



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**Diagnóstico de la disposición final del agua residual tratada en  
México, y propuesta técnica para el reúso del agua en la Zona  
Metropolitana del Valle de México (ZMVM)**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA**

PRESENTA:

**Ing. José Roberto Cruz Romero**

DIRECTOR DE TESINA: Dr. José Elías Becerril Bravo

CD. MX.

OCTUBRE 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## *Agradecimientos*

Agradezco: a mi madre, hermanas y hermano por su eterna paciencia y apoyo incondicional; a mi tutor por su supervisión, comentarios y observaciones; a mis profesores quienes me motivaron a estudiar esta especialización; amigos de la escuela e Instituto por su valiosa compañía; y un profundo agradecimiento a los asesores del “*Taller de escritura de artículos académicos en inglés*” quienes me ayudaron ordenar los temas desarrollados en este trabajo.

*“-Cómo será de noble esta ciudad -decía- que tenemos cuatrocientos años tratando de acabar con ella, y todavía no lo logramos.”*

Gabriel García Márquez, *“El amor en tiempos del cólera”*.

## **Resumen**

En 2017, se estimó que más del 80% del agua residual en el mundo fue descargada al medio ambiente sin tratamiento alguno. En 2008, se estimó que México ocupó el primer lugar en los países en reusar agua tratada para irrigación. De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en 2015 México tenía 2,477 plantas de tratamiento de agua residual municipal (PTAR) que trataron 120.9 m<sup>3</sup>/s, esto es, el 57% del agua colectada por el sistema de alcantarillado en el país. Adicionalmente, el inventario nacional de plantas de tratamiento proporcionado por CONAGUA indica la disposición final del agua tratada de cada planta. Sin embargo, este inventario no clasifica el tipo de reúso del agua. Esta tesis proporciona un resumen de los procesos de tratamiento, distribución, tamaño y normas de descarga de las PTARs municipales en las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) de México. En Base a este resumen y la homologación de la información se clasificó los tipos de reúso del agua. En éste análisis se encontró que más de la mitad del agua residual tratada es descargada a un cuerpo de agua y el 14.4% es utilizada para irrigación. Adicionalmente, se concluye que el agua tratada es un recurso aún sin explotar para usos como recarga de agua subterránea, industrial y público urbano, dado que el porcentaje destinado a estos usos fue menor al 5% del total. Por otra parte, se presenta una propuesta técnica donde se identifican las plantas dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México que descargan su efluente al alcantarillado y las que trabajan debajo de su capacidad instalada. Asimismo, se estima el caudal de esas plantas que puede ser aprovechado para su reúso.

### **Palabras clave:**

Tratamiento de agua residual, reúso del agua, Región Hidrológico-Administrativa

## **Abstract**

In 2017, it was estimated that well over 80% of wastewater worldwide is released into the environment without treatment. In 2008, Mexico was estimated to occupy the first place in the world in reuse of treated wastewater for irrigation. According to the National Water Commission (CONAGUA), in 2015 Mexico had 2,477 municipal wastewater treatment plants (WWTPs) that treated 120.9 m<sup>3</sup>/s, i.e., 57% of wastewater collected by the country's sewerage system. Additionally, the National inventory of municipal WWTPs provided by CONAGUA indicates the treated wastewater final disposal. However, this inventory does not classify the type of reuse. This thesis provides an overview of the treatment process, scale plants and discharge standards of the municipal WWTPs in the 13 Hydrological-Administrative Regions of Mexico. Based on this overview, we classify and analyze the types of treated wastewater reuse in all of Mexico. In this analysis we found that more than half of the treated wastewater is released into bodies of water and that 14.4% is used for irrigation. In addition, we estimated that treated wastewater is an untapped recourse for groundwater recharge, industry and urban public reuse, because the percent of total treated wastewater is less than 5% of the total. Additionally, we made a technical proposal whose purpose is to identify the WWTPs which its effluent is discharged into sewer system, and WWTPs than work under its design capacity. We also estimated the flow rate from these WWTPs that can be reclaimed to reuse.

### **Keywords:**

Wastewater treatment; water reuse, Hydrological-Administrative regions.

# Índice

<b>Objetivos</b> .....	8
<b>Alcances y limitaciones</b> .....	8
<b>1 Marco teórico</b> .....	9
1.1 Agua residual en el mundo y en México.....	9
1.2 Procesos de tratamiento utilizados en México.....	11
1.2.1 Lodos activados.....	12
1.2.2 Lagunas de estabilización.....	13
1.3 Objetivo del desarrollo sostenible 6: Agua limpia y Saneamiento.....	14
1.4 Regiones Hidrológico-Administrativas.....	16
1.5 Marco legal.....	18
1.5.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	18
1.5.2 Ley de aguas nacionales.....	19
1.5.3 Normas de descarga del efluente de las PTAR.....	20
1.5.3.1 NOM-001-SEMARNAT-1996.....	21
1.5.3.2 NOM-002-SEMARNAT-1996.....	25
1.5.3.3 NOM-003-SEMARNAT-1997.....	26
<b>2 Infraestructura de PTARs</b> .....	28
2.1 Número y distribución a través del país de las PTAR.....	28
2.2 Tamaño de las PTAR.....	29
2.3 Procesos utilizados en las PTAR.....	30
<b>3 Diagnóstico del reúso o disposición final del agua tratada en México</b> ....	34
3.1 Metodología: homogenización de la información y clasificación de las PTARs.....	34
3.1.1 Homogenización de la información de los nombres de los municipios.....	34
3.1.2 Clasificación de PTARs de acuerdo a la disposición final o reúso de su influente ..	37
3.2 Resultados.....	39
3.2.1 Tipos de reúso en las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas.....	39
3.2.2 Tipos de reúso a nivel nacional.....	44
<b>4 Propuesta técnica para el reúso del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)</b> .....	46
4.1 Descripción del área de estudio.....	46
4.2 Justificación.....	48

4.2.1	PTARs y reúso actual del agua en la ZMVM.....	49
4.3	Propuesta técnica.....	52
4.3.1	PTARs seleccionadas y reúso.....	53
4.3.2	Equipo de trabajo.....	57
4.3.3	Resultados esperados .....	58
	<b>Conclusiones</b> .....	59
	<b>Referencias</b> .....	60
	<b>Anexos</b> .....	63

## Introducción

En 2015 se estimó que más del 80% del agua residual en el mundo fue descargada al medio ambiente sin tratamiento alguno (ONU, 2015). Las consecuencias son alarmantes, por ejemplo, agua contaminada utilizada para consumo humano es la causa de 502,000 muertes por diarrea al año (OMS, 2010). Por otro lado, en un análisis se mostró que de los 181 países sólo 55 tenían información de la generación, tratamiento y reúso del agua residual, y los restantes no contaban con la información o ésta era parcial. Además, en la mayoría de los países donde la información era disponible, ésta era obsoleta (Sato et al, 2013). Por consecuencia, establecer cuáles son los principales países en reutilizar agua tratada es una tarea difícil. Sin embargo, en 2006 se estimó que México ocupó el primer lugar en el mundo en reutilizar agua tratada para irrigación (Jiménez y Asano, 2008).

En 2015 de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 91% de la población de México estaba conectada a un sistema de alcantarillado, esto se interpreta como el 91% del agua residual generada pudo ser colectada. No obstante, solo el 57% del agua residual colectada fue tratada, esto significa que alrededor de la mitad del agua generada a nivel nacional fue descargada al medio ambiente sin tratamiento alguno y el resto llegó a una Planta de tratamiento de agua residual (PTAR). Para finales de 2015 México tenía 2,477 PTARs municipales que trataron 120.9 m<sup>3</sup>/s (10,450 millones de litros por día), a pesar de que la capacidad de diseño era de 177.9 m<sup>3</sup>/s. Los procesos más utilizados en las PTARs fueron lodos activados y lagunas de estabilización, los cuales son usados en más del 62% de las PTARs (CONAGUA, 2015).

El Valle del Mezquital (Situado al Norte e la Ciudad de México) fue el más grande ejemplo de reúso de agua residual para irrigación en el mundo (Jiménez et al, 2000). Otros proyectos han ejecutado el reúso del agua residual tratada en específicas áreas de México, por ejemplo, el proyecto de recarga artificial utilizando agua tratada en Chihuahua (Palma et al, 2018) y la recuperación del lago de Xochimilco en la Ciudad de México. Adicionalmente, el Inventario nacional de plantas de tratamiento municipales proporcionado por CONAGUA indica la disposición final del agua tratada de cada PTAR, pero en este inventario no se clasifica el tipo de reúso. Por lo tanto, no existe un panorama completo de la situación actual del reúso del agua tratada en México.

Esta tesina proporciona un resumen del número y distribución, procesos de tratamiento, capacidad de diseño y estándares de descarga de las PTARs municipales en México. Basado en éste resumen se clasificó los tipos de reúso de agua tratada en el país, además se generó un mapa que indica el tipo de reúso de agua tratada en las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) de México. Asimismo, se estimó los porcentajes de cada tipo de reúso de agua tratada. Finalmente, se elaboró una propuesta técnica para la



ZMVM, cuyo objetivo es identificar las plantas que descargan su efluente al alcantarillado y las que trabajan debajo de su capacidad instalada. Asimismo, se estimó el caudal de esas plantas que puede ser aprovechado para su reúso.

## Objetivos

Presentar un resumen para el año 2015 respecto a la infraestructura existente para el tratamiento del agua residual municipal en México.

Desarrollar un diagnóstico del reúso o disposición final del agua residual tratada para el año 2015 en las 13 RHA y a nivel nacional.

Exponer una propuesta técnica donde se identifican las plantas dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México que descargan su efluente al alcantarillado y las que trabajan debajo de su capacidad instalada. Asimismo, estimar el caudal de esas plantas que puede ser aprovechado para su reúso.

## Alcances y limitaciones

La información más reciente encontrada en la bibliografía fue para el año 2015, ésta es la razón por la cual el diagnóstico de la disposición final del agua residual fue realizado para ese año. Asimismo, para clasificar el reúso de agua tratada o disposición final se utilizó la información proporcionada por el Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación para el año 2015 proporcionado por CONAGUA.

La propuesta técnica abarca PTARs dentro de la ZMVM. Dicha propuesta consiste en identificar las plantas que trabajan debajo de su capacidad de diseño y aquellas plantas que descargan al alcantarillado. Asimismo, se presenta una estimación del caudal procedente de dichas plantas que puede ser aprovechado para distintos reúsos. La gestión de lodos queda fuera de ésta propuesta.

