios y áreas por debajo del mínimo, ya que estos sitios representan una demanda potencial de ART.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, donde se incluyen datos del uso, conteo de sitios, dotación estimada por m², superficie que ocupan los usos y caudales estimados para su dotación.⁸⁵

⁸² Esta investigación busca realizar una estimación preliminar para usos industriales, cada uso industrial demandara volumen dependiendo del tipo de industria. La búsqueda y corroboración de estos datos requiere de una investigación profunda, Para el dato que se empleo para definir la demanda en uso industrial se baso en la distribución de ART de la PTAR Cerro de la Estrella, a un polígono industrial identificado como “Industriales Iztapalapa”. La PTAR Cerro de la Estrella asigna 1.27 m de columna de agua por m²

⁸³ Se emplea este parámetro por su simplicidad de aplicación en los cálculos, ya que la multiplicación de un área (m²) por una altura (m), nos resulta en un volumen (m³) que es una magnitud empleada para la distribución del agua

⁸⁴ Aunque no son considerados demanda efectiva de ART, se incluyó en los datos de dotación a los sitios y áreas por debajo del mínimo, ya que estos sitios representan una demanda potencial de ART.

⁸⁵ Caudal o gasto, es un término que se emplea en Ingeniería Hidráulica para referirse al paso de un volumen de agua medido en m³ o litros (m³ o l) en una unidad de tiempo (donde generalmente se emplean los segundos) a través de un canal y/o tubería. Las unidades más empleadas son m³/s o l/s.

Tabla 20 Estimación de dotación de ART Uso en Espacio Público e Industrial

	Uso	Conteo	Dotación por m ²	Área (Ha)	Caudal demandado (l/s)
Demanda Efectiva de ART	Áreas libres	345	5 mm	646	374
	Industria	147	0.7 mm	363	29
Demanda de ART	Áreas libres	576	3 mm	310	108
	Industria	105	0.5 mm	67	4

Fuente: Elaboración propia

El caudal total demandado para reuso en la zona de estudio es de 515 l/s. Con este caudal se atenderían 1173 sitios demandantes de ART. La demanda efectiva de ART representa el 78% del caudal total.

La demanda efectiva de ART para la zona de estudio es de 403 l/s, con este caudal se dotaría de ART a 492 sitios. Como parámetro general, al menos el 90% del ART (un caudal de 374 l/s) deberá cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997, antes de ser distribuida.

Con respecto a la calidad del ART para usos industriales, México carece de una normatividad con respecto a la distribución industrial, Para efectos de esta investigación se tratara el tema de calidad del ART para usos industriales aparte.⁸⁶

⁸⁶ El autor considera que la NOM-003-SEMARNAT-1997, reglamenta de cierto grado la calidad necesaria para estos usos, ya que establece parámetros muy próximos a la calidad del agua potable, sin embargo, será necesario investigar en profundidad cuales son las demandas específicas del ART para promover su reusó industrial

c. Distribución de ART actual

Los datos con respecto de la distribución actual de ART en las delegaciones son escasos, sin embargo se dispuso de los Planes de acciones Hidráulicas de la Delegación Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco y en estos documentos se especifican el destino del ART.⁸⁷

En los informes de las delegaciones Tláhuac y Xochimilco se carece de los datos debido a que los informes no especifican los caudales o volúmenes de ART que se distribuyen, la delegación Iztapalapa es la única que especifica los destinos con datos de volumen y caudal, a continuación se presentan los volúmenes de agua que se distribuye.

Tabla 21 Resumen de abasto de ART por tipo de uso, DF. (2000)

Tipo	Destino	Conteo	Área (m ²)	Dotación por día ART (m ³ /d)	Caudal distribuido (l/s)
Ambiental	Mantenimiento de canales (Xochimilco)	1	-	86400	1000
	Riego de áreas agrícolas (Tláhuac y Xochimilco)	1	-	51840	600
Equipamiento Urbano	Riego de áreas de ajardinadas y de ocio	5	5631	4752	55
Espacios y Áreas Libres	Riego de camellones	23	2429	22	0.25
	Riego de parques	6	1032	1125	13
Industrial	Uso en procesos industriales	1	66381	63	0.73
Total		37	75473	144202	1668.98

Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a "Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005" – Delegación Iztapalapa, DGCOH, México, (2000)

En la delegación Iztapalapa, se identificaron un total de 37 puntos que reciben ART, 35 de ellos se encuentran dentro de delegación y están compuesto principales por camellones, parques y equipamiento. Los 2 puntos restantes se encuentran fuera de delegación Iztapalapa y se distribuye

⁸⁷ V. "Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005" – Delegación Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco, DGCOH, México, (2000)

para el mantenimiento de los canales de Xochimilco y el riego de áreas agrícolas en Tláhuac. A pesar de la composición mixta de las diferentes descargas de ART, el volumen mayor de ART está dirigido a otras delegaciones (95%) y el restante se distribuye mediante la red de ART (en su minoría) y por medio de carros tanque (pipa).

La PTAR Cerro de la Estrella es el principal distribuidor de agua tratada en la delegación Iztapalapa, el ART se distribuye principalmente por medio de Carros Tanque (27 sitios) y por la red de ART (10 sitios), A pesar de esto, el mayor volumen de ART se distribuye por la red a sitios fuera de la delegación⁸⁸

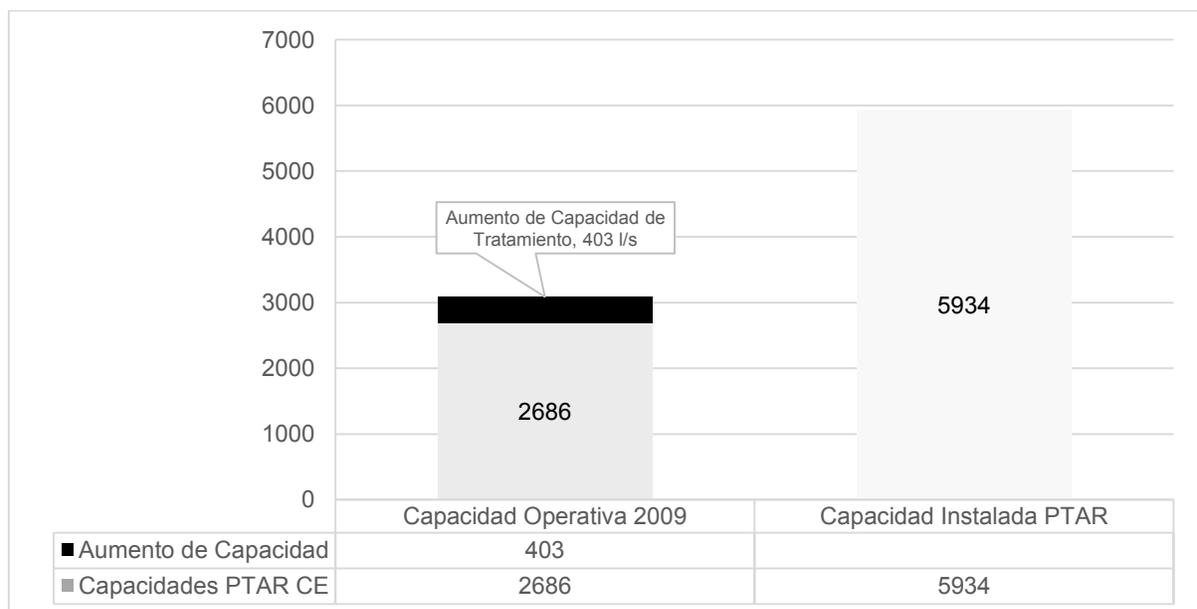
⁸⁸ V. "Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005" – Delegación Iztapalapa, DGCOH, México, (2000)

d. Balance Oferta-Demanda de ART

Como se estableció en el capítulo anterior, la demanda de ART total es de un caudal de 515 l/s y la demanda efectiva de ART es de 403 l/s.

Al compararse con la información de la capacidad operativa al 2009 de la Infraestructura de Saneamiento urbano, se identificó que será necesario aumentar el caudal tratado un 15% más para cubrir la demanda efectiva de ART, con este aumento se emplearía un 60% de la capacidad instalada en las PTAR en la zona de estudio.

Ilustración 21 Balance de demanda de ART en SO-DF 2009



Fuente: Elaboración Propia con datos de "Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005" – Delegación Iztapalapa, DGCOH, México, (2000)

5. Alternativas para la implementación de sistema reuso de aguas urbanas en el suroriente del Distrito Federal

Para la construcción de alternativas, se requiere diagnosticar y analizar las características de la demanda efectiva de ART. Se generaron regiones o polígonos de demanda de ART dadas la localización espacial de la demanda efectiva de ART y el contexto urbano en el que se encuentran.

Para esto se empleó información complementaria como la ubicación espacial de colectores, vasos de regulación, usos agrícolas en las zonas urbanas y distribución espacial de la oferta y demanda de ART.

A estos polígonos se les llamo Polígonos de Demanda de ART (PD-ART), los cuales se nombraron y numeraron, la información de estos polígonos se complementó con fichas resumen de las características de demanda en los usos, A continuación se presentan el plano llave de localización de sectores y las fichas de PD-ART y las fichas correspondientes.