# 1 Marco teórico

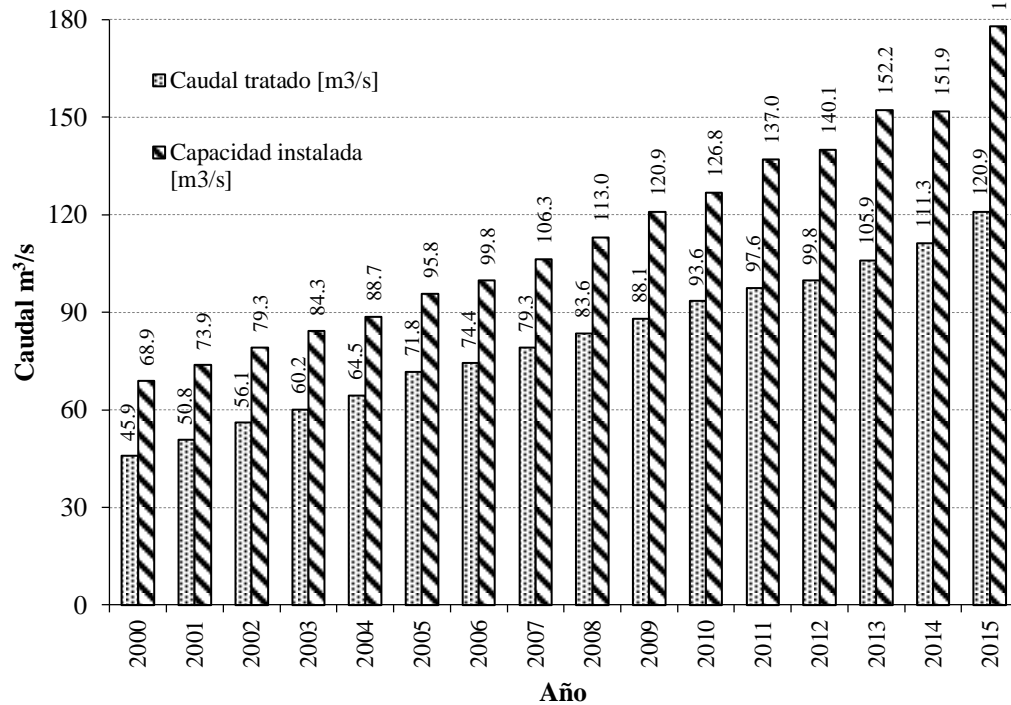
## 1.1 Agua residual en el mundo y en México

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo se estimó que fue aproximadamente 1,386 millones de km<sup>3</sup>, donde, el 97.5% es agua salada y solamente el 2.5% es agua dulce. Respecto al agua dulce, el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo, y alrededor del 30% es subterránea. Por lo que, menos del 1% del agua dulce se encuentra en ríos y lagos (Clarke y King, 2004).

A nivel global es difícil determinar la situación del reúso o disposición final del agua residual debido a la falta de información. Ejemplo de ello es un estudio realizado por Sato et al. (2013), donde solamente 55 de los 181 países analizados tenían información respecto a la generación, tratamiento y reúso del agua residual, y los países restantes no contaban con información o dicha información era parcial. Sin embargo, en el reporte “*Agua residual: el recurso desaprovechado*” publicado por las Naciones Unidas en 2017, se estimó que más del 80% del agua residual en el mundo fue descargada al medio ambiente sin tratamiento alguno. Asimismo, en dicho reporte se estima que los países desarrollados tratan el 70% de sus aguas residuales municipales e industriales respecto a la que generan, por otro lado, los países en vías de desarrollo solo tratan de alguna forma el 8% del agua residual que generan.

Con relación a México, el número de personas conectadas a un sistema de alcantarillado (fosa séptica o alcantarillado convencional) ha incrementado constantemente, en el año 2000 se contaba con una cobertura de 76.18% y para 2015 fue de 91.4%. Asimismo, la construcción de plantas de tratamiento ha ido en crecimiento y con ello el incremento del tratamiento del agua residual, sin embargo, dichas plantas no han sido aprovechadas al máximo, dado que existe una brecha entre su capacidad instalada y caudal tratado. La [Figura 1-1](#) muestra el crecimiento de cantidad de agua tratada y la capacidad instalada a nivel nacional, desde el año 2000 hasta el 2015.

### Capacidad instalada y caudal tratado



**Figura 1-1.** Evolución de la capacidad instalada y del caudal tratado de las PTARs de 2000 a 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

Como lo muestran los datos en la [Figura 1-2](#) , para 2015, en México operaron 2,477 plantas de tratamiento de agua residual municipales, cuyo caudal tratado fue de 120.9 m<sup>3</sup>/s, no obstante, la capacidad instalada fue de 177.97 m<sup>3</sup>/s. El caudal tratado significó el 57% de la cantidad de agua colectada por un sistema de alcantarillado, sin embargo, la cobertura de alcantarillado no fue absoluta, sino fue del 91.4% a nivel nacional (CONAGUA, 2015). Dicho de otra manera, se estima que solo se trató la mitad del agua residual municipal generada.

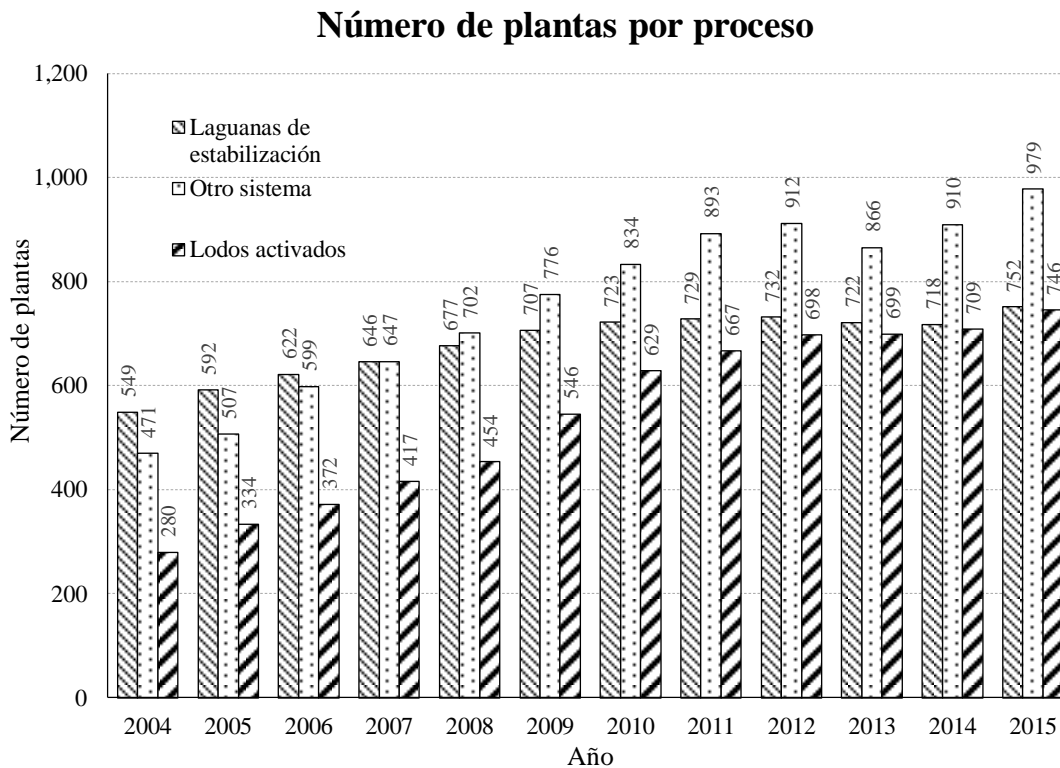


**Figura 1-2.** Infraestructura de saneamiento de agua residual municipal en México, 2015.

Fuente: CONAGUA, 2015.

## 1.2 Procesos de tratamiento utilizados en México

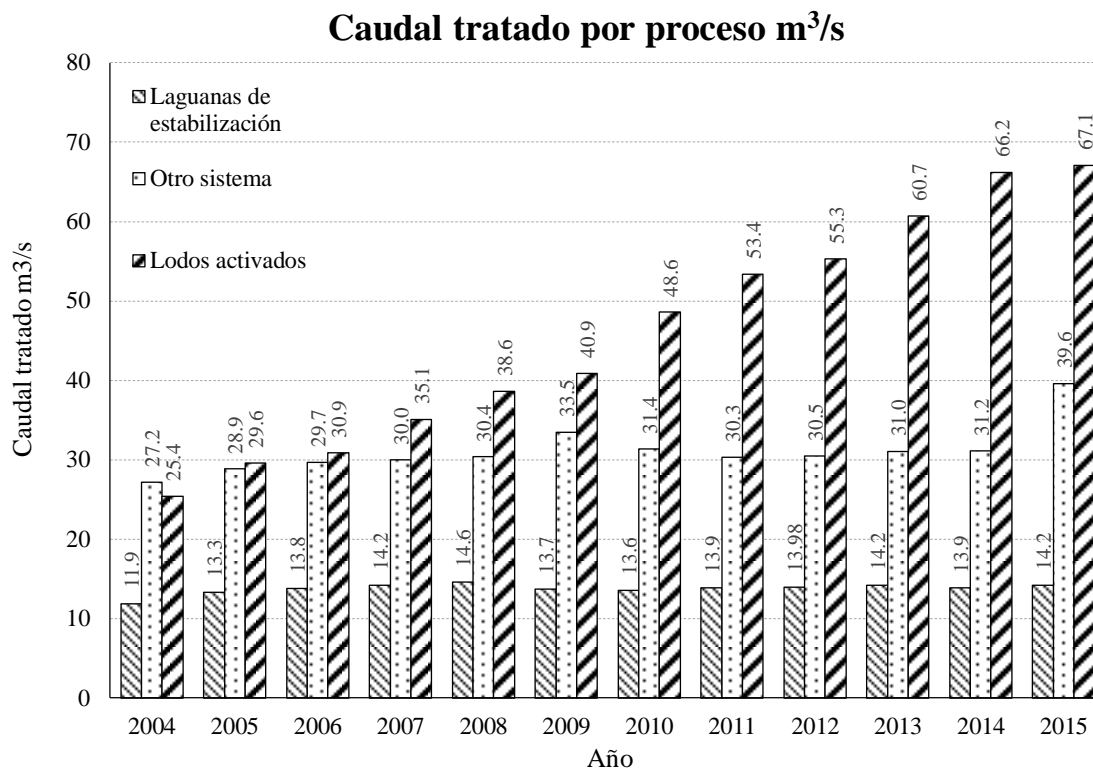
Para 2015, CONAGUA consideró 26 tipos de proceso o combinaciones de proceso para el tratamiento de agua residual, de los cuales, los principales fueron lodos activados y lagunas de estabilización con 746 y 752 plantas respectivamente, representando más de la mitad de las plantas construidas. Estos procesos han sido los más utilizados a lo largo de los años. Como se observa en la [Figura 1-3](#), en 2004 de las 1,300 plantas que dieron servicio, 280 utilizaron lodos activados y 549 utilizaron lagunas de estabilización, que representaron casi dos terceras partes de las plantas existentes.



**Figura 1-3.** Número de plantas de tratamiento por tipo proceso de 2004 a 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por CONAGUA.

Asimismo, la [Figura 1-3](#) muestra un crecimiento en la construcción de plantas que utilizaron lodos activados y lagunas de estabilización. Sin embargo, el proceso de lodos activados ha aumentado considerablemente su caudal tratado, de 25.4 a 67.1 m<sup>3</sup>/s, por contraste, el caudal tratado por lagunas de estabilización se ha mantenido prácticamente constante de 11.9 a 14.2 m<sup>3</sup>/s, como lo muestra la [Figura 1-4](#). Por consiguiente, el proceso de lodos activados se ha convertido en la tecnología predominante en el tratamiento de agua residual municipal.



**Figura 1-4.** Caudal de agua residual tratado por tipo proceso de 2004 a 2015.

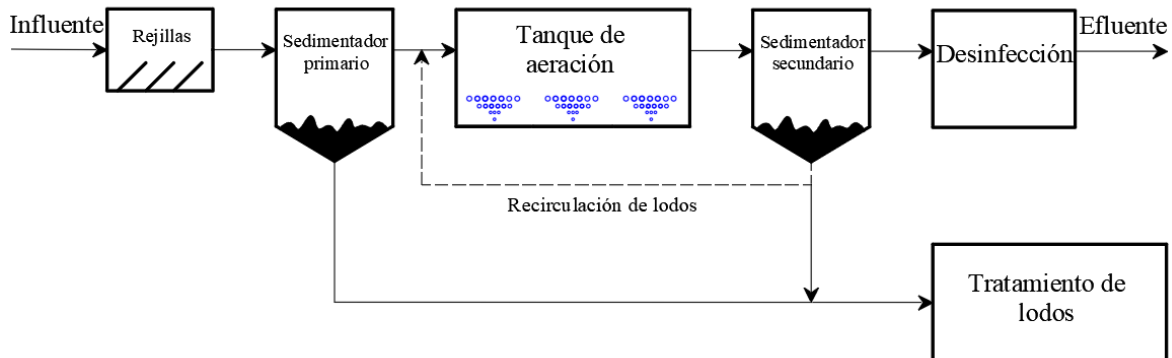
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por CONAGUA.

### 1.2.1 Lodos activados

A pesar de que existe una gran cantidad de variantes de lodos activados, una planta típica de lodos activados se muestra en la [Figura 1-5](#). De manera íntegra éste proceso consiste en cuatro secciones llamadas pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. No obstante, en la literatura no existe un criterio claro para distinguir entre pretratamiento y tratamiento primario, por lo que en esta tesina se describirán juntos. Dentro del pretratamiento y tratamiento primario se pueden encontrar las rejillas, trituradores mecánicos, el tanque de igualación de caudal, tanque de acidificación, desarenadores y sedimentadores primarios.

Las rejillas retienen los residuos sólidos que pueden llegar a las plantas. Los desarenadores remueven del agua partículas minerales (por ejemplo, arenas) de hasta 0.2 mm de diámetro. En general, en el desarenador sedimentan partículas discretas, es decir, aquellas cuyo tamaño, forma y gravedad específica no cambian con el tiempo. La sedimentación primaria es una operación unitaria que tiene por propósito remover los sólidos suspendidos orgánicos del agua residual. En el sedimentador primario se precipitan los sólidos suspendidos en un tanque, donde se mantienen el agua por un periodo de 0.5 a 3 horas o más. Los sólidos finalmente divididos se acumulan al fondo del tanque, donde son

extraídos en forma de lodos (César y Vázquez, 2003). El porcentaje de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) removido por el sedimentador primario puede llegar hasta 30-35% (Wang et al., 2008).



**Figura 1-5.** Diagrama de flujo de proceso de lodos activados.

Fuente: Creación propia con base en esquema de César y Vázquez, 2003.

Posterior al sedimentador primario se encuentra el tanque de aeración. En dicho tanque el agua residual se encuentra con oxígeno y tiende a formar flóculos de lodo, en ellos se desarrollan bacterias. En consecuencia, el flóculo se vuelve activo al absorber la materia orgánica disuelta en el agua residual. Cabe mencionar que esta es la razón por la cual se llama a este proceso lodos activados. Adicionalmente, el agua contiene depredadores, es decir, microorganismos que devoran a los de otras especies. En buenas condiciones (adecuado pH, temperatura y oxígeno disuelto), los lodos arrastran consigo todos los sólidos en suspensión y gran parte de los que se hallan en estado coloidal (César y Vázquez, 2003).

Un porcentaje de lodos del sedimentador secundario es retornado a la entrada al tanque de aeración, donde es mezclado con el influente, a esta mezcla se llama licor mezclado. El licor mezclado incrementa la biomasa del tanque de aeración y por consecuencia afecta directamente las tasas de producción de biomasa y de consumo del sustrato. El propósito de recircular lodos es incrementar la eficiencia del proceso (Paz, 1966). Finalmente, el propósito de los sedimentadores secundarios para lodos activados es generar un efluente suficientemente clarificado para cumplir las normas de descarga.

### 1.2.2 Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización han sido extensamente utilizadas en el mundo debido a la sencillez de su diseño y construcción, asimismo su bajo costo de inversión y operación hicieron de ellas una tecnología asequible para los países en vías de desarrollo. Sin embargo, una gran desventaja fueron sus bajas eficiencias ante la remoción de contaminantes, debidas en parte a los diseños empíricos. Por otro lado, las lagunas

construidas no sólo cumplen el propósito de depurar agua, sino también son hábitats para animales y aves, o pueden ser utilizadas para actividades recreativas (Phuntsho et al., 2018 y Paz, 1966).

Los sistemas de tratamiento de lagunas de estabilización consisten en una serie de lagunas del tipo anaerobia, facultativa y de maduración. Asimismo, pueden ser varias series de lagunas en paralelo para aumentar el gasto tratado. Las lagunas anaerobias y facultativas son principalmente diseñadas para la remoción de DBO y las lagunas de maduración son diseñadas para la remoción de patógenos (Mara and Pearson, 1998).

En muchos casos las lagunas anaerobias y facultativas pueden ser suficientes para el tratamiento del agua, sin embargo, la calidad del agua depende de su reúso, por lo que es necesario considerar lagunas de maduración. En general, las lagunas de maduración son requeridas solamente cuando el agua tratada es usada para riego restringido, y por lo tanto debe cumplir con los valores de referencias de la OMS, esto es, menos de 1000 coliformes fecales por cada 100 mL de agua (Mara and Pearson, 1998).

Por otra parte, existen problemas de olor asociados a las lagunas anaerobias, sin embargo, su inclusión al sistema de tratamiento reduce sustancialmente el área de terreno requerida por una laguna facultativa. Los problemas de olor pueden ser reducidos si se toman en consideración durante la etapa de diseño (Phuntsho et al., 2018).

Además de la simplicidad del diseño y el bajo costo económico tanto en construcción y mantenimiento, las lagunas de estabilización presentan las ventajas de producir poca cantidad de lodos, son capaces de amortiguar altos valores de DBO, y requerir menor energía eléctrica a comparación de los tratamientos convencionales. Por otro lado, además de los problemas de olor, sus desventajas son requerir grandes áreas de terreno, moscos e insectos que pueden ser generados si la vegetación no es controlada, acumular grandes cantidades de lodos en lugares donde el clima es frío, y es difícil controlar o predecir los niveles de amoníaco en su efluente (Phuntsho et al., 2018 y US EPA, 2002).

### **1.3 Objetivo del desarrollo sostenible 6: Agua limpia y Saneamiento**

En el año 2000, los países miembros de las Naciones Unidas suscribieron la Declaración del Milenio, que condujo a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). En esencia dichos objetivos buscaban mejorar la calidad de vida de la población mundial y en particular de los países en vías de desarrollo, asimismo proteger el planeta. Para ello definieron 8 objetivos. Entre ellos se encontraba el objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, y en él, la meta 7.C. Dicha meta a nivel global buscaba reducir a la mitad, para 2015 la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento respecto a 1990. De acuerdo al Informe 25 años, Progresos en materia de saneamiento y agua potable, realizado por UNICEF y la OMS, la



meta de agua potable se cumplió, pero la de saneamiento no.

La meta a nivel país de los ODM era similar, ésta era reducir a la mitad la proporción de la población sin acceso a agua potable y sin acceso a saneamiento mejorado. De acuerdo a los datos de UNIFEC y OMS ([Tabla 1-1](#)), México cumplió la meta. Cabe mencionar que el porcentaje reportado por CONAGUA de saneamiento básico o cobertura de alcantarillado (91.4%) fue mayor al reportado por UNICEF y OMS (85%). Esto se debe a que CONAGUA consideró cualquier conexión a un sistema de alcantarillado, sin importar en qué condiciones se encontrara, mientras tanto la definición de saneamiento de UNICEF y OMS fue más estricta, dado que una conexión al alcantarillado no bastó, sino que esta debía estar en condiciones dignas para las personas. Sin embargo, en ninguna de las definiciones de saneamiento se toma en cuenta el tratamiento del agua residual.

**Tabla 1-1.** Progreso en saneamiento y agua potable para México de 1990 a 2015.

País	Año	Uso de fuentes de agua potable	Uso de instalaciones de saneamiento
		(porcentaje de la población)	
México	1990	82%	66%
	2015	96%	85%

Fuente UNICEF y OMS.

Dado que el plazo de los ODM expiró en 2015, para ese año en la Cumbre del Desarrollo Sostenible organizada por las Naciones Unidas, se aprobó la Agenda 2030. Dicha agenda contiene 17 objetivos de aplicación universal. Estos fueron llamados los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y son herederos de los ODM. Los ODS buscan conservar y expandir los triunfos alcanzados por los ODM, además de lograr aquellas metas que no fueron conseguidas.

En particular el objetivo número 6 llamado “Agua limpia y saneamiento para todos”, busca cumplir las siguientes metas para el año 2030:

- Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de agua residual sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.



- Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de agua residual, reciclado y tecnologías de reutilización.
- Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Como se puede observar, las nuevas metas del objetivo 6 plantean una gestión integral del agua e implícitamente el tratamiento del agua residual. Por lo que el reúso del agua será de vital importancia para cumplir dicho objetivo.

#### **1.4 Regiones Hidrológico-Administrativas**

La CONAGUA, órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones por medio de 13 organismos de cuenca, cuyo ámbito de competencia son las Regiones Hidrológico-Administrativas. Las 13 regiones están formadas por agrupaciones de cuencas, y los límites de las RHA respetan la división municipal para facilitar la integración de la información socioeconómica (véase [Figura 1-6](#)).



**Figura 1-6.** División territorial de RHA.

Fuente: CONAGUA.