11. PLANO DE POLIGONOS DE DEMANDA DE ART

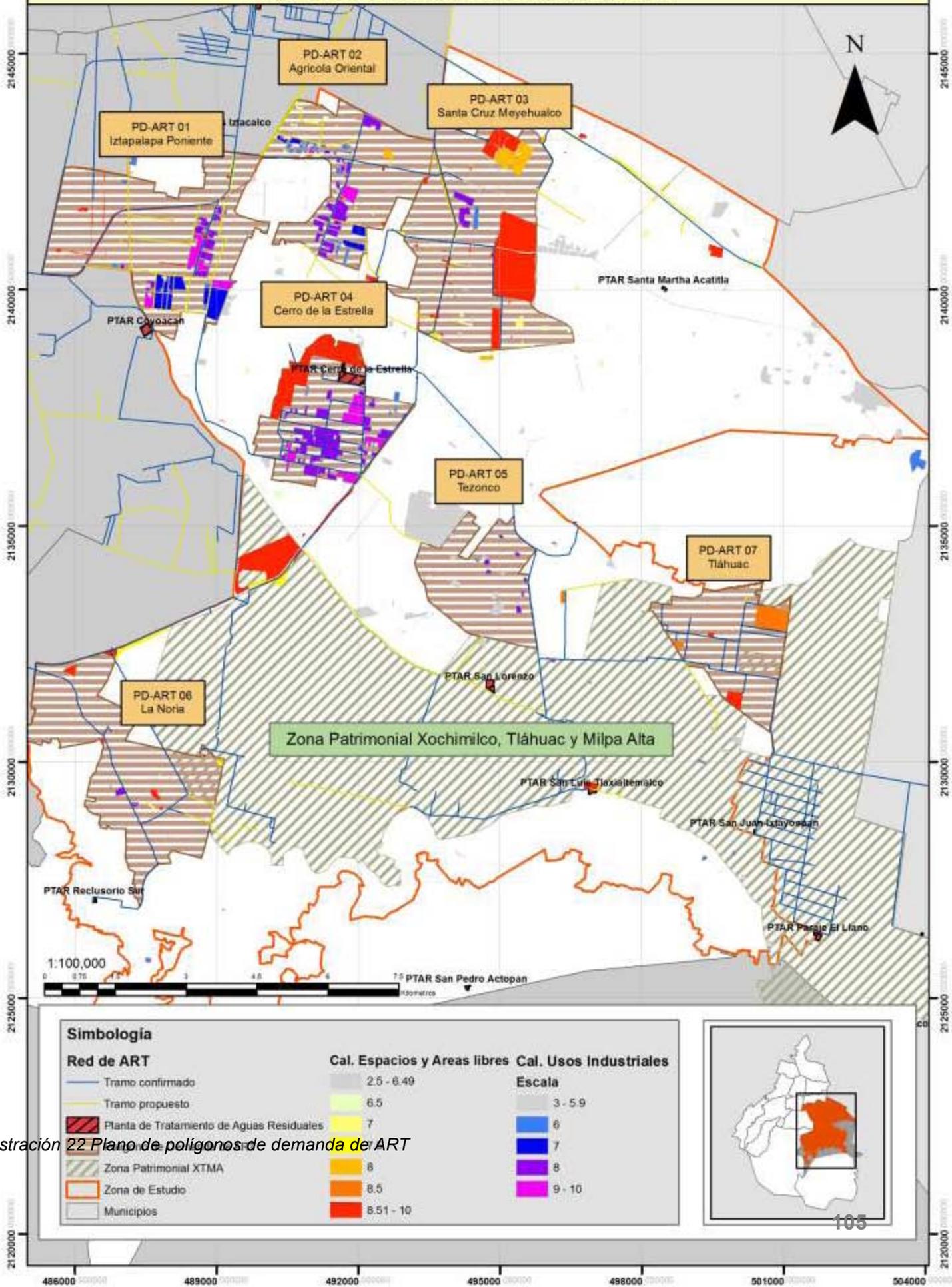


Ilustración 22 Plano de poligonos de demanda de ART

POLÍGONO DE DEMANDA DE IZTAPALAPA PONIENTE (PD-ART 01)

DEMANDA DE ART	Demanda para procesos industriales y riego de camellones	Demanda total de ART: 30.3 l/s Demanda efectiva ART: 29.1 l/s (96 %)
INFRAESTRUCTURA DE REUSO	PTAR U.H. Picos Iztacalco y PTAR Coyoacán Red de distribución: 16.17 Km	Capacidad Instalada: 1263 l/s Caudal tratado 2009: 410 l/s (32 %)
CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El potencial empleo del ART sería para mantenimiento de equipo y limpieza • Se encuentra red de distribución próxima a los lotes • Los lotes se encuentran próximos entre si y alineados con respecto a la red de distribución • Los lotes son de tamaño considerable los que los hace candidatos para implementar el reuso en sus procesos <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de estos usos se encuentran por encima de la red de distribución de ART • La mayoría de estos usos no tiene mobiliario urbano, ya que son camellones entre las circulaciones • En esta zona los camellones poseen una cobertura vegetal completa que incluye árboles, arbustos y pastos en condiciones regulares • A pesar de ser camellones, se emplean como paseos, y parques improvisados 	
PROPUESTAS PARA PROMOCIÓN DEL REUSO DEL AGUA	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Es importante considerar que el reuso del agua de esta zona se enfoca a usos industriales principalmente 2. Aumentar el caudal tratado para distribuir por la red existente es una alternativa para el abasto a la demanda 3. En el corto plazo también será necesario extender la red de ART, para que correspondan con los usos industriales y su distribución espacial 4. Será necesario evaluar mediante una encuesta o reunion, el deseo de las empresas e industrias para el empleo de ART 5. Para promover el reuso en esta zona se tendrá que adoptar un enfoque de viabilidad financiera del proyecto mediante el pago del servicio <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para atender la demanda de riego de los camellones, lo mejor será emplear la red actual y evitar el empleo de carros tanque 2. Para atender los camellones de colonias que tienen parques será necesario extender la red de distribución. 	

12. PLANO DE POLIGONOS DE DEMANDA DE ART

PD-ART 01
Iztapalapa



PTAR U.H. Picos Iztacalco

PTAR Popocatepec



Simbología

Red de ART

- Tramo confirmado
- Tramo propuesto
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- Polígono de Demanda de ART
- Lagunas regulación
- Zona de Estudio
- Polígono de Demanda de ART
- Municipios

Cal. Espacios y Areas libres

- 2.5 - 6.49
- 6.5
- 7
- 7.5
- 8.5
- 8.51 - 10

Cal. Usos Industriales

- 3 - 5.9
- 6
- 7
- 8

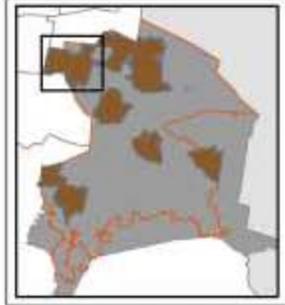


Ilustración 23 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 01)

POLÍGONO DE AGRÍCOLA ORIENTAL (PD-ART 02)
DEMANDA

<i>DEMANDA DE ART</i>	Demanda para procesos industriales y riego de parques	Demanda total de ART: 25.8 l/s Demanda efectiva ART: 26.4 l/s (97 %)
<i>INFRAESTRUCTURA DE REUSO</i>	Red de distribución: 7.8 Km	
<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El potencial empleo del ART sería para mantenimiento de equipo y limpieza • En este polígono los lotes industriales se encuentran cercanos a la red de distribución • Los lotes se rodean el predio de la central de abastos, pero conforma en su conjunto un área industrial y de bodegas • Los lotes tienen las dimensiones para adecuarse a la introducción del ART <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los espacios abiertos son escasos y se encuentran relativamente cerca de la red • Los espacios abiertos están divididos entre los que poseen mobiliario urbano para ejercicio y canchas deportivas; y los que no poseen ningún tipo de mobiliario • Los espacios abiertos poseen una cobertura vegetal aceptables para parques plazas y deportivos • La composición general de los espacios es entre camellones y parques urbanos o en el interior de las colonias 	
<i>PROPUESTAS PARA PROMOCIÓN DEL REUSO DEL AGUA</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para que este polígono se abastezca con agua tratada será necesario ampliar la red de distribución en la zona norte del polígono según los proyectos del trazo de red existentes 2. Será necesario evaluar la viabilidad del proyecto reuniones con las empresas, antes de realizar las obras pertinentes para la distribución de ART 3. Para promover el reuso en esta zona se tendrá que adoptar un enfoque de viabilidad financiera del proyecto por el pago del servicio o beneficios en el pago de impuestos <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para atender la demanda de riego de los parques que no está próximos a la red se recomienda dos alternativas, construcción de red de distribución de ART o construcción de garzas para el llenado de carros tanque en zonas próximas a estos espacios 2. Para abordar el problema de riego de estos espacios es necesario adoptar un enfoque de utilidad pública priorizando los espacios más reconocidos y valorados por la población 	

13. PLANO DE POLIGONOS DE DEMANDA DE ART

PD-ART 02
Agrícola Oriental



1:20,000



Simbología

Red de ART

- Tramo confirmado
- Tramo propuesto
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- Polígono de Demanda de ART
- Lagunas regulación
- Zona de Estudio
- Polígono de Demanda de ART
- Municipios

Cal. Espacios y Areas libres

- 2.5 - 6.49
- 6.5
- 7
- 7.5
- 8.5
- 8.51 - 10

Cal. Usos Industriales

- 3 - 5.9
- 6
- 7
- 8

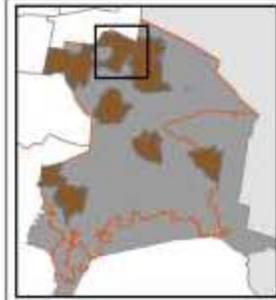


Ilustración 24 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 02)

POLÍGONO DE SANTA CRUZ MEYEHUALCO (PD-ART 03)
DEMANDA

<i>DEMANDA DE ART</i>	Demanda para riego de parques y distribución industrial	Demanda total de ART: 156.1 l/s Demanda efectiva ART: 152.0 l/s (96 %)
<i>INFRAESTRUCTURA DE REUSO</i>	Red de distribución: 15.1 Km	
<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El potencial empleo del ART sería para mantenimiento de equipo y limpieza • En este polígono los lotes industriales se encuentran cercanos a la red pero no son numerosos • Los lotes usos industriales se encuentran muy próximos a la infraestructura • Los lotes tienen dimensiones suficientes para la introducción de ART 	
	<p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Este polígono se caracteriza por la presencia de parques y jardines de importantes dimensiones y valor patrimonial en la delegación Iztapalapa • Los espacios abiertos se encuentran muy próximo a la red de distribución y la red alcanza a dar cobertura a la mayoría • En este polígono las canchas deportivas y el mobiliario urbano indican un aprovechamiento de los espacios, los camellones son los únicos elementos que no poseen mobiliario. Se presenta el fenómeno del aprovechamiento de camellones de dimensiones generosas como parques urbanos • Los espacios abiertos de este polígono no poseen una cobertura vegetal tan generosa, la mayoría de estos se limita a pasto con árboles en su periferia • La mayoría de los espacios identificados en este polígono son parques de colonia y unidades deportivas de carácter local 	
<i>PROPUESTAS PARA PROMOCIÓN DEL REUSO DEL AGUA</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. En este polígono la demanda industrial de ART es mínima y parece suficiente la infraestructura para su distribución 	
	<p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para atender la demanda de ART se la extensión de la red de ART hacia los parques o la construcción de más garzas y tomas de ART locales para su transporte provisional por carro tanque 2. Para aumentar el caudal disponible para el riego de este polígono y los vecinos se recomienda la proyección de 2 PTAR en los vasos reguladores que se encuentra en el polígono. Ya que reciben aguas residuales de los colectores de drenaje principales. 3. En este caso específico, será necesario evaluar la dotación de ART que se viene haciendo a los espacios, para establecer una estrategia de riego a los deportivos y parques de esta delegación 	

14. PLANO DE POLIGONOS DE DEMANDA DE ART

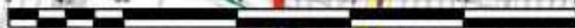
PD-ART 03
Santa Cruz Meyehualco



2140000

2140000

1:25,000



Simbología

Red de ART

- Tramo confirmado
- Tramo propuesto
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- Polígono de Demanda de ART
- Lagunas regulación
- Zona de Estudio
- Polígono de Demanda de ART
- Municipios

Cal. Espacios y Areas libres Cal. Usos Industriales

- | | |
|------------|---------|
| 2.5 - 6.49 | 3 - 5.9 |
| 6.5 | 6 |
| 7 | 7 |
| 7.5 | 8 |
| 8.5 | |
| 8.51 - 10 | |