Como se puede apreciar en la [Tabla 1-2](#) se presentan variaciones importantes entre las características de las regiones. Por un lado, las RHA V, X, XI y XII, ubicadas en el sureste del país ([Figura 1-6](#)) poseen dos terceras partes de agua renovable en el país, y un quinto de la población del país que aporta una quinta parte del PIB nacional. Por contraste, las regiones del norte, centro y noroeste cuentan con una tercera parte del agua renovable en el país, y cuatro quintas partes de la población que aportan cuatro quintas partes PIB nacional. Respecto al agua renovable per cápita, la disponible en las regiones del sureste es siete veces mayor que la disponible en el resto de las RHA del país.

**Tabla 1-2.** Características Socio-Económicas de las 13 RHA.

Nombre RHA	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Agua renovable [hm <sup>3</sup> /año]	Agua renovable per cápita [m <sup>3</sup> /hab/año]	Población* [mill. hab.]	Aportación al PIB nacional 2013 [%]	Número de municipios
I Península de Baja California	154,279	4,958	1,135	4.37	4%	11
II Noroeste	196,326	8,273	2,951	2.8	3%	78
III Pacífico Norte	152,007	25,596	5,730	4.47	3%	51
IV Balsas	116,439	22,156	1,896	11.69	6%	420
V Pacífico Sur	82,775	30,565	6,084	5.02	2%	378
VI Río Bravo	390,440	12,316	1,014	12.15	14%	144
VII Cuencas Centrales del Norte	187,621	7,849	1,738	4.52	4%	78
VIII Lerma Santiago Pacífico	192,722	35,093	1,469	23.89	18%	332
IX Golfo Norte	127,064	28,085	5,366	5.23	2%	148
X Golfo Centro	102,354	95,129	9,075	10.48	6%	432
XI Frontera Sur	99,094	144,459	19,078	7.57	5%	137
XII Península de Yucatán	139,897	29,324	6,494	4.52	8%	127
XIII Aguas del Valle de México	18,229	3,458	150	23.01	25%	121
<b>Total</b>	<b>1,959,247</b>	<b>447,261</b>	<b>3,736</b>	<b>119.72</b>	<b>100%</b>	<b>2,457</b>

\* a mediados de año 2014

Fuente: CONAGUA, CONAPO e INEGI 2015 e INEGI 2008.

## 1.5 Marco legal

### 1.5.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

México desde el punto de vista constitucional, es una Federación constituida por las entidades federativas y la Ciudad de México. Asimismo, las entidades federativas son autónomas para organizar su régimen interno. Y dentro de ellas, existe la estructura político administrativa fundamental que es el Municipio. De esta forma se configuran las tres esferas de competencia: la federal, la estatal y la municipal (Acosta Romero, 2018). En un principio, el artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos estipula que “*Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar*” Además de, “*El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley*”.

Adicionalmente, el artículo 4 también estipula que “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”. Para lograr lo anterior el artículo 115 menciona que los municipios tendrán a su cargo las funciones de los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de su agua residual. Sin embargo, en México la evaluación del desempeño de los municipios ha sido un objetivo con pocos logros y resultados. A pesar de que han existido esfuerzos para implementar la medición de desempeño del municipio, la poca información sistemática y ordenada a nivel municipal ha obstaculizado dichos esfuerzos (Olivera y Cano, 2012).

### 1.5.2 Ley de aguas nacionales

Entiéndase como aguas nacionales a las aguas propiedad de la Nación. La Ley de Aguas Nacionales tiene por objetivos: regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control; así como la preservación de su cantidad y calidad. En el artículo 9 de ésta ley se estipula que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

La CONAGUA tiene por objetivo ejercer las atribuciones que le corresponden a la autoridad en materia hídrica y constituirse como el Órgano Superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico. Asimismo, la CONAGUA ejercerá sus atribuciones a nivel nacional y a nivel Regional Hidrológico-Administrativo, a través de sus Organismos de Cuenca.

Algunas de las atribuciones de la CONAGUA son:

- Fomentar y apoyar los servicios públicos urbanos y rurales de agua potable, alcantarillado, saneamiento, recirculación y reúso en el territorio nacional, para lo cual se coordinará en lo conducente con los Gobiernos de los estados, y a través de éstos, con los municipios. Esto no afectará las disposiciones, facultades y responsabilidades municipales y estatales, en la coordinación y prestación de los servicios referidos.
- Fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; los de saneamiento, tratamiento y reúso de aguas; los de riego o drenaje y los de control de avenidas y protección contra inundaciones.
- Regular los servicios de riego en distritos y unidades de riego en el territorio nacional, e integrar, con el concurso de sus Organismos de Cuenca, los censos de infraestructura, los volúmenes entregados y aprovechados, así como los padrones de usuarios, el estado que guarda la infraestructura y los servicios.

- Promover en el ámbito nacional el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar el desarrollo de una cultura del agua que considere a este elemento como recurso vital, escaso y de alto valor económico, social y ambiental, y que contribuya a lograr la gestión integrada de los recursos hídricos.

### 1.5.3 Normas de descarga del efluente de las PTAR

En México, tres Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001, 002 y 003) son responsables de regular la calidad del agua del efluente de las PTARs para su reúso o disposición final, por medio de establecer límites permisibles para contaminantes básicos y biológicos. Los contaminantes básicos son definidos por las NOMs como compuestos o parámetros que pueden ser removidos por procesos convencionales, como Lodos activados, Filtros percoladores, Lagunas de estabilización, etc. Los contaminantes básicos considerados en estas NOMs son: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno 5 (DBO<sub>5</sub>), nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitritos y de nitratos), fósforo total, temperatura y pH. Adicionalmente, las NOMs definen a los contaminantes biológicos como microorganismos en el agua residual que puedan ser un riesgo para la salud humana, flora y fauna. Estas normas solo consideran coliformes fecales y huevos de helminto como contaminantes biológicos.

De la misma forma dichas normas definen como muestra simple a aquella que sea tomada de manera puntual y en forma continua en un día ordinario de operación durante el tiempo suficiente para completar al menos, el volumen suficiente para realizar los análisis necesarios para conocer su composición. El volumen de una muestra simple está en función del gasto medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, y del volumen de la muestra compuesta. Cabe mencionar que el volumen de la muestra compuesta debe ser suficiente para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos. Para calcular el volumen de una muestra simple se utiliza la Ecuación 1.

$$VMS_i = VMC * (Q_i/Q_T) \dots \text{Ecuación 1}$$

*Donde:*

*VMS<sub>i</sub>: Volumen de cada una de las muestras simples i, en litros.*

*VMC: Volumen de la muestra compuesta, en litros.*

*Q<sub>i</sub>: Caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, en litros por segundo.*

*Q<sub>T</sub>: Suma de todos los caudales Q<sub>i</sub>, en litros por segundo.*

Una muestra compuesta es la mezcla de las muestras simples. El número de muestras simples por día o frecuencia de muestreo se determina de acuerdo a la [Tabla 1-3](#). Como se observó en la Ecuación 1, el volumen de cada muestra simple es proporcional a caudal de descarga en el momento que se tomó.

**Tabla 1-3.** Frecuencia de muestreo.

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		mínimo	máximo
<4	mínimo 2	N.E.	N.E.
4-8	4	1	2
8-12	4	2	3
12-18	6	2	3
18-24	6	3	4

N.E. No especificado

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996.

Asimismo, dichas normas definen como promedio diario (P.D.) al valor resultante del análisis de una muestra compuesta para cada parámetro, excepto para determinar coliformes fecales y la concentración de grasas y aceites. Para determinar el valor de coliformes fecales se calcula la media geométrica de los valores que resulten en cada muestra simple que conforman la muestra compuesta. Para determinar el promedio diario de grasas y aceites se calcula el promedio ponderado en función del caudal de cada muestra simple. Cabe mencionar que los valores de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples. Además, dichas normas definen como promedio mensual (P.M.) al valor resultante del promedio ponderado respecto al caudal, de al menos dos muestras compuestas en un mes.

### 1.5.3.1 NOM-001-SEMARNAT-1996

La NOM-001-SEMARNAT-1996 regula la calidad del agua tratada para descargas a aguas y bienes nacionales, éstos son: ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras y suelo. El objetivo de esta norma es proteger dichos cuerpos de agua. De acuerdo al reúso final esta norma establece los límites máximos permisibles de los contaminantes básicos, dichos límites se pueden ver en la [Tabla 1-4](#) excepto el rango de pH. De acuerdo a ésta norma el rango permisible de pH es entre 10 y 5 unidades en los cuerpos receptores o reúsos mencionados en la [Tabla 1-4](#). Asimismo, dicha norma establece límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros ([Tabla 1-5](#)).

Respecto a los contaminantes biológicos, el límite máximo permisible de Coliformes fecales es 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) por cada 100 [mL] para el

promedio mensual y promedio diario, respectivamente. Dichos valores aplican para descargas en aguas y bienes nacionales, y reúso en riego agrícola. El límite máximo permisible de huevos de helminto es 1 huevo de helminto y 5 huevos de helminto por cada litro para riego restringido y riego no restringido, respectivamente. El riego no restringido se define como el reúso del agua para siembra, cultivo y cosecha de cualquier tipo de producto agrícola. El riego restringido es el reúso del agua para siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto aquellos que se consuman crudos y legumbres. Esta es la razón por la cual el número de huevos de helminto debe ser menor en el riego restringido a comparación del riego no restringido, de no ser así, el reúso del agua para irrigación podría ser un riesgo a la salud. Por ejemplo, estudios han mostrado que el riego con agua residual sin tratar en el Valle del Mezquital ha traído como consecuencia una mayor prevalencia de infecciones intestinales en grupos de personas expuestos a dicha agua, a comparación de los que no están expuestos (Cifuentes et al., 1994).



**Tabla 1-4.** Límites máximos permisibles de contaminantes básicos para descargas en aguas y bienes nacionales.

Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos				Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras				Suelo									
	Uso en riego agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.		
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40	
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente				ausente				ausente				ausente									
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	150	200	75	125	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	150	200	75	150	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996.



**Tabla 1-5.** Límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros para descargas en aguas y bienes naciones.

Parámetros (*) (miligramos por litro)	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras						Suelo			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	1	3	1	2	1	2	2	3	1	2	1	1	1	3	1	2	2	3	1	2
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(\*) Medidos de manera total.

P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996.

### 1.5.3.2 NOM-002-SEMARNAT-1996

La NOM-002-SEMARNAT-1996 regula la calidad del agua tratada para descargas a los Sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Se entiende como Sistema de alcantarillado al conjunto de obras de infraestructura que permiten la conducción, tratamiento y descarga del agua residual. El objetivo de dicha norma además de prevenir y controlar la contaminación en aguas y bienes nacionales, es proteger la infraestructura de los sistemas de alcantarillado. Los contaminantes considerados en esta norma son: Grasas y aceites, Sólidos sedimentables, Arsénico total, Cadmio total, Cianuro total, Cobre total, Cromo hexavalente, Mercurio total, Níquel total, Plomo total y Zinc total. Los límites máximos permisibles se pueden observar en la [Tabla 1-6](#). En el caso de grasas y aceites se debe considerar un promedio ponderado en función del caudal de descarga en cada muestra simple.