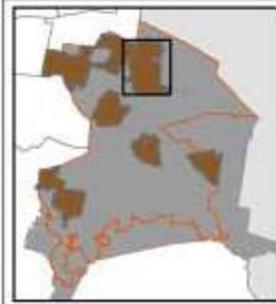


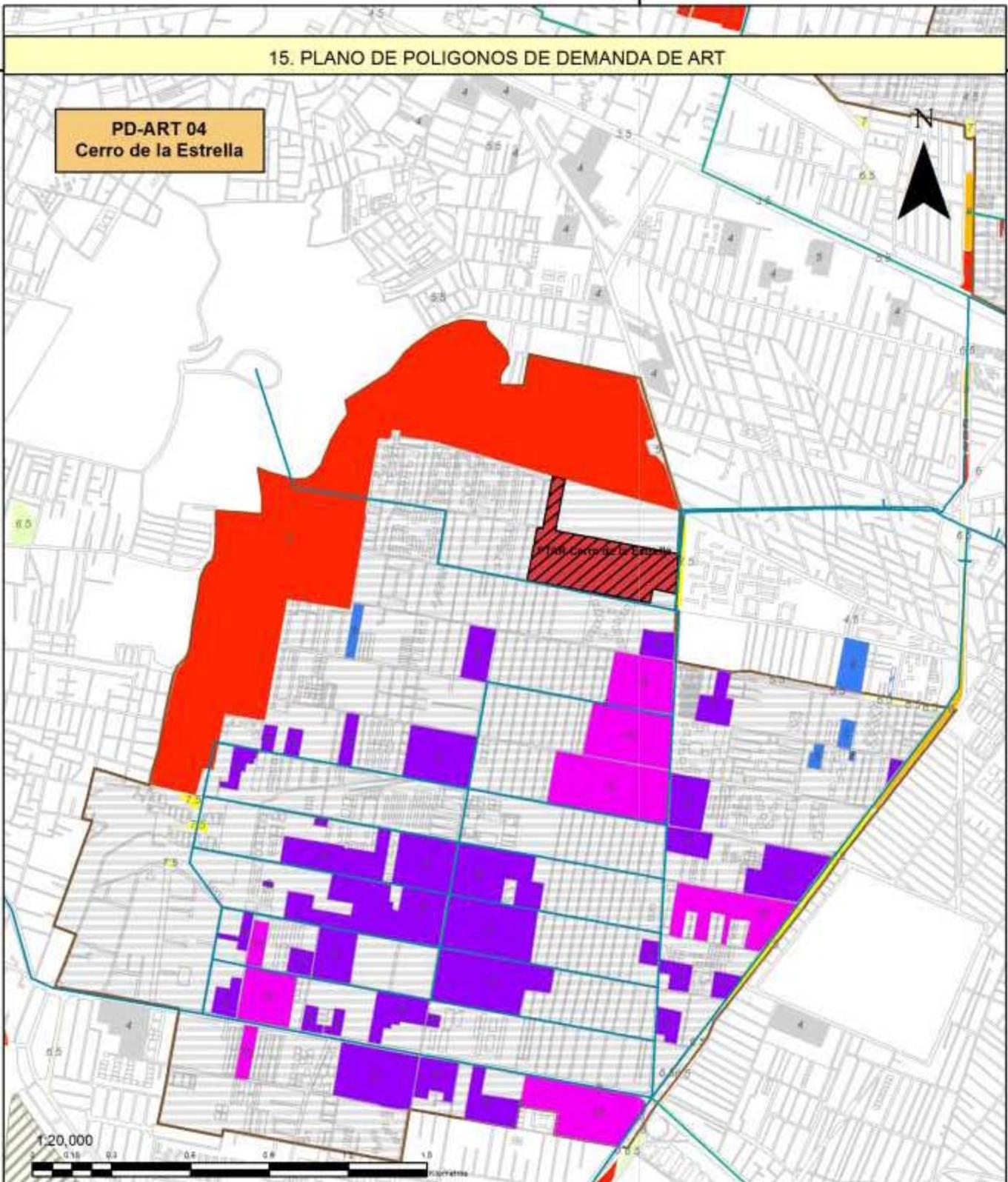
Ilustración 25 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 03

POLÍGONO DE CERRO DE LA ESTRELLA (PD-ART 04)
DEMANDA

<i>DEMANDA DE ART</i>	Demanda para procesos industriales y riego de camellones-parque	Demanda total de ART: 68.8 l/s Demanda efectiva ART: 68.2 l/s (99 %)
<i>INFRAESTRUCTURA DE REUSO</i>	PTAR Cerro de la Estrella Red de distribución: 21.8 Km	Capacidad Instalada: 4000 l/s Caudal tratado 2009: 2000 l/s (50 %)
<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El potencial empleo del ART a nivel industrial seria en procesos productivos y limpieza de equipo y maquinaria • En este polígono los lotes industriales se concentran y se alinean con respecto a la red de distribución lo que genera un espacio de la ciudad excepcional para promover el reuso industrial de ART • La concentración de estos usos ha generado en esa colonia una aglomeración conformando un sector industrial al sur del Cerro de la Estrella • Los lotes industriales tienen en lo general las dimensiones suficientes para para la introducción de ART <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • En este polígono los camellones se emplean como canchas deportivas y parques urbanos. • La cobertura vegetal de estos espacios varia de una cobertura vegetal mínima a cobertura con árboles pastos y arbustos • La mayoría de los espacios abiertos son considerados camellones 	
<i>PROPUESTAS PARA PROMOCIÓN DEL REUSO DEL AGUA</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se recomienda evaluar las necesidades específicas de ART en la zona basándose en la encuesta y reuniones con las empresas. 2. Se recomienda promover el reuso del agua mediante la distribución de ART en bloque, por medio de contratos de abastecimiento 3. Sera necesario realizar un diagnóstico de la red para ubicar fugas y fallas en esta <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para atender el riego de los camellones se recomienda el empleo de la red de distribución que se encuentra 2. El polígono representa una oportunidad para el reuso del agua en camellones-parque útiles en la delegación Iztapalapa 3. Se recomienda evaluar la distribución de ART a los espacios que ya reciben ART 	

15. PLANO DE POLIGONOS DE DEMANDA DE ART

PD-ART 04
Cerro de la Estrella



Simbología

Red de ART

- Tramo confirmado
- Tramo propuesto
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- Polígono de Demanda de ART
- Lagunas regulación
- Zona de Estudio
- Polígono de Demanda de ART
- Municipios

Cal. Espacios y Areas libres

- 2.5 - 6.49
- 6.5
- 7
- 7.5
- 8.5
- 8.51 - 10

Cal. Usos Industriales

- 3 - 5.9
- 6
- 7
- 8

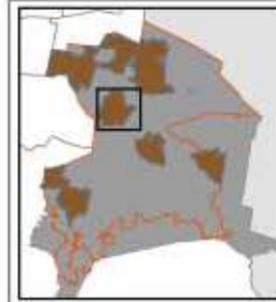


Ilustración 26 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 04)

POLÍGONO DE LA NORIA – XOCHIMILCO (PD-ART 05)
DEMANDA

<i>DEMANDA DE ART</i>	Demanda para riego de parques e industrias pequeñas	Demanda total de ART: 9.3 l/s Demanda efectiva ART: 8.4 l/s (90 %)
<i>INFRAESTRUCTURA DE REUSO</i>	Red de distribución: 19.4 Km	
<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso del ART sera para la producción industrial y la limpieza del equipo • En este polígono los lotes industriales se encuentran dispersos a lo largo de la red de distribución pero próxima a esta • Los lotes tienen las dimensiones suficientes para la introducción de ART <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de los espacios poseen mobiliario urbano pero su mayoría se trata de camellones adecuados para ser paseos y vías arboladas • Los camellones se emplean como canchas deportivas y parques urbanos. • La cobertura vegetal de estos espacios varia de una cobertura vegetal mínima a cobertura con árboles pastos y arbustos • La mayoría de los espacios abiertos son camellones 	
<i>PROPUESTAS PARA PROMOCIÓN DEL REUSO DEL AGUA</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para la atención de estos usos industriales se recomienda la extensión de los tramos de la red de distribución <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para la atención a los espacios abiertos se recomienda el riego por la red de distribución 	

16. PLANO DE POLIGONOS DE DEMANDA DE ART

PD-ART 05
La Noria - Xochimilco



2130000

2130000

1:25,000



Simbología

Red de ART

- Tramo confirmado
- Tramo propuesto
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- Polígono de Demanda de ART
- Lagunas regulación
- Zona de Estudio
- Polígono de Demanda de ART
- Municipios

Cal. Espacios y Areas libres Cal. Usos Industriales

- | | |
|------------|---------|
| 2.9 - 6.49 | 3 - 5.9 |
| 6.5 | 6 |
| 7 | 7 |
| 7.5 | 8 |
| 8.5 | |
| 8.51 - 10 | |

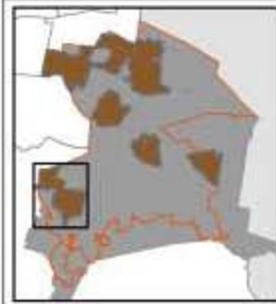


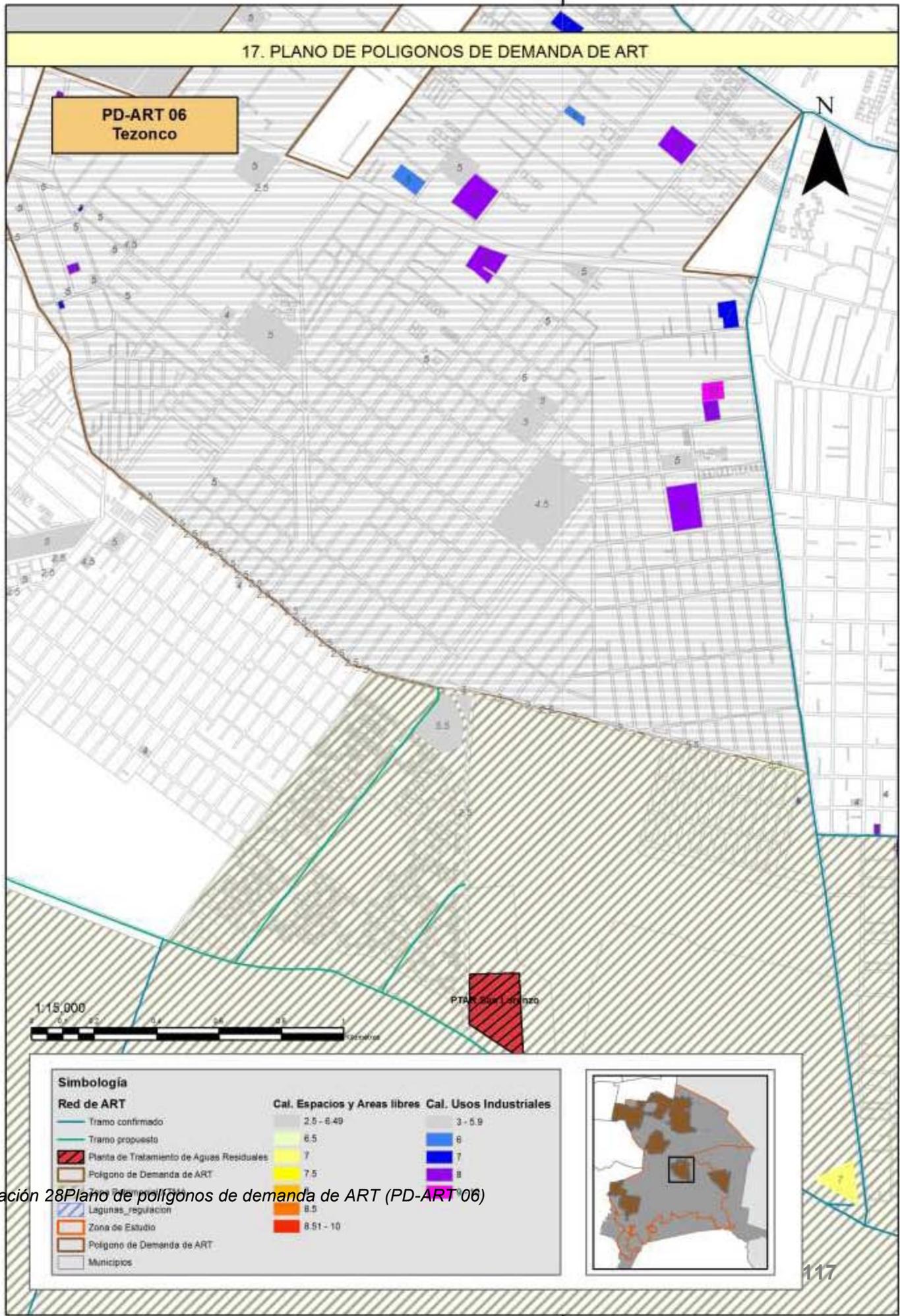
Ilustración 27 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 05)