**Tabla 1-6.** Límites máximos permisibles de contaminantes para descargas en los sistemas de alcantarillado.

Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual

Fuente: NOM-002-SEMARNAT-1996.

De acuerdo a esta norma el rango permisible de pH es de 10 y 5.5 unidades y el límite máximo de la temperatura es de 40°C, ambos parámetros medidos en forma instantánea en cada una de las muestras simples. Cabe mencionar que se puede descargar agua residual con mayor temperatura, siempre y cuando se demuestre con un estudio respaldado a la autoridad competente que dicha descarga no daña al sistema de alcantarillado. Adicionalmente, los límites máximos permisibles de DBO<sub>5</sub> y SST para descargas en sistemas de alcantarillado, están en función del cuerpo receptor final, por lo que dichos límites se deben apegar a la NOM-001-SEMARNAT-1996 ([Tabla 1-4](#)). Finalmente, la

materia flotante debe estar ausente en todas las muestras simples.

Cabe mencionar que si el agua de abastecimiento contiene concentraciones de uno o varios de los parámetros considerados en ésta norma ([Tabla 1-6](#)), la suma de esta concentración al límite máximo permisible correspondiente, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo demuestre y notifique por escrito a la autoridad competente.

### 1.5.3.3 NOM-003-SEMARNAT-1997

La NOM-003-SEMARNAT-1997 regula la calidad del agua tratada para reúso en servicios públicos. El objetivo de dicha norma además de proteger el medio ambiente es disminuir los riesgos a la salud pública. Cabe señalar que cuando el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de dicha norma.

Esta norma clasifica el reúso del agua en: servicios públicos con contacto directo y servicios públicos con contacto indirecto u ocasional. La primera clasificación sucede cuando el público usuario está expuesto directamente o en contacto físico con el agua tratada, esta norma solo considera los siguientes reúsos para esta clasificación: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí, fuentes de ornato, lavado de vehículos, y riego de parques y jardines. Respecto a los servicios públicos con contacto indirecto u ocasional se refiere al reúso del agua que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y cuyo acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Esta norma solo considera los siguientes reúsos para esta clasificación: 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.

Esta norma sólo considera como contaminantes a los coliformes fecales, Huevos de helminto, Grasas y aceites, DBO<sub>5</sub>, y SST. Los límites máximos permisibles para dichos contaminantes se pueden ver en la [Tabla 1-7](#). En todos los casos de reúso la materia flotante deberá estar ausente. Respecto a los metales pesados y cianuros, deberán estar por debajo de los límites permisibles correspondientes a la columna de embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la [Tabla 1-5](#) de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

**Tabla 1-7.** Límites máximos permisibles de contaminantes del agua tratada para reúso al público.

Tipo de reúso	Coliformes fecales [NMP/100mL]	Huevos de helminto [huevos/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

Dichos valores se determinan a partir de un promedio mensual.

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997.

## 2 Infraestructura de PTARs

### 2.1 Número y distribución a través del país de las PTAR

Para 2015, México tenía 2,477 PTARs en sus 32 entidades federativas, las cuales están distribuidas de manera diversa. Como se muestra en el mapa de la [Figura 2-1](#), los estados con mayor número de PTARs son Sinaloa y Durango con 256 y 208 PTARs respectivamente. Asimismo cinco entidades federativas tienen más de cien PTARs, las cuales son: Estado de México, Chihuahua, Jalisco, Aguascalientes y Veracruz de Ignacio de la Llave con 180, 179, 142, 134 y 118 PTARs respectivamente. Por otro lado, se puede observar que 4 Entidades Federativas tienen menos de 30 PTARs, éstas son: la Ciudad de México, Baja California Sur, Yucatán, Campeche y Coahuila de Zaragoza con 29, 28, 26, 22 y 21 PTARs respectivamente. En general, se observa una tendencia de mayor infraestructura para el tratamiento del agua residual en el Norte del país a comparación del Sur.



**Figura 2-1.** Distribución de PTARs por entidad federativa en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

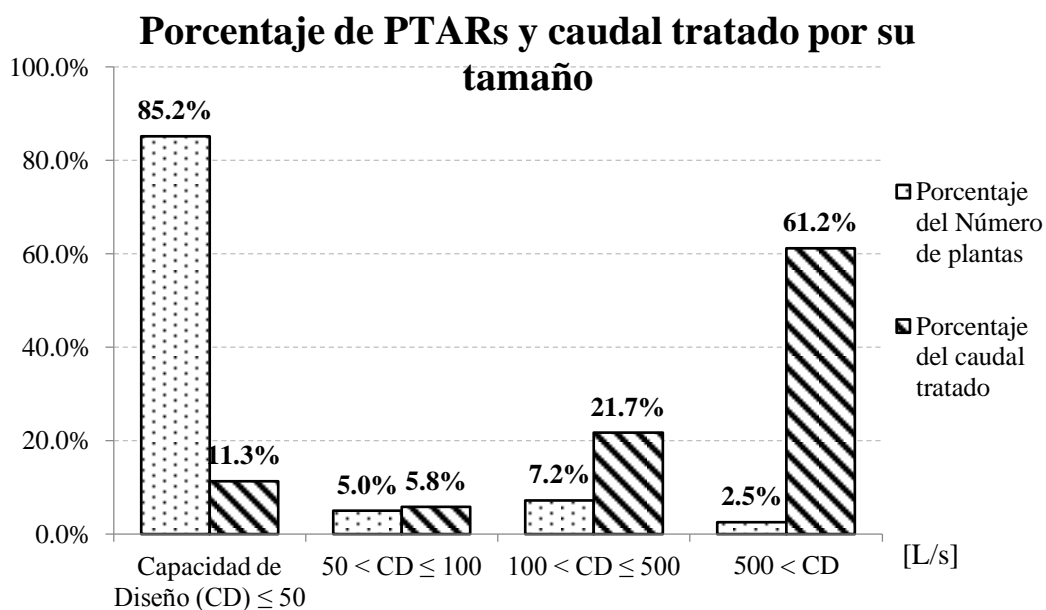
## 2.2 Tamaño de las PTAR

Para 2015, de las 2,477 PTARs en operación, 2,111 son de tamaño relativamente pequeño, dado que su capacidad de diseño es menor a 50 litros por segundo. Como se puede observar en la gráfica de la [Figura 2-2](#) dichas PTARs abarcan un 85.2% del total de las plantas, sin embargo solo tratan el 11.3% del agua residual a nivel nacional. Por otro lado, la [Tabla 2-1](#) muestra que solo existen 63 plantas de gran tamaño, cuya capacidad de diseño es mayor a 500 litros por segundo y que representan el 2.5% del todas las PTARs, no obstante, trataron el 61.2 % del total de agua residual a nivel nacional.

**Tabla 2-1.** Número de plantas y caudal tratado por su tamaño.

Intervalo [L/s]	Número de plantas (porcentaje del total)	Capacidad de Diseño [m <sup>3</sup> /s] (porcentaje del total)	Caudal tratado [m <sup>3</sup> /s] (porcentaje del total)
Capacidad de Diseño (CD) ≤ 50	2,111 (85.2%)	20.3 (11.4%)	13.6 (11.3%)
50 < CD ≤ 100	124 (5.0%)	9.7 (5.5%)	7.0 (5.8%)
100 < CD ≤ 500	179 (7.2%)	39.6 (22.2%)	26.2 (21.7%)
500 < CD	63 (2.5%)	108.4 (60.9%)	74.0 (61.2%)
Total	2,477	178.0	120.9

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.



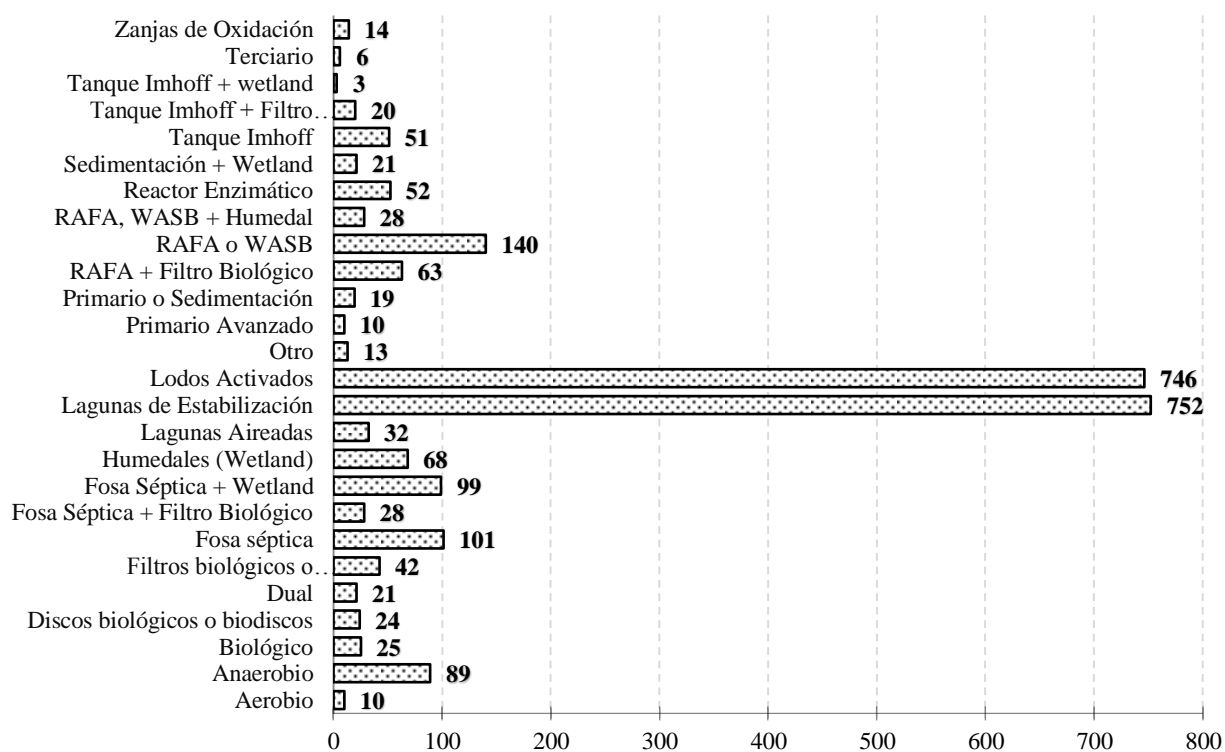
**Figura 2-2.** Porcentaje del número de plantas y caudal tratado por su tamaño.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

### 2.3 Procesos utilizados en las PTAR

CONAGUA considera 26 tipos de proceso o combinaciones de proceso para el tratamiento de agua residual, los cuales se muestran en la [Figura 2-3](#). Lodos activados y Lagunas de estabilización son los procesos más utilizados en las plantas en México, con 746 y 752 PTARs respectivamente. Lo que significa un 61.7% de la infraestructura existente. Sin embargo, con el proceso de Lodos activados se trató 67.1 [m<sup>3</sup>/s] y con Lagunas (considerando de estabilización y aireadas) 21.4 [m<sup>3</sup>/s] lo que representa el 55% y 17.7% del gasto total respectivamente ([Tabla 2-2](#)).

#### Número de plantas por tipo de proceso



**Figura 2-3.** Procesos de tratamiento de agua residual.

Fuente: CONAGUA.

En la [Figura 2-3](#) se observa que CONAGUA considera 101 plantas que utilizan el proceso de fosa séptica, 28 que lo utilizan con el complemento de un filtro biológico y 99 con un humedal Wetland, no obstante, el proceso de fosa séptica es un tratamiento primario cuya calidad del efluente es inferior a la de tratamientos aerobios. Asimismo se puede observar que los discos biológicos o biodiscos son una tecnología que aún no se expande en el país pues solo existen 24 plantas que la utilizan. Por otra parte, el tratamiento anaerobio también se clasifica en Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) y existen PTARs

que utilizan un proceso adicional al anaerobio como un humedal o un filtro biológico. El proceso anaerobio está presente en el 12.9% de las plantas existentes con 320 PTARs que lo utilizan solo o en combinación a otro proceso, sin embargo solo trataron 2.9 [m<sup>3</sup>/s] que representó el 2.4% del total ([Tabla 2-2](#)).

La [Tabla 2-2](#) muestra un resumen de los 26 procesos o combinaciones de éstos que presenta la CONAGUA en su inventario. En dicha tabla se agruparon las PTARs de la siguiente manera: Lagunas aireadas y Lagunas de estabilización en un mismo grupo por compartir características similares; los procesos que involucraban un tratamiento anaerobio se agruparon en otro; respecto al tratamiento dual, a pesar de que solo son 21 plantas y representan solo el 0.8% del total, su caudal tratado es representativo porque es el 17.7% del total, por lo que se dejaron en un grupo; lo mismo para lodos activados y filtros percoladores, cuyo caudal es representativo; y las plantas restantes cuyo caudal individual no es representativo se agrupó en otros.

**Tabla 2-2.** Capacidad de diseño y Caudal tratado de PTARs por proceso.

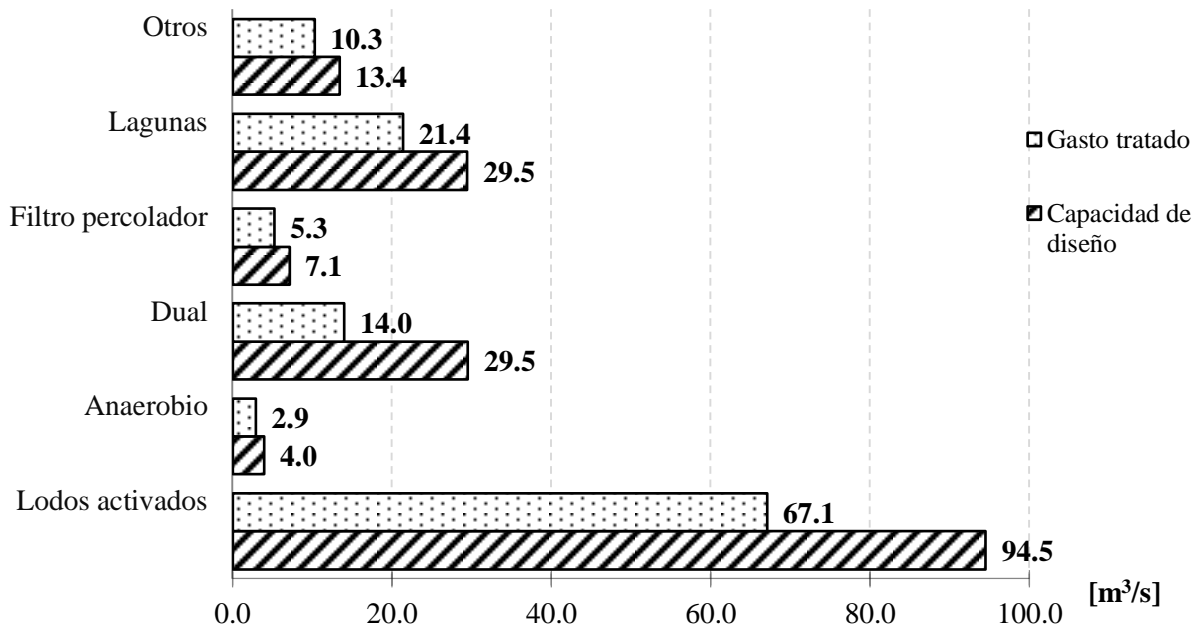
Proceso	No. de plantas (porcentaje del total)	Capacidad de Diseño [m <sup>3</sup> /s] (porcentaje del total)	Caudal tratado [m <sup>3</sup> /s] (porcentaje del total)
Lodos activados	746 (30.1%)	94.5 (53.1%)	67.1 (55.5%)
Anaerobio	320 (12.9%)	4.0 (2.2%)	2.9 (2.4%)
Dual	21 (0.8%)	29.5 (16.6%)	14.0 (11.6%)
Filtro percolador	42 (1.7%)	7.1 (4.0%)	5.3 (4.4%)
Lagunas	784 (31.7%)	29.5 (16.5%)	21.4 (17.7%)
Otros	564 (22.8%)	13.4 (7.5%)	10.3 (8.5%)
Total	2,477	178.0	120.9

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

Como se observa en la [Figura 2-4](#) en todos los tipos de proceso existe una brecha entre la capacidad de diseño de sus plantas y el caudal tratado. Las principales razones por la cual las plantas trabajan debajo de su capacidad de diseño son la falta de mantenimiento de las mismas y la ausencia de personal capacitado. Lodos activados además de ser el proceso en tratar mayor cantidad de agua, es el proceso que mayor infraestructura posee para el tratamiento de agua, por lo que su brecha es la mayor, en otras palabras, lodos activados es el proceso que posee mayor infraestructura sin utilizar.



### Capacidad de diseño y gasto tratado por tipo de proceso [m<sup>3</sup>/s]

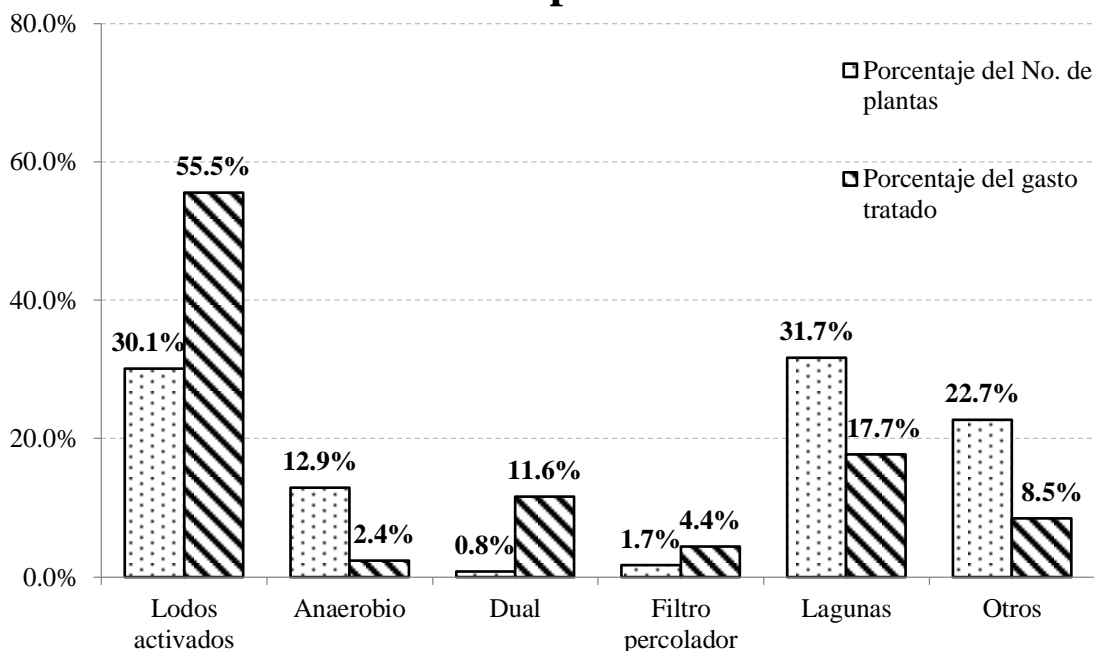


**Figura 2-4.** Capacidad de diseño y Caudal tratado de PTARs por proceso.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

Como se mencionó anteriormente, a pesar de que lagunas (aireadas o de estabilización) poseen el mayor número de plantas, 784 PTARs que representan el 31.7% del total, no significa que sea el proceso que mayor gasto trate, dado que trata solo el 17.7% del total. Esto se debe principalmente a que dicho proceso requiere de grandes extensiones de terreno y su tiempo de retención es grande por lo que su caudal a tratar está limitado. Asimismo se observa en la [Figura 2-5](#) que después de lagunas, lodos activados es el proceso que mayor infraestructura tiene con el 30.1% del total y es el proceso que mayor gasto trata con el 55.5% del total. Por otro lado, a pesar de se utilice tratamiento anaerobio en el 12.9% de las PTARs en operación, éstas solo tratan el 2.4% del total, además se observa en la [Figura 2-4](#) que es poca la infraestructura existente que utiliza tratamiento anaerobio, sin embargo se utiliza gran parte de ella. Con lo anterior se deduce que las PTARs que utilizan tratamiento anaerobio son pequeñas, es decir PTARs de poca capacidad.

## Número de plantas y caudal tratado por tipo de proceso



**Figura 2-5.** Porcentaje del número de PTARs y caudal tratado por tipo de proceso.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

De acuerdo a la clasificación de procesos de CONAGUA en el inventario, existen 21 PTARs que utilizan tratamiento dual, el 0.8% del total, sin embargo dichas PTARs tratan  $14.0 \text{ [m}^3\text{/s]}$  que representan el 11.6% del total ([Figura 2-5](#)). Con tratamiento dual se refiere a que utilizan dos tipos de tratamientos. Entre ellas, la capacidad de diseño de 6 PTARs es mayor a  $500 \text{ [L/s]}$  y destaca la PTAR de Atotonilco de Tula en el estado de Hidalgo, con una capacidad de diseño de  $23,000 \text{ [L/s]}$ . No obstante, para 2015 la PTAR de Atotonilco de Tula trató  $9,000 \text{ [L/s]}$ , lo que significó el 7.4% del total tratado en el país (CONAGUA, 2015). Los tratamientos utilizados en dicha planta son lodos activados y primario avanzado (coagulación-floculación-sedimentación), el primero utilizado en época de estiaje y el segundo utilizado como complemento al incremento de gasto en época de lluvias (CONAGUA y SEMARNAT, 2012).