POLÍGONO DE TEZONCO (PD-ART 06)
DEMANDA

<i>DEMANDA DE ART</i>	Demanda para procesos industriales	Demanda total de ART: 4.7 l/s Demanda efectiva ART: 0.6 l/s (13 %)
<i>INFRAESTRUCTURA DE REUSO</i>	PTAR San Lorenzo Red de distribución: 3.5 Km	Capacidad Instalada: 225 l/s Caudal tratado 2009: 80 l/s (35 %)
<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El potencial empleo del ART a nivel industrial sería en procesos productivos y limpieza de equipo y maquinaria • A pesar del potencial que se tiene para en los lotes, esta zona no posee red de distribución para el abasto • La Los lotes tienen las dimensiones suficientes para la introducción de ART en sus operaciones <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La red de distribución de ART está lejana de estos usos • Los espacios no poseen mobiliario urbano y los que tienen son escasos • La cobertura vegetal de estos espacios es mínima y se limita a pasto, concreto y tierra suelta con arenas • La mayoría de los espacios son camellones 	
<i>PROPUESTAS PARA PROMOCIÓN DEL REUSO DEL AGUA</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se recomienda alternativas de distribución a estos usos ya sea por red de distribución o carro tanque 2. Es necesario evaluar el potencial de la PTAR San Lorenzo para distribuir ART a esta zona y sus usos <p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Es necesario evaluar el proyecto de introducción de red de distribución de ART procurando el abasto de los pocos parques que existen en la zona 	

17. PLANO DE POLIGONOS DE DEMANDA DE ART

**PD-ART 06
Tezonco**



Simbología	
Red de ART	
	Tramo confirmado
	Tramo propuesto
	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
	Poligono de Demanda de ART
	Lagunas regulacion
	Zona de Estudio
	Poligono de Demanda de ART
	Municipios

Cal. Espacios y Areas libres	Cal. Usos Industriales
2.5 - 6.49	3 - 5.9
6.5	6
7	7
7.5	8
8.5	
8.51 - 10	

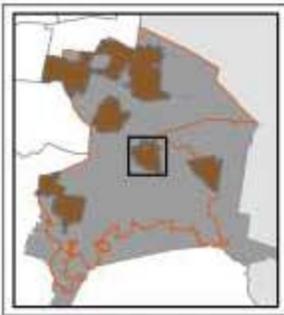


Ilustración 28 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 06)

POLÍGONO DE TLÁHUAC (PD-ART 07)
DEMANDA

<i>DEMANDA DE ART</i>	Demanda para riego de camellones e industrias	Demanda total de ART: 29.5 l/s Demanda efectiva ART: 28.2 l/s (95 %)
<i>INFRAESTRUCTURA DE REUSO</i>	Red de distribución: 15.0 Km	
<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS</i>	<p>USO INDUSTRIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los usos industriales no están próximos a la red de distribución • El ART se emplearía para la limpieza de equipo y maquinaria • Los usos no están próximos entre sí y no conforman grupos ni aglomeraciones • Los lotes poseen las dimensiones suficientes para la introducción de ART en sus operaciones 	
	<p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La red de distribución de ART corresponde con los camellones de delegación • Los espacios no poseen mobiliario urbano ya que son principalmente camellones • La cobertura vegetal de estos espacios es mínima en camellones pero generosa en parque y deportivos • La mayoría de los espacios son camellones para la ordenación vial 	
<i>PROPUESTAS PARA PROMOCIÓN DEL REUSO DEL AGUA</i>	<p>USO ESPACIOS ABIERTOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para este polígono será necesario evaluar de manera específica el estado de los espacios abiertos ya que estos ya reciben ART 2. Esta polígono puede ser un proyecto piloto para la promoción de las ventajas que se presentan en el reuso del agua 	

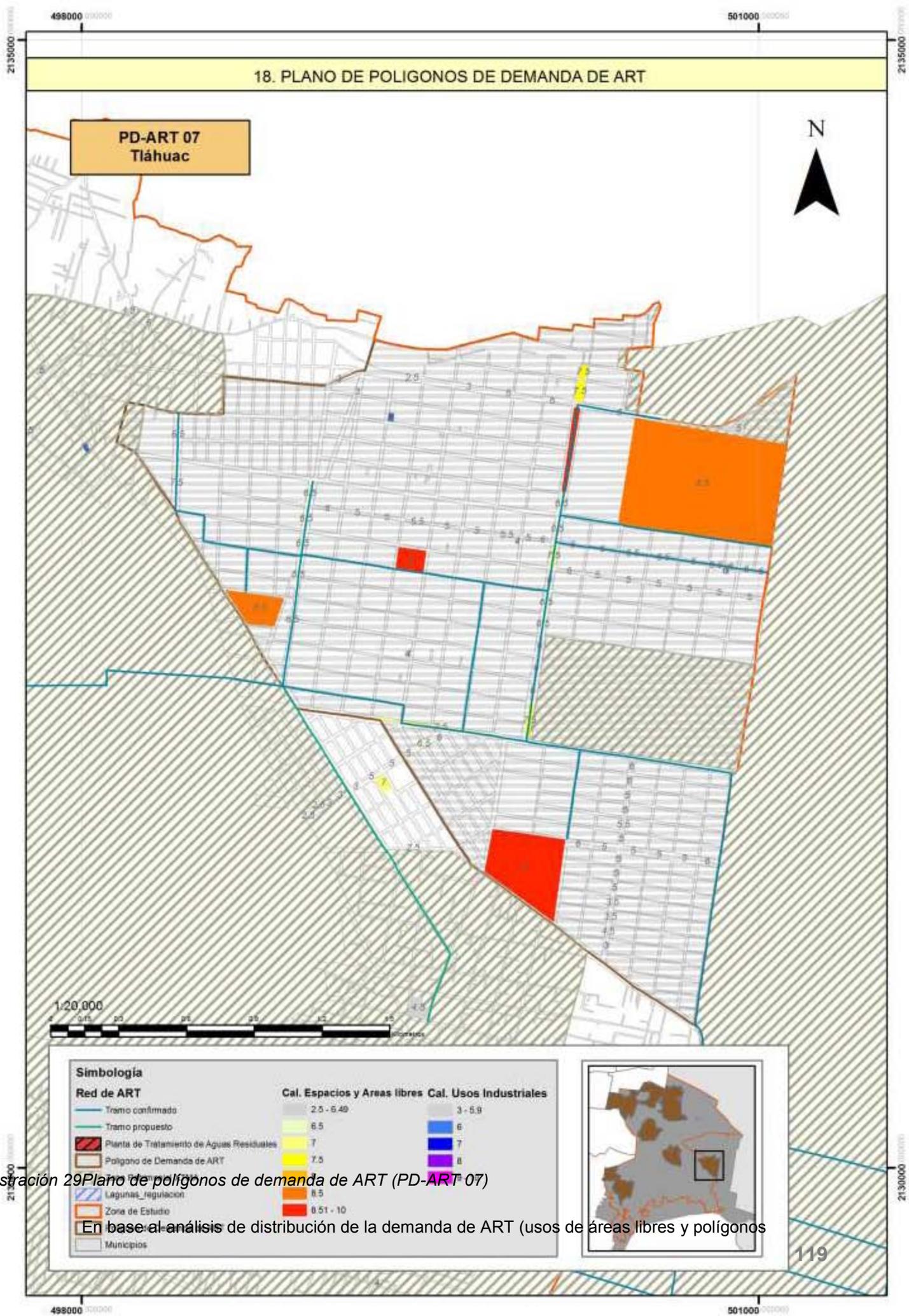


Ilustración 29 Plano de polígonos de demanda de ART (PD-ART 07)

En base al análisis de distribución de la demanda de ART (usos de áreas libres y polígonos

6. Propuesta para la implementación de un sistema reuso aguas urbanas en el suroriente del Distrito Federal

Para dotar de ART a lo PD-ART se plantean dos propuestas, la primera consiste en plantear la construcción de 6 nuevas PTAR, en la zona de estudio, empleando los vasos de regulación. La segunda consistirá en la extensión de la red de ART, complementando los tramos de red propuestos por la DGCOH en 1985.⁸⁹

La propuesta de nuevas PTAR tienen como fin primero, aumentar el caudal tratado de aguas residuales mediante el tratamiento en los lugares de descarga de ART intraurbanos y en segundo lugar, poner en disponibilidad infraestructura de saneamiento local, evitando la dependencia de infraestructuras de gran tamaño. También las PTAR Cerro de la Estrella, Coyoacán, Picos Iztacalco y San Lorenzo tendrán que aumentar su caudal tratado para abastecer mejor la demanda identificada.

A continuación se enuncian las PTAR indicando capacidad instalada propuesta para las plantas y el caudal demandado aproximado por polígonos de demanda

Tabla 22 Tabla de PTAR propuestas

<i>Planta Propuesta</i>	<i>Cap. Instalada (l/s)</i>	<i>Zona de Demanda</i>	<i>Caudal Demandado aproximado (l/s)</i>
PTAR Quetzalcóatl	50	PD-ART 03	160 (30%)
PTAR Casa Blanca	100	PD-ART 04	70
PTAR Ermita Iztapalapa	150	PD-ART 03 PD-ART 08	320
PTAR Cristo	400	PD-ART 01 PD-ART 02 PD-ART 03	370

⁸⁹ Es importante aclarar que existen tramos propuestos por DGCOH, que no tienen una correspondencia con las demandas identificadas, estos tramos no se incluirán en la propuesta para cada zona.