### 3 Diagnóstico del reúso o disposición final del agua tratada en México

Respecto a México, CONAGUA brinda el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Tratamiento de Agua Residual y en dicho inventario se indica cantidad de agua tratada y la disposición final en cada PTAR. Sin embargo, no todas las PTARs reportan la disposición final o reúso del agua tratada y de otras la información del cuerpo receptor o reúso es insuficiente o ambigua. Adicionalmente, en dicho inventario no existe una clasificación de la disposición final o reúso del agua residual tratada respecto a las normas de descarga.

Lo que se realizó en esta tesina fue la clasificación de la disposición final y tipos de reúso del agua residual tratada de acuerdo con la información proporcionada por el Inventario de CONAGUA. La clasificación se realizó a nivel nacional y por cada Región Hidrológico-Administrativa. No obstante, para poder realizar esta clasificación en cada RHA fue necesario saber qué municipios pertenecen a cada RHA. Esta información no la proporciona el Inventario, por lo que se consultó el documento “Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca” publicado en el Diario Oficial de la Federación en 2010. Sin embargo, no todos los nombres de los municipios coinciden en ambos documentos, por lo que se presentó un problema de información no homologada. Este problema se tuvo que resolver para poder brindar el Diagnóstico del reúso o disposición final del agua tratada a nivel nacional y regional.

#### 3.1 Metodología: homogenización de la información y clasificación de las PTARs

##### 3.1.1 Homogenización de la información de los nombres de los municipios

De acuerdo al Artículo 154, sección II de la Ley de Aguas Nacionales CONAGUA es la responsable de publicar anualmente el Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Donde se incluye la siguiente información por Planta:

- Nombre de la planta
- Ubicación (Estado, Municipio y Localidad)
- Tipo de Proceso
- Capacidad instalada
- Caudal tratado
- Tipo de reúso o nombre del cuerpo receptor disposición final

Por otro lado, dicho inventario también brinda un resumen por cada Entidad federativa, donde presenta los siguientes datos para cada entidad:

- Número de plantas

- Capacidad instalada
- Caudal tratado

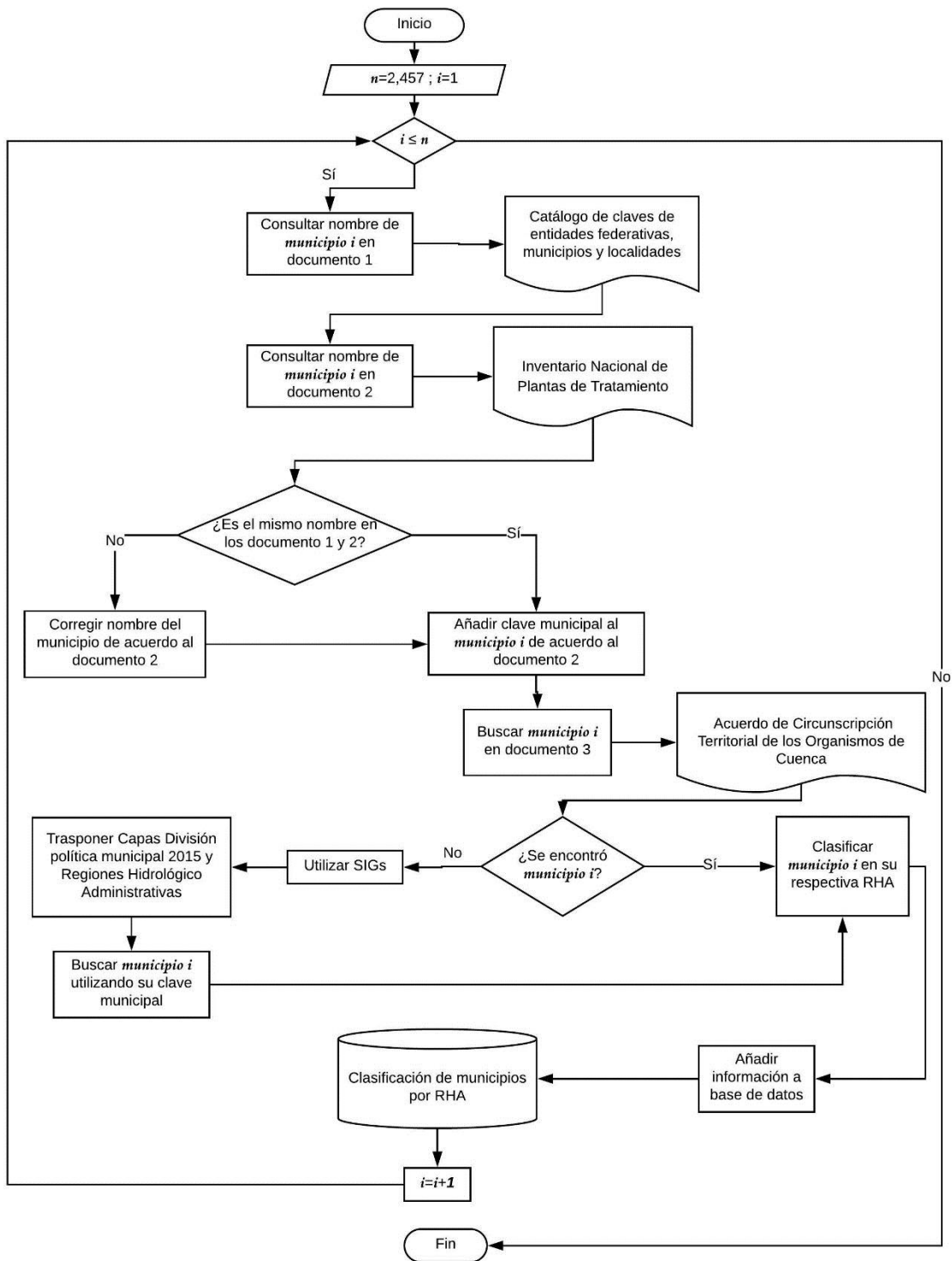
Asimismo, para cada entidad federativa el inventario brinda el número de plantas por proceso y su respectivo gasto tratado. Por último, este documento brinda un resumen por cada RHA y Entidad federativa, donde se indica cuántas plantas existen en determinada Entidad y su respectivo caudal tratado. Sin embargo, a pesar de toda la información mencionada, en el inventario no se indica qué municipios pertenecen a cada RHA y por lo tanto no brinda información íntegra de cada RHA.

Para conocer los municipios pertenecientes a cada RHA se consultó el documento “Acuerdo de Circunscripción Territorial de los organismos de cuenca” donde se encontró que el nombre de algunos municipios es distinto al reportado por el Inventario Nacional de Plantas Tratamiento. Por lo que se presenta un problema de información no homologada. Es decir, pesar de que ambos documentos son oficiales, y por consiguiente su información es oficial, ésta no es la misma. Para poder brindar un diagnóstico respecto al tratamiento y reúso de agua residual de cada RHA, se debió homologar la información.

Para homologar la información se realizó lo siguiente para cada uno de los 2,457 municipios. Se consultó su clave y nombre en el documento “Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades” (Documento 1) proporcionado por INEGI. Posteriormente, se buscó el mismo municipio en el Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (Documento 2) proporcionado por CONAGUA. Si era el mismo nombre de municipio en ambos documentos se añadía la clave municipal al municipio, de no ser así se corregía el nombre. Posteriormente, se buscó el mismo municipio en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca (Documento 3) publicado en el Diario Oficial de la Federación en 2010<sup>1</sup>. Subsiguientemente, se clasificó en su respectiva RHA al municipio, de no aparecer el municipio en este último documento, se utilizaron Sistemas de Información Geográfica para localizar el municipio y su respectiva RHA. Finalmente, se añade la información a una base de datos, la cual es similar a la proporcionada por el Inventario de CONAGUA, con la diferencia de que el nombre del municipio fue corregido (de ser necesario) y se añade la columna de clave municipal y de RHA. Este procedimiento puede verse en el diagrama de flujo de la [Figura 3-1](#).

---

<sup>1</sup> Nótese la diferencia de años de ambos documentos, el Inventario nacional de plantas contiene información de 2015 y el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca de 2010, por lo que la información del Diario Oficial de la Federación debe ser actualizada.



**Figura 3-1.** Procedimiento para la clasificación de municipios por RHA y homologación de información.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Clasificación de PTARs de acuerdo a la disposición final o reúso de su influente

En el inventario proporcionado por CONAGUA en la mayoría de los casos las PTARs solo especifican el nombre del cuerpo receptor o tipo de cuerpo receptor (río, laguna, presa, suelo, etc.) donde se descarga el agua tratada procedente de cada PTAR municipal. Sin embargo, este inventario no especifica el posterior reúso del agua tratada. En otros casos, sí se especifica el reúso del agua tratada, pero no especifica el tipo del cuerpo receptor. Dado lo anterior, no se puede tener un panorama íntegro del reúso del agua residual tratada.

Con la información proporcionada por CONAGUA, se realizó la siguiente clasificación del reúso del agua. Para cada PTAR se consultó su columna de reúso, las PTARs cuya columna no contiene información se clasificó en **“Sin información”**. Si el efluente descargó en un río, laguna, presa, lago o el mar, se clasificó dicha PTAR en **“Cuerpos de agua”**. Si el efluente fue utilizado para recarga de acuíferos, infiltración o recarga al subsuelo, se clasificó en **“Recarga de aguas subterráneas”**. Si el efluente es descargado en canales de riego, drenes agrícolas, acequias o utilizado en áreas de riego agrícola se clasificó en **“Reúso en riego agrícola”**. Si el efluente es utilizado en procesos industriales, torres de enfriamiento o incluso generación de energía eléctrica como la PTAR San Luis de la Paz en Guanajuato se clasificó en **“Reúso industrial”**. Si el efluente es destinado a rellenar pipas para su posterior uso urbano se clasificó en **“Reúso público urbano”**.

Adicionalmente, si el efluente es destinado a riego de jardines o campos de golf se clasificó en **“Riego de áreas verdes”**, es importante notar que en dicha clasificación no se incluye el riego para generación de productos agrícolas. Si el efluente se descargó en cualquier parte del sistema de alcantarillado, por ejemplo alcantarillas, colectores o emisores, se clasificó en **“Sistema de alcantarillado”**. Finalmente, cuando la información fue poco clara o ambigua las PTARs se clasificaron en **“Información insuficiente”**. Ejemplo de ello es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales II ubicada en el municipio de Xalapa en Veracruz, cuya PTAR solo se menciona “Azul” en la columna de reúso sin especificar si es un cuerpo de agua, zona de riego, mar, etc. Asimismo, en un gran número de PTARs se menciona que descargan en drenes, sin embargo, no se especifica si dichos drenes forman parte del sistema de alcantarillado o si su posterior uso será para irrigación, urbano, infiltración, etc. Lo anterior se realizó para las 2,477 PTARs reportadas en el inventario y se creó una base de datos que contiene la clasificación del reúso del agua. Dicho procedimiento se puede ver en el diagrama de flujo de la [Figura 3-2](#).