		PD-ART 08	
PTAR El Salado	100	PD-ART 08	160
PTAR Cabeza de Juárez	150	PD-ART 02 PD-ART 03 PD-ART 08	340

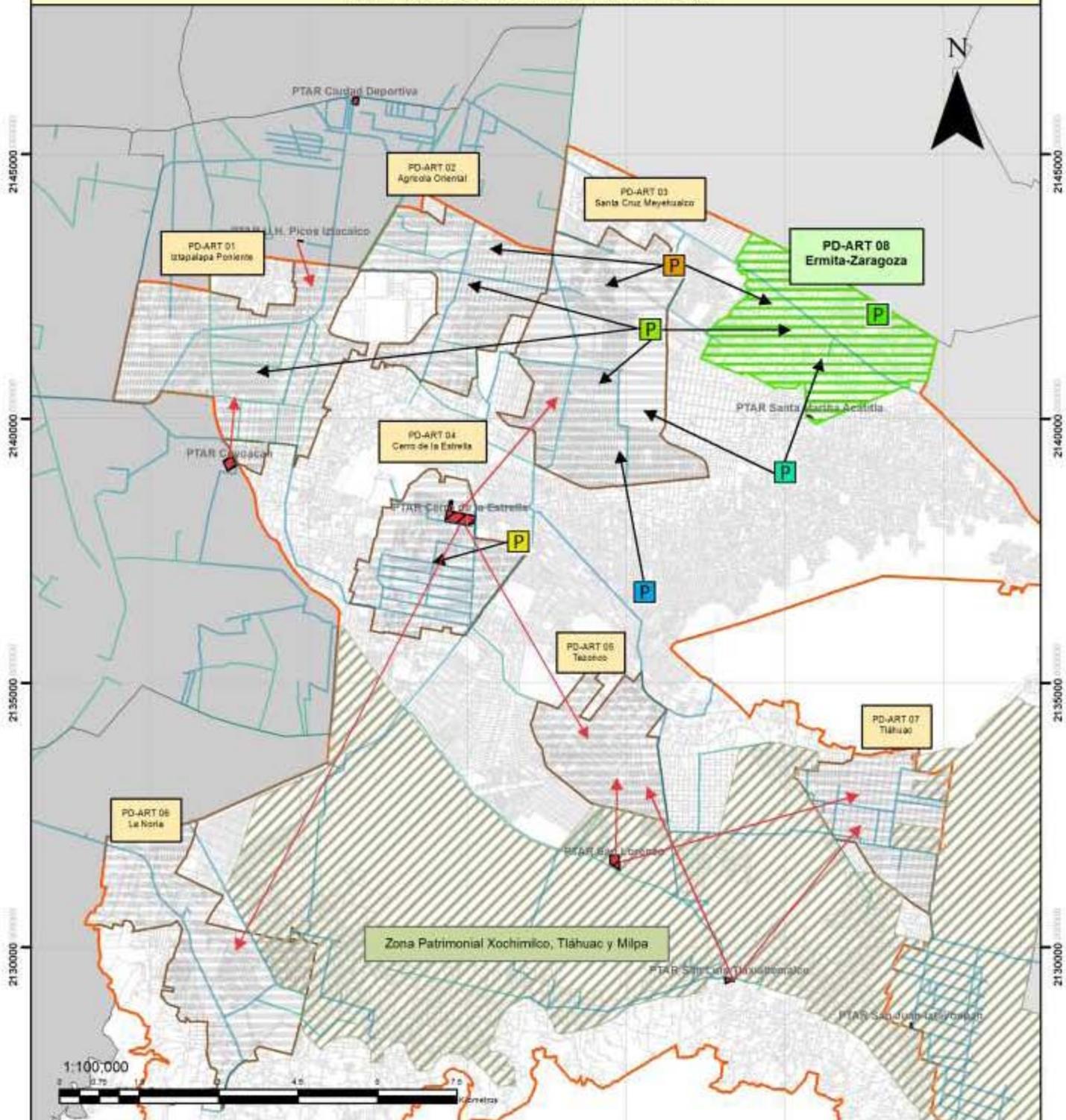
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Propuesta de Caudales de Tratamiento por PTAR (2015)

<i>PTAR</i>	<i>Cap. Instalada (l/s)</i>	<i>Caudal en Tratamiento (l/s)</i>	<i>Zona de Demanda</i>	<i>Caudal Demandado aproximado (l/s)</i>	<i>Propuesta de caudales en tratamiento (l/s)</i>
PTAR Cerro de la Estrella	4000	2000	PD-ART 03 PD-ART 04 PD-ART 05 PD-ART 06	240	2250
PTAR Coyoacán	1250	400	PD-ART 01	30	450
PTAR U.H. Picos Iztacalco	13	10	PD-ART 01	20	13
PTAR San Lorenzo	225	80	PD-ART 05 PD-ART 07	30	110
PTAR San Luis Tlaxiátemalco	150	65	PD-ART 05 PD-ART 07	35	100

Fuente: Elaboración propia

19. PTAR Y DISTRIBUCIÓN PROPUESTA



Simbología	
Red de ART	PTAR Propuestas
Tramo propuesto	PTAR Cabeza de Juárez
Tramo confirmado	PTAR Casa Blanca
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	PTAR Cristo
Zona Patrimonial XTMA	PTAR El Salado
Zona de Estudio	PTAR Ermita-Iztapalapa
Polígono de Demanda de ART	PTAR Quetzacoatl
Municipios	
PD-ART Propuesto	



Ilustración 30 PTAR y distribución propuesta

V. CONCLUSIONES

1. Experiencia sobre el reuso del agua a nivel internacional

En esta investigación se logró describir y exponer el estado del reuso del agua a nivel internacional, se debe explorar de manera más específica la experiencia por ciudades en el reuso. A manera de comentarios se concluye lo siguiente:

1. La evolución histórica del saneamiento urbano si ha llevado a la continua implementación de mejoras tecnológicas y de gestión del saneamiento en las ciudades. Las ciudades del mundo han podido adoptar de manera gradual mejoras tecnológicas con un enfoque que cada vez tiende más al cuidado del medio ambiente y a la mitigación de la contaminación del agua, que al simple desalojo y canalización de las aguas.
2. Pero, estas mejoras no se ha traducido en un cambio de enfoque con respecto al reuso urbano del agua en los países en desarrollo. Ya que la gestión del agua tratada se ha insertado en el manejo de los residuos urbanos y no el los insumos.
3. El reuso urbano del agua paradójicamente, se centra en el reuso para producción agrícola periférica a la ciudad, en proyectos de infiltración de agua de reuso (fuera de la ciudad) y en menor medida en riego en mantenimiento y riego de parques y zonas intraurbanas. Y la tendencia mundial aún se centra en la implementación de infraestructura de alto costo para justificar el saneamiento, lejos de la ciudad y sin una utilidad directa a las zonas urbanas
4. Si se quiere promover el reuso del agua en zonas urbanas será necesario superar el enfoque del agua residual y concebir el tratamiento como una fuente complementaria de agua que puede reutilizarse de manera repetida, sin que sea necesario su descarga. Esto desde luego, tendrá que ser acompañado con un enfoque de gestión más integral entorno al agua, a las ciudades y a las cuencas a las que pertenecen

2. Panorama del reuso del agua en México y normatividad aplicada

Con respecto al panorama del reuso urbano del agua en México se obtuvo información valiosa que indicó de manera general que el reuso urbano del agua que es una práctica no explotada del todo. Respecto a este capítulo se concluye lo siguiente:

1. El tratamiento del agua se realiza en mayor medida en las zonas urbanas de México que en las localidades rurales. Sin embargo, no se tratan todas las aguas que se colectan y existen descargas que no se dirigen a la infraestructura de saneamiento urbano.
2. El destino del agua es un reuso ambiental o de devolución de las aguas ya tratadas. Este destino abarca alrededor del 45%, mientras que el reuso del agua en zonas urbanas solo es de 17%. México es un país que trata el agua para conservar el medio ambiente dejando en segundo plano el reuso del agua a nivel urbano.
3. El marco normativo mexicano para el reuso del agua, no se encuentra explícito en la ley, en México se regulan las condiciones de descarga de agua a bienes nacionales, sin embargo, no se reglamenta ni se instrumentan explícitamente los programas de reuso del agua. Lo cual deja al reuso a nivel normativo como una actividad que corresponde al saneamiento urbano y no como dotación del agua.
4. Por otro lado, aunque la política del agua está cambiando hacia un enfoque más sostenible, el reuso urbano no se encuentra explícitamente reconocido como una estrategia a seguir, se promueve el reuso agrícola para mejorar las condiciones del campo y la producción de alimentos, pero se hace latente la necesidad de promover el reuso urbano como una alternativa en el futuro próximo, para mitigar la contaminación de los cuerpos del agua de otras regiones dependientes de ríos y cauces que son contaminados con las aguas residuales de las ciudades.

Con esto reconocido, la metodología buscó indagar en un reuso del agua más flexible para zonas. Con esto en mente se concluyó con respecto a la metodología que:

1. Los pasos que se plantearon son pocos, pero contienen un enfoque que antepone el análisis del contexto urbano como herramienta para promover el reuso del agua. Estos pasos son pocos y tendrán que ser aumentados y complementados.

2. El análisis urbano para la introducción de infraestructura debe ser tomado con la seriedad, ya que si se emplea este análisis urbano permitirá la introducción de infraestructura más eficiente y correspondiente a las necesidades de la ciudad.
3. Para la actualización de información es importante la cooperación entre analistas del contexto urbano y quienes la operan, solo de forma se lograra mejores datos y estrategias de atención para identificar las necesidades urbanas de agua de reuso y las capacidades para su distribución
4. Tanto las alternativas como resultados deben siempre estar siempre basadas en realidades medidas y no expectativas. De esta forma se podrá tener un ajuste real de la infraestructura y evitar ineficacias y sobredimensionamiento de la infraestructura

3. Experiencia obtenida del caso de estudio

La experiencia adquirida en la aplicación no se basó en un simple ejercicio académico, sino que este se realizó en un contexto profesional que permitió concluir lo siguiente:

1. La aplicación de una metodología es un caso de estudio que requiere tanta información como base, es un proceso complicado, que a menudo debe flexibilizarse. En especial, con la información disponible, donde a menudo las fuentes de información son atemporales, carecen de referencias o son contradictorias entre sí.
2. Es importante que el caso de esta metodología, se aproveche los tiempos de trabajo y se busque realizar a toda costa las vistas a la infraestructura, ya que esta información es valiosa y contextualiza el reuso del agua. Es importante estar atento a las oportunidades para reunirse con el personal que opera a estas infraestructuras.
3. Analizar con detalle la información sobre los espacios públicos y recurrir a fuentes oficiales para su ubicación es una forma adecuada de iniciar una investigación de este tipo. A menudo se recurre a bases cartográficas no oficiales y esto puede comprometer la calidad del análisis para la distribución de ART. El empleo de información de calidad permitió tanto la homogenización de los datos como un análisis más fino de las variables observadas para los diferentes usos.
4. El análisis oferta demanda que es la base de la aplicación de esta metodología resultó como un medio útil y valioso para el dimensionamiento y planificación del destino del RAT en ciudades. Se recomienda que aunque no se emplee esta metodología, se adopte un enfoque de oferta-demanda para promover el reuso del agua en las ciudades de México.
5. La construcción de alternativas es un paso que se consideró al inicio como poco relevante, sin embargo, demostró su valía al ser un paso que complementario de los resultados y estableció un contexto para el planteamiento de las soluciones. Es necesario que para otros ejercicios se valore de igual forma este paso.
6. Para promover el reuso del agua, es necesario que su infraestructura se comience a gestionar como un sistema completo e integrado, a su vez las propuestas para la operación del saneamiento urbano debe concebirse como un sistema, parecido a la dotación del agua y no a la disposición del residuos

VI. ANEXOS

1. Bibliografía

Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México Edición 2010. Ciudad de México: SEMARNAT.

Academia Mexicana de Ciencias. (2010). El Agua en México: Cauces y Encauces. Ciudad de México: CONAGUA.

Alcamo, J. (2003). Ecosystems and Human Well-being. A Framework for Assessment. London: Island Press.

Anderson, & Levy, L. (1980). La tensión psicosocial. Población, Ambiente y Calidad de Vida. Ciudad de México: El Manual Moderno.

Banco Mundial. (2012). Gestión Integral de Aguas Urbanas. Washington: World Bank.

Banco Mundial. (2013). Agua Urbana en el Valle de México ¿Un camino verde para mañana? Ciudad de México: Banco Mundial.

Cámara de Diputados. (2013). Ley de Aguas Nacionales. Ciudad de México, Distrito Federal, México: DOF.

Cockram, M., & Feldman, S. (1996). The Beautiful City: Gardens in the Third world. African Urban Quarterly, 202-208.

Collado, J. (2008). Entorno de la provisión de los servicios públicos de agua potable en México. En R. Olivares, & R. Sandoval, El agua potable en México. Historia reciente, actores, procesos y propuestas (págs. 3-28). Ciudad de México: Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento.

Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Ciudad de México: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua. (2009). Estadísticas del agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII Aguas del Valle de México. Edición 2009. Ciudad de México: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua. (2009). Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Ciudad de México: SEMARNAT.

Comisión Nacional del Agua. (2011). Programa para el Manejo Integral del Agua en la Cuenca del Valle de México. Ciudad de México: SEMARNAT.

Comisión Nacional del Agua. (2013). Estadísticas del Agua en México, Edición 2013. Ciudad de México: CONAGUA.

De la Peña, M., Ducci, J., & Zamora, V. P. (28 de Agosto de 2013). Tratamiento de Aguas Residuales en México. Ciudad de México: BID. Obtenido de Tratamiento de Aguas Residuales en México.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. (2000). Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Delegación Benito Juárez. Ciudad de México: GDF.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. (2000). Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Delegación Coyoacán. Ciudad de México: GDF.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. (2000). Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Delegación Iztacalco. Ciudad de México: GDF.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. (2000). Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Delegación Iztapalapa. Ciudad de México: GDF.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. (2000). Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Delegación Tláhuac. Ciudad de México: GDF.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. (2000). Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005 – Delegación Xochimilco. Ciudad de México: GDF.

Gobierno de la Republica. (2014). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Ciudad de México: SEMARNAT.

Gobierno del Distrito Federal. (2003). Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal 2003. Ciudad de México: GODF.

Gobierno del Distrito Federal. (2007). Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México. Ciudad de México: GDF.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2013). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Ciudad de México: INEGI.

Jiménez T., J. M. (2013). Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Xalapa: UV.

Jiménez, B. (2010). Calidad. En B. Jiménez, M. Terregosa, & L. Aboites A., El Agua en México: Cauces y Encauces (págs. 281-285). Ciudad de México: CONAGUA.

Jiménez, B., & Asano, T. (2008). Water reclamation and reuse around the world. En B. Jiménez, & T. Asano, Water Reuse. An International Survey of current practice, issues and needs (págs. 3-26). Londres: IWA.

Lahera R., V. (2010). Infraestructura Sustentable: Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Quivera, 58 - 69.

Lahera R., V. (2013). Viabilidad hidráulica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Contexto Nacional, Internacional y Local. Estudios Demográficos y Urbanos, 387-409.

Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos HABITAT. (2003). Agua y Saneamiento en las Ciudades del Mundo. Londres: ONU-HABITAT.

Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos HABITAT. (2012). Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Sao Paulo: ONU-HABITAT.

Ramírez G., P., Longar B., M., Gómez V., H., & Maffini G., C. (2013). Política Hídrica y Cambio Tecnológico en Tecnologías Aplicadas al Tratamiento de las Aguas Residuales. Journal of Technology, Management & Innovation, 64 -75.

Riveros O., B. (2013). Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en le Ciudad de México (Tesis Inedita). Ciudad Universitaria: UNAM.

Romero A., H., García O., J., & Janetti D., J. (1 de 8 de 2014). Las vicisitudes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México. Ciudad de México, Distrito Federal, México.

Secretaría de Aguas de la Ciudad de México. (1985). Planos de Infraestructura de Agua Tratada. Ciudad de México: DGCOH.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2000). Programa Parcial de Desarrollo Urbano - Cerro de la Estrella. Ciudad de México: GDF.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Ciudad de México: DOF.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Ciudad de México: DOF.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1998). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Ciudad de México: DOF.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2001. Ciudad de México: DOF.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado Sanitario. Ciudad de México: SEMARNAT.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003. Ciudad de México: DOF.

Secretaría de Salud. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Ciudad de México: DOF.

Stockholm International Water Institute - International Water Management Institute. (2006). Water - more nutrition per drop. Towards sustainable food production and consumption patterns in a rapidly changing World. Stockholm: SIWI - IMWI.

United States Environmental Protection Agency. (2012). Guidelines fo Water Reuse 2012. Washington: US-AID.

2. Recursos digitales

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (26 de Septiembre de 2003). Estrategia de cooperación técnica en saneamiento básico. Washington: Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/milenio/medambcepis.pdf>

Comisión Nacional del Agua. (23 de 06 de 2010). Reusó de aguas tratadas en la industria reduce la sobreexplotación de acuíferos. Recuperado el 9 de 10 de 2014, de Comunicado de Prensa: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/NotaP/BOLETIN%20149-10.pdf>

Consejo Nacional de Población. (15 de 04 de 2015). Sitio del Consejo Nacional de Población. Obtenido de Proyecciones de la Población 2010-2050: <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES). (7 de Julio de 2014). Decenio Internacional para la Acción "El Agua fuente de vida" 2005-2015. Obtenido de Sobre el Decenio: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/background.shtml>

Organización Meteorológica Mundial. (25 de Agosto de 2014). Sitio de la Organización Meteorológica Mundial. Obtenido de Declaración De Dublín Sobre El Agua Y El Desarrollo Sostenible: <https://www.wmo.int/pages/prog/hwarp/documents/espanol/icwedecs.html>

Sistema de Agua de la Ciudad de México. (25 de 04 de 2015). Sitio del Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Obtenido de Transparencia - Artículo 14: <http://www.sacmex.df.gob.mx/sacmex/index.php/articulo-14>

Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (01 de 04 de 2015). Sitio del Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Obtenido de Transparencia - Artículo 14: <http://www.sacmex.df.gob.mx/sacmex/index.php/articulo-14>

Wagner, I., Dziegielewska-Geitz, M., Cikuret, H., Aharoni, A., Dror-Ehre, A., & Adin, A. (18 de Agosto de 2014). SWITCH: Managing Water for the City of the Future. Cities . Tel Aviv – Israel. Obtenido de Influencing Urban Water Management through learning alliances. A mid-term reflection on process in Tel Aviv: <http://switchurbanwater.lboro.ac.uk/>

3. Glosario

A continuación se hará una revisión rápida de los conceptos básicos que se emplearan a lo largo de la tesis. Se expresan en este protocolo con el fin de ampliar, aportar y esclarecer como estos se entiende por convención general. Estos conceptos básicos se emplearan en el capítulo III de esta tesis.

Agua Residual: Según Ley de Aguas Nacional, establece que son “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas.⁹⁰ Para efectos de esta investigación, se concuerda con la definición establecida en la ley, sin embargo, cuando se refiera a agua residual también se estará empleando los términos de agua servidas, agua sin tratamiento y/o agua cruda.

Agua Residual Tratada (ART): Se le denomina al agua así al agua que es resultante de los procesos de depuración y tratamiento de aguas residuales. En algunos países se le considera como agua recuperada

Depuración o tratamiento de Agua residual: Se le denomina así al conjunto de procesos a los que se somete las aguas residuales provenientes de los usos urbanos, industriales y agrícolas. Para la extracción de contaminantes disueltos en estas aguas

Oferta: Para efectos de esta investigación, se considera Oferta a la existencia o disponibilidad de un bien que es asequible que puede o no ser, adquirido por un consumidor. El concepto se empleara para referirse a las PTAR que se encuentran en condiciones de ofertar ART, a consumidores varios, que en este caso de esta investigación, pueden considerarse a los usos de suelo como consumidores. Se considerara a las PTAR como los únicos ofertantes de ART presentes en este estudio.

Demanda: Consideraremos Demanda al acto de requerir algún bien o mercancía a cambio de una remuneración monetaria o algún otro bien de valor. Este término se empleara para referirse, a los usos que pueden o no ser receptores de ART por sus características físicas. En el caso de esta investigación, se indagara en qué condiciones se encuentra la demanda de ART en la delegación Iztapalapa.

⁹⁰ “Ley de Aguas Nacionales”, Cámara de Diputados, Diario Oficial de la Federación, (2013)

Dotación: Según el Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario es: “La dotación es la cantidad de agua que se la asigna a cada habitante para su consumo, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema, en un día medio anual y sus unidades están dadas en l/h/día.⁹¹ La dotación en este estudio será entendida de la misma forma, solo que en este caso la dotación no está en relación con una persona sino con un uso, y se define no por el consumo al realizar diferentes actividades, sino por sus necesidades intrínsecas de agua. Ejemplo: volumen mínimo de agua para mantener un espacio libre con una cobertura vegetal mínima (pasto, arbustos y árboles) o volumen mínimo de agua necesario para la producción de una pieza de metal o un volumen mínimo de papel en el caso de la producción industrial

Abasto: Se considerara abasto como una actividad donde se satisface la demanda de ART mediante la dotación de un volumen de agua, sea o no suficiente para satisfacer la demanda

Medio de distribución: Este concepto se empleara al referirse a la forma en como se hace la dotación o no del ART, ya sea mediante la red de distribución (tuberías, garzas o tomas) o mediante el riego por pipa

Consumidor: Se considera consumidor al sujeto u objeto que realiza la demanda de un bien o un recurso en este caso de ART. Este término se empleara en referencia a los usos demandantes de ART presentes, considerándolos como receptores de la oferta de ART.

Capacidad Instalada: Este término está en relación con el diseño de las PTAR, donde la capacidad de tratamiento es el volumen, caudal o gasto máximo de ART, que puede producir, tomando en cuenta el tipo de equipo y tecnología que poseen las PTAR

Capacidad Operativa o en operación: Este término se refiere al gasto medio o caudal producido de ART, en una PTAR. Se realiza una distinción con capacidad Instalada, ya que este término está en referencia con el nivel tratamiento usual y de operación de las PTAR

Espacios Abiertos: Para efectos de esta investigación se considera espacios abiertos, a todos aquellos espacios que se encuentran en la propiedad pública (calles, avenidas, parques jardines, deportivos camellones) y que no están contenidos en ninguna edificación.

Nivel de Tratamiento: Nivel de tratamiento es un atributo de diseño de las PTAR, donde se establece el grado de tratamiento de las AR. Se divide en 3 tipos: tratamiento primario, secundario y terciario. Se realiza esta distinción ya que el nivel de tratamiento indica en lo general el uso probable

⁹¹ “Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario”, Jiménez T., José M., Universidad Veracruzana, (2013).

del ART. Siendo usos agrícolas (tratamiento primario), usos agrícolas, industriales, urbano (tratamiento secundario) y usos recreativos y de consumo (tratamiento terciario)

Calidad del Agua: Es un atributo que se le asigna al agua, en base a sus propiedades, físicas, químicas y biológicas. En el caso de esta investigación, el concepto se utilizara para indicar las propiedades del ART y de las aguas crudas.

Cobertura Vegetal: Es un término que se emplea al referirse a la vegetación (pastos, árboles, arbustos, pastizales) que pueden observarse sobre la superficie de un terreno o espacio definido. Se identifica mediante fotografías aéreas y satelitales. En esta investigación la cobertura vegetal se entenderá como la vegetación presente sobre un área que se ha identificado como probable demandantes de ART

Permeabilidad: Es un concepto que se indica una característica física de los suelos, donde la permeabilidad, es la capacidad de un material de permitir ser atravesado por otro. En el caso de los suelos, se refiere a la permeabilidad de una capa de suelo por el agua. Para esta investigación se considerara permeabilidad a la capacidad de un área de mantener un volumen de ART, que estará ponderado en base a la cobertura vegetal presente en esa área

Utilidad: Es la propiedad de un objeto o acción para cumplir una necesidad. En este caso la utilidad, la se entenderá con respecto, a la capacidad de las áreas libres a atender las necesidades de espacio público. La utilidad se medirá en base a la presencia o no de equipo para realizar actividades en los espacios y áreas libres.

Aglomeración: Se entiende por aglomeración a la formación de grupos de objetos o sujetos, que se encuentren próximos entre sí. En esta investigación el termino será empleado para para describir la estructura urbana en relación a los usos industriales y de espacio públicos

Infraestructura: Se entiende por infraestructura, a todo tipo de construcciones, equipo y obras que se realizan para la oferta de un servicio de carácter público. Son en su caso la base para distribución de los diferentes servicios en una ciudad. El término de infraestructura para esta investigación se usara, continuamente para referirse a las tuberías, garza, tomas, cruces y PTAR, que conforman la red de distribución ART.

4. Definiciones respecto al reuso del agua

En este sub-capítulo se realizaron un recorrido descriptivo de los conceptos sobre el reuso del agua en el mundo, basados en principalmente en las definiciones propuestas en el informe realizado para la International Water Association (IWA) intitulado *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, presente en el Scientific and Technical Report No.20 editado por Jiménez y Asano, durante el año 2008⁹². En la siguiente tabla se presentan las definiciones convenidas en lo general a nivel internacional sobre el reuso del agua y ejemplos que explican cómo se entiende el concepto y aplicaciones y datos para su mayor comprensión. Los ejemplos empleados usaran datos oficiales de la CONAGUA para el año 2009,⁹³ de la región hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México. (RHA-XIII-AVM)

Tabla 24 Definiciones Internacionales sobre el reuso del Agua y ejemplos de su aplicación para la RHA-XIII-AVM (2014)

Términos	Definición	Aplicación	Información o dato
<i>Agua de primer uso</i>	Es el agua que se recibe sin una fuente identificable de descarga de aguas residuales	En RHA-XIII-AVM es el agua que llega por medio de precipitación pluvial, el escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos. ⁹⁴	En la RHA-XIII-AVM se dispone de 7104.36 hm ³ /año,
<i>Agua recuperada</i>	Son las aguas residuales que han recibido un tratamiento adecuado para ser reutilizadas por los usuarios de manera segura.	En México se denominan aguas tratadas, depuradas o saneadas. Se les considera aguas tratadas a las aguas residuales, pluviales o combinación de estas que han sido dirigidas	En la RHA-XIII-AVM se da tratamiento a un volumen de 210.78 hm ³ /año

⁹² V. "Water reclamation and reuse around the world" en *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. Jiménez, B., & Asano, T., Reino Unido, (2008), p. 3-26.

⁹³ Para mayor Información V.: "Estadísticas del agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México", CONAGUA, México, (2009).

⁹⁴ El Trasvase del agua no es una fuente de agua que se considere como agua de primer uso y disponible en esta región.

		hacia las PTAR y han sido sujetas a un proceso de tratamiento.	
<i>Consumo del agua</i>	Es el total del agua que es sustraída del medio ambiente con fines de consumo urbano, municipal, agrícola o industrial, en estos no se contabilizan ni se suman las pérdidas por evaporación y almacenamiento en presas y reservorios. Estas incluyen abstracciones sobre las fuentes subterráneas y superficiales de agua, así como la entrada de flujos de otras regiones o demarcaciones y el agua producida por la desalinización del agua de mar.	Se considera el agua que es extraída por pozos, captada por escurrimiento superficial y/o trasvasada de otra regiones ⁹⁵ hacia la ZMVM y otras áreas al interior de la Región Hidrológica-Administrativa	Se extrae un total de 2971 hm ³ /año
<i>Disponibilidad de agua per capita</i>	Es la razón que expresa el volumen de agua disponible de un habitante en una región determinada y el volumen total de agua disponible para ese habitante en esa región.	En RHA-XIII-AVM, se estima que hay una población de 21. 21 millones de habitantes	136 m ³ /hab/año
<i>Grado de dependencia (de recursos hídricos externos a la región)</i>	Expresado en porcentaje, es el volumen de las aguas renovables que se originan fuera de la región y que son fuente de agua para consumo	Son las aguas de trasvase que son transportadas de una región o subregión hidrológica (cuenca)	Para la RHA-XIII-AVM representan un 21.31%
<i>Índice de intensidad de uso del agua</i>	Es un índice que compara la demanda o consumo anual del agua en una región y la compara con la disponibilidad de los recursos hídricos	Este concepto se emplea para tener una idea de la presión que se tiene sobre los recursos hídricos de una región.	El grado de presión es de 148% para la RHA-XIII-AVM

⁹⁵ Se eliminaron los aprovechamientos que realiza la subregión de Tula del agua residual

	renovables y de agua fresca en esa región		
<i>Reciclaje del agua</i>	Utilización de las aguas que han recibido un tratamiento o no, para el mismo objeto por el cual fueron generadas.	El reciclaje del agua consiste en reusar el agua para emplearse en el mismo uso o actividad con la que fue originado. Por ejemplo, es el reciclaje del agua gris originada en el lavado de automóviles o el reciclaje de las agua en la industria papelera. En México es una práctica que la emplean empresas que están sujetas a estrictas normas de descarga de aguas residuales al alcantarillado público.	En RHA-XIII-AVM se carece de datos al respecto de este concepto ⁹⁶
<i>Recuperación o reúso del agua</i>	Es el proceso por el cual se le da tratamiento a las aguas residuales con el fin de ser usadas con otros fines. La recuperación del agua es un concepto acuñado en lengua inglesa, pero se refiere simplemente al reuso del agua tratada.	En México, se emplea el término tratamiento, depuración o saneamiento de aguas residuales, sin embargo, estos términos no implican el reúso de las aguas en otras actividades. El término recuperación o reúso si implica los dos: tratamiento y reúso.	En la RHA-XIII-AVM se reúsan 1784.74 hm ³ /año
<i>Recursos hídricos internos y renovables</i>	Estos recursos son resultado de la suma de la recarga interna de acuíferos, más la producción interna del agua superficial. Esta es una medida que indica la disponibilidad de agua presente en una región definida	Se emplea para la comparación entre las fuentes renovables de agua y el consumo en una región. Con estos datos se puede indicar si se están realizando aprovechamientos por encima de las capacidades que el medio natural tiene para ofrecer agua	En la RHA-XIII-AVM la disponibilidad de fuentes renovables internas es de 2885.03 hm ³ /año,

⁹⁶ Ya que los proyectos para el reciclaje del agua *in situ* son excepcionales, aunque un ejemplo de esto es la Cervecería Modelo en el DF. V. comunicado de prensa “Reuso de aguas tratadas en la industria reduce la sobreexplotación de acuífero”, Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, México, (2010) en la URL: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/NotaP/BOLETIN%20149-10.pdf>.

<i>Reuso del agua</i>	Es la utilización de agua residual (que puede haber recibido un tratamiento o no) ⁹⁷ para que sea empleada con fines y propósitos diferentes con respecto al uso original	El reúso del agua es el empleo de las aguas tratadas o no con un fin específico. Ya que implica que no se empleen para el mismo uso que las origino. Por ejemplo, el reúso del agua en la actividad agrícola.	En la RHA-XIII-AVM se reúsan 1784.74 hm ³ /año
<i>Reuso directo del agua</i>	Es la transferencia de las aguas residuales que pueden haber sido tratadas o no, de los lugares donde se produjeron a los sitios donde serán aprovechados	Este concepto indica la forma en cómo se distribuye o dota el agua tratada. El reúso directo es una práctica que se emplea para la dotación de espacios que necesitan un caudal regular de agua tratada.	Se carecen de datos específicos en torno al reúso directo del agua para la RHA-XIII-AVM
<i>Reuso directo para el consumo humano o reúso directo potable</i>	Reuso de las aguas residuales tratadas en las que se ha transportado el agua tratada de las unidades o plantas de tratamiento hacia las redes de provisión de agua potable	Este tipo de reúso es excepcional a nivel internacional, pero se presenta en regiones con una escasez crónica del agua o donde las fuentes de agua no están disponibles para la región.	En la RHA-XIII-AVM no se dispone de este tipo de reúso
<i>Reuso directo para la agricultura</i>	Reuso de agua con tratamiento o sin este para riego agrícola sin que se diluya con otras fuentes de agua	Este concepto destaca que el destino del agua a reusarse será para la producción agrícola y que será dotada sin que se diluya con aguas de otro tipo.	
<i>Reuso incidental e indirecto del agua para consumo humano</i>	Es la reutilización del agua residual tratada y/o agua residual que ha sido descargada en cuerpos de agua superficiales o acuíferos, de donde se realiza extracción del agua para el consumo humano. Esto sucede de	Reuso incidental es un tema polémico y no reconocido por los organismos de gestión del agua, aunque es una práctica común. Sucede cuando se realiza la descarga de agua tratada y/o residual en cuerpos	Se carece de datos entorno al volumen de aguas residuales y tratadas descargadas a cuerpos de agua

⁹⁷ El reúso del agua es una práctica común a nivel internacional, pero no implica en sí, que se les dé un tratamiento a las aguas residuales. El reúso sin tratamiento también es una práctica común, aunque no reconocida por los organismos de gestión del agua

	manera consciente o inconsciente, sin embargo, no se considera parte del reuso intencional del agua, ya que esto demandaría procesos adecuados de tratamiento de las aguas y un monitoreo específico para el reuso del agua	de agua superficiales que son una fuente de abasto para sistemas de dotación y distribución del agua.	
<i>Reuso indirecto del agua</i>	Es el reuso del agua que ha sido tratada o no, después de que ha sido descargada en cuerpos de agua superficiales o mantos acuíferos, de donde agua es extraída	El reuso indirecto sucede cuando el agua tratada y/o residual se descarga en aguas superficiales (agua superficiales, canales, pozos de infiltración etc.) y esta se infiltra a los acuífero	En la RHA-XIII-AVM, el reuso indirecto es la norma con la descarga de agua a cuerpos de agua periurbanos.
<i>Reuso indirecto del agua para agricultura</i>	Es el reuso de las aguas residuales que han recibido tratamiento o no, después de ha sido descargada a cuerpos de agua, esta agua es extraída con fines de riego agrícola	Este concepto se refiere a una forma de específica de gestionar el reuso del agua. En esta se pone en disponibilidad el agua para el reuso para las actividades agrícolas, lo que no implica que se tenga una estrategia para que estos la aprovechen de manera efectiva. Esta es una práctica no planificada del reuso y es común en la RHA-XIII-AVM	En la RHA-XIII-AVM el volumen de reuso del agua para la actividad agrícola es de 1674.56 hm ³ /año
<i>Reuso intencional o reuso planeado del agua</i>	Es el reuso del agua como parte de un proyecto planeado. Este acto se considera consiente y emplea agua recuperada para su ejecución	Los proyectos planeados para el reuso del agua exigen la gestión completa de la infraestructura para el reuso como la operación, mantenimiento, distribución, dotación y monitoreo de las aguas	En la RHA-XIII-AVM el reuso para uso urbano e industrial puede ser considerado como uso planeado. El volumen de agua de reuso es de 110.38 hm ³ /año

Fuente: Comentarios, adaptación y traducción propia tomado de "Water reclamation and reuse around the world" en *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. Jiménez, B., & Asano, T., Reino Unido, (2008), p. 4.

5. Razones por las que se promueve el reuso del agua

La tendencia internacional respecto al saneamiento y reuso urbano del agua tratada, se encuentra en un estado de diseminación y de aprendizaje, tomando las prácticas locales exitosas, como un marco de referencia.

Las experiencias exitosas se presentan en los países que poseen problemas de sobreexplotación, escasez y contaminación de las aguas. Aquí se presentan las razones por las que se promueve el reuso del agua, también se indica el grado de importancia que le otorgan los países desarrollados y en vías de desarrollo.

Tabla 25 Razones más populares entre por las que se impulsa el reuso del agua a nivel Internacional y su relación con aspectos del Desarrollo Urbano

	Razones que impulsan el reuso	Relación con el Desarrollo Urbano	Grado de Importancia	
			Países Desarrollados	Países en Desarrollo
1	La escasez de Agua	El desarrollo urbano debe considerar al detalle sus opciones en torno a las fuentes de agua disponible y plantear estrategias de dotación ante su escasez, una medida es el consumo medido del agua y la inversión en sistemas eficientes para su distribución y aprovechamiento		
2	El manejo de las sequías y búsqueda de fuentes confiables cercanas a los campos de producción agrícola	Las ciudades pueden proveer del agua recuperada mediante los sistemas de tratamiento y depuración. Mediante la cooperación se pueden generar reservorios de agua recuperada para la distribución en periodos de sequía		
3	La generación de agua residual próxima a campos agrícolas que demandan agua	En general, los campos agrícolas se ubican próximos a los centros de distribución de alimentos y bienes, estos en general son ciudades que pueden proveer de una fuente continua de aguas residuales.		

4	La ausencia de tratamiento que resulta en un uso no intencionado de agua residual	A menudo, las aguas residuales son procedentes de usos distintos al municipal o urbano (como agrícola o industrial) la colección y depuración de estas aguas representa un espacio de oportunidad para el reuso del agua para la ciudad y representa beneficios ambientales para la región a la que pertenece.		
5	Para la protección ambiental y el control de los contaminantes de las aguas residuales (esto es empleado en costas y zonas turísticas o en áreas de alto valor ambiental)	Las ciudades costeras (y no costeras) que basan su economía en el desarrollo de las actividades turísticas se ven beneficiadas del reuso y depuración de sus aguas, permitiéndoles continuar como destinos de calidad ambiental, que de otra forma se verían afectadas por la pérdida de las amenidades y valores ambientales que poseen.		
6	Para la mejora de las condiciones de un ecosistema que posee agua de baja calidad, y sustituyéndola con agua reusada de calidad para su recuperación	Es tendencia entre las ciudades del mundo, la regeneración y el recate de los espacio intraurbanos y periurbanos que aún conservan un carácter natural y ofrecen una oportunidad para el desarrollo de actividades recreacionales y de ocio. El rescate de ríos, cuerpos de agua y costas obedece una lógica de mejora de los espacios públicos que se ha generalizado en todas las ciudades.		
7	Por la conveniencia que posee el agua recuperada con el fin de aumentar las reservas de agua de primer uso para consumo humano	La disponibilidad de las fuentes de agua de una ciudad deben ser en extremo cuidadas y protegidas, es común que las ciudades sobrexploten sus recursos hídricos, pero el reuso representa un espacio para mantener el agua disponible.		
8	Por la toma de conciencia acerca del impacto ambiental y económico que tienen las estructuras de almacenamiento de agua como presas y reservorios	Las ciudades han resuelto la escasez mediante la implementación de reservorios y presas, sin embargo estos cada día son menos populares como solución a la escasez, debido a que esta solución transmite impactos hacia poblados y regiones susceptibles al desabasto del agua que se desvía hacia estas estructuras.		
9	Por la preferencia que se tiene respecto al impulso de programas de reuso versus los planes de	Aunque no en todas las ciudades se menosprecia el acarreo y transporte del agua de otras regiones, el reuso si representa otro enfoque entorno al desabasto de agua y se puede ver alentado		

	transporte de agua que incluyen altos costos.	mediante una planificación que contemple el reuso como una opción para la provisión del agua		
10	Para la recuperación de nutrientes para la producción agrícola (Nitrógeno y Fosforo)	El agua que se desecha en las ciudades posee una alta cantidad materia orgánica, entre la cual se encuentran nutrientes de donde la producción agrícola puede beneficiarse si realizan las obras para la conducción de las aguas residuales		
11	El reuso se considera como una opción de recuperación de los costos de tratamiento en entornos con estrictas regulaciones	Las ciudades a menudo se ven afrontando problemas presupuestales entorno al agua, ya sea para la provisión, el saneamiento o la depuración. Incluir al reuso como una opción de financiamiento para la depuración y el tratamiento es la alternativa ante estos problemas presupuestales		
12	Se considera al reuso como una opción bajo costo para disposición del agua	Los gobiernos municipales se encuentran en regímenes y regulaciones que establecen un costo para la disposición de las aguas residuales en cuerpos de agua y cauces, el reuso aquí representa una opción de ahorro disminuyendo el volumen total de aguas a descargar y ofreciendo una opción de financiamiento a la depuración y el tratamiento. ¹		
13	Para la protección del ambiente en áreas turísticas	En zonas de alto valor ambiental, generalmente, se alienta el turismo como una forma de actividad económica para la población de las ciudades proteger estas áreas representa una conservación de esta dinámica.		
14	Para satisfacer la alta demanda de agua que representan los usos municipales e industriales	La demanda de agua de las ciudades se mantienen dentro del agua de primer uso, la provisión de agua puede considerar la el reuso directo para usos que no requieran el agua potable, así como el reuso indirecto para el aumento de las fuentes de agua disponibles en la cuenca en al que se encuentra.		

Fuente: Comentarios, adaptación y traducción propia, fuente original de V. "Water reclamation and reuse around the world" en *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. Jiménez, B., & Asano, T., Reino Unido, (2008), p. 15

6. Descripción general de la gestión del saneamiento urbano

La gestión del saneamiento urbano esta enmarcada por el proceso de mejora de los servicios de agua en una ciudad. Hoy en día es considerado que los sistemas de saneamiento urbano y alcantarillado son bienes públicos. Ya que la existencia de la red de alcantarillado es conveniente en un sentido económico. Seria ineficiente que en una ciudad existiesen diferentes redes que compitan por la cobertura en el desalojo de las aguas residuales. Por eso es conveniente mantener la red de alcantarillado público, de esta manera se tiende una red con la disponibilidad para el desalojo de las aguas y excretas, evitando el problema que representaría la acumulación de los desechos por denegación del servicio de alcantarillado.⁹⁸

En la discusión internacional se ha planteado la participación del sector privado en la dotación de servicios públicos, proceso que en general es denominado Privatización. A pesar de esta tendencia, la participación del sector privado se ha mantenido al margen del desalojo de las aguas y el saneamiento urbano, (considerado de carácter público) pero ha abarcado el mercado de la provisión de agua.⁹⁹ La depuración y tratamiento de las aguas en general se ha mantenido en regímenes mixtos de participación pública y privada.

El reuso del agua tratada, se mantiene en un régimen donde es financiado y operado desde la iniciativa pública (debido a los altos costos del financiamiento y mantenimiento de la infraestructura). Los proyectos de tratamiento y reuso del agua son impulsados desde la iniciativa pública, ya que son excepcionales y atípicos. La participación del sector privado en estas iniciativas se mantiene al margen debido al reto y riesgo que representan la gestión de las aguas tratadas.

⁹⁸ Para la gestión y financiamiento de la red de alcantarillado, los organismos de agua y el saneamiento han optado por la regulación de las conexiones al alcantarillado (cuotas de conexión), la provisión de red absorbiendo los costos de construcción y mantenimiento (provisión subsidiada) y la definición de tasas homogéneas y obligatorias para la población en el costo de dotación del agua. Esto es una práctica también empleada para el cobro de los costos derivados de los procesos de depuración de las aguas residuales

⁹⁹ La percepción de que los gobiernos son ineficaces para la gestión de los servicios públicos obedece a una tendencia mundial sobre la privatización de los servicios públicos, donde la provisión de agua y saneamiento se ha visto inmersa. Sin embargo, aunque los primeros intentos de privatización resultaron en bancarrotas de las empresas. No sería hasta los años 90 cuando se consolidaría las iniciativas para la privatización de servicios públicos en materia de agua. (Agua y Saneamiento en las Ciudades del Mundo, 2003, pág. 160)

Para llevar a cabo los proyectos de saneamiento y reuso del agua entre iniciativa pública y privada, se recurre a los contratos de construcción, operación y transferencia (COT). Este tipo de contrato es empleado para la introducción de sistemas de depuración y tratamiento de las aguas residuales. Estos consisten en la creación de una empresa que opera las infraestructuras de saneamiento urbano (plantas de tratamiento y redes de distribución) que distribuye agua tratada y que los gobiernos compran. Al finalizar el contrato, la infraestructura de saneamiento puede permanecer en manos del sector privado o pasar al sector público con un costo o tasa a futuro.

En el plano administrativo, el saneamiento y reuso de las aguas tratadas es considerado una tarea secundaria y subordinada a la gestión del alcantarillado urbano o al desalojo de las aguas residuales. El reuso es gestionado como una salida del agua residual y no como una entrada de agua en sí. Desde el punto de vista técnico, el reuso es similar al drenaje del agua, pero desde el punto de vista más amplio, comparte características con la dotación y distribución del agua.