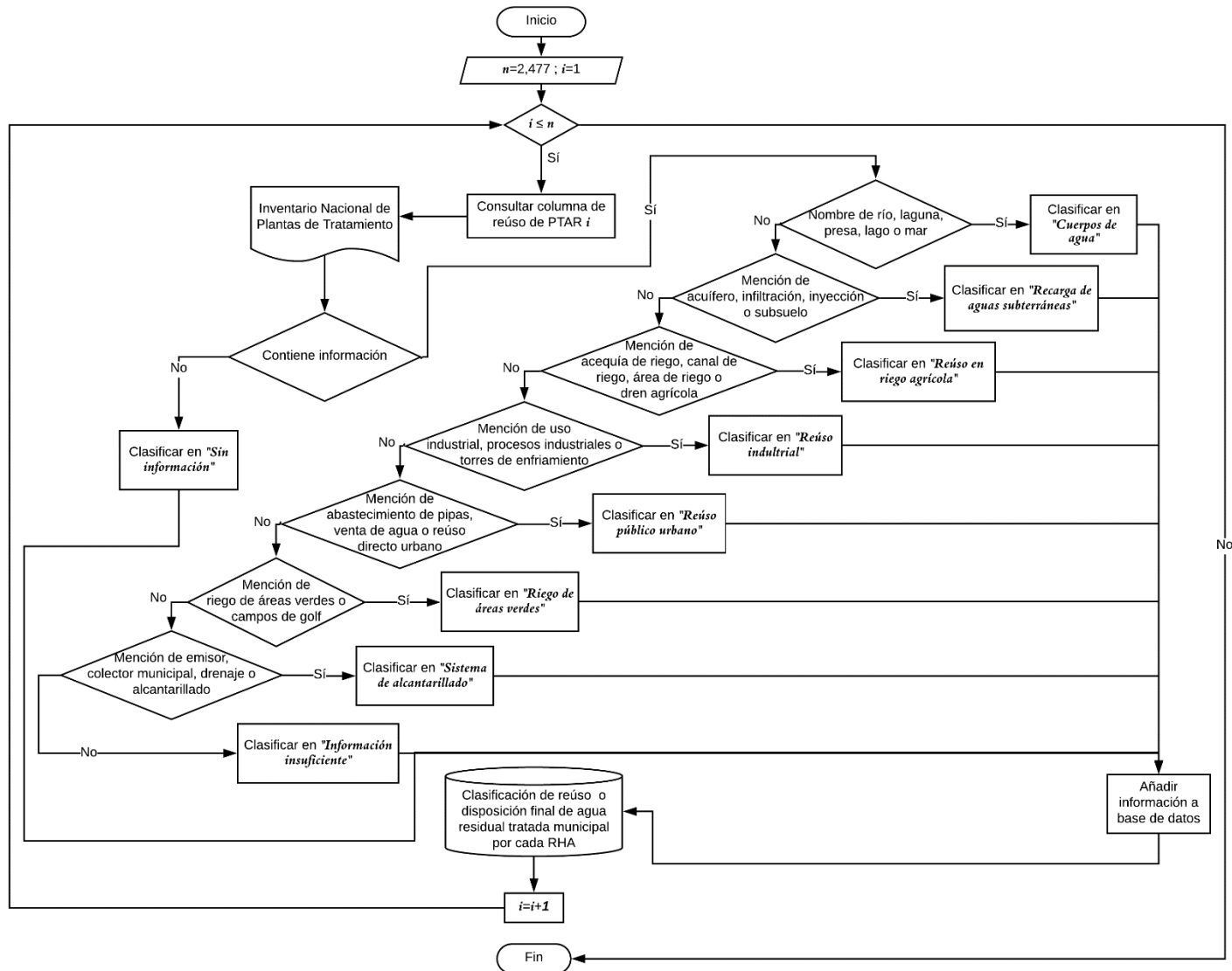


Figura 3-2. Procedimiento de la clasificación del reúso del agua.

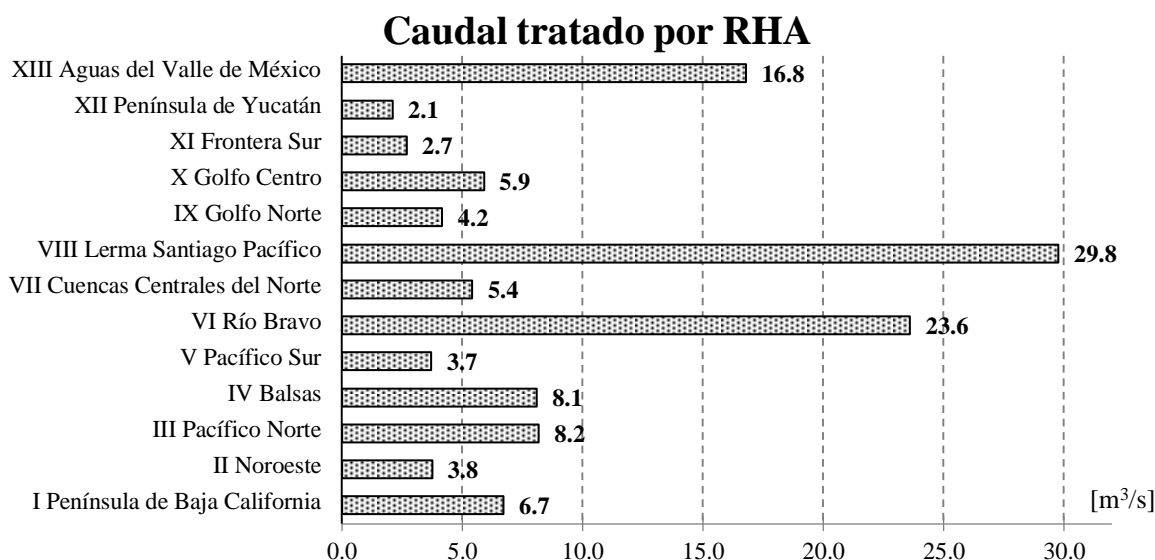
Fuente: Elaboración propia.



## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Tipos de reúso en las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas

Como se puede observar en la [Figura 3-4](#), lo principal que se realizó con el agua residual tratada fue disponerla a un cuerpo de agua, en todas las RHA excepto la RHA XII Península de Yucatán, donde se utilizó el 71% del agua tratada para recargar aguas subterráneas. Sin embargo, su caudal fue muy pequeño a comparación de las otras RHA, dado que trataron 2.1 de los 120.9 [m<sup>3</sup>/s] del total ([Figura 3-3](#)). Asimismo en la [Figura 3-4](#) se puede observar que más de la mitad del caudal tratado en la RHA XIII Aguas del Valle de México fue destinado al riego agrícola, sin embargo, esto no significa que sus 23 PTARs trataron un parte considerable de los 9,206 [L/s] destinados al riego agrícola ([Tabla 3-1](#)), sino que solamente una planta, la PTAR Atotonilco de Tula trató 9,000 [L/s] (CONAGUA, 2015).



**Figura 3-3.** Caudal tratado por RHA.  
Fuente: CONAGUA, 2015.

Por otro lado, la falta de información sigue siendo un problema presente. Como se puede observar en la [Tabla 3-1](#) en todas las RHA existen PTARs que no reportan la disposición final de su efluente o su reúso. Las más representativas respecto al mayor número de PTARs sin información son la RHA XIII Aguas del Valle de México y la RHA VIII Lerma Santiago Pacífico, con 32 y 58 PTARs sin información, respectivamente. Por lo tanto, se desconoce la disposición final de caudales de 639.9 y 1,335 [L/s] respectivamente. Asimismo, en la RHA VI Río Bravo existen 3 PTARs que no dan información respecto a la disposición final de su efluente y cuyo caudal tratado fue de 920.1 [L/s], no obstante, solo la PTAR llamada Principal ubicada en el municipio de Saltillo en el estado de Coahuila trató 900 [L/s] (CONAGUA, 2015). Igualmente, en la [Tabla 3-1](#). Se observa que en la RHA XII Península de Yucatán existen 5 PTARs que no reportan información respecto a la disposición de su caudal y éste asciende a 577 [L/s].



**Tabla 3-1.** Caudal tratado y número de PTARs por RHA de acuerdo a su reúso.

Región Hidrológico-Administrativa	Cuerpos de agua	Recarga de aguas subterráneas	Reúso en riego agrícola	Reúso industrial	Reúso público urbano	Riego de áreas verdes	Sistema de alcantarillado	Información poco clara o ambigua	Sin información
Caudal tratado L/s (Número de PTARs)									
I Península de Baja California	3,480.7 (27)	83.9 (7)	1762.7 (17)			515.8 (14)	3.2 (1)	796.0 (2)	79.6 (3)
II Noroeste	1,819.9 (83)	314.6 (2)	1,190.9 (7)	85.0 (1)		181.2 (4)		59.4 (4)	100.1 (2)
III Pacífico Norte	4,384.5 (239)		203.9 (22)			60.0 (2)	180.7 (14)	3,356.6 (122)	1.2 (1)
IV Balsas	7,011.9 (108)	11.0 (2)	219.9 (14)			19.0 (3)	35.3 (10)	664.4 (67)	134.8 (14)
V Pacífico Sur	2,619.9 (58)	433.0 (7)	4.0 (1)	100.0 (1)		190.0 (6)		26.0 (2)	347.0 (13)
VI Río Bravo	18,741.9 (164)	10.0 (1)	2,016.6 (30)	634.3 (3)	97.0 (3)	118.5 (5)		1,055.6 (18)	920.1 (3)
VII Cuencas Centrales del Norte	1,656.3 (91)	24.9 (7)	1,826.3 (19)	1,440.0 (4)		399.0 (16)		57.7 (7)	18.4 (9)
VIII Lerma Santiago Pacífico	26,298.5 (423)	80.6 (24)	862.5 (27)	13.0 (1)	66.0 (5)	366.5 (15)	50.4 (8)	686.8 (31)	1,335.1 (58)
IX Golfo Norte	3,771.1 (78)	23.0 (3)	135.2 (20)			8.3 (1)		222.3 (5)	12.5 (3)
X Golfo Centro	5,394.5 (107)	54.6 (9)	3.5 (2)					423.4 (31)	27.5 (10)
XI Frontera Sur	2,214.6 (91)	3.5 (1)	12.5 (3)				2.4 (1)	416.5 (17)	38.3 (2)
XII Península de Yucatán	28.8 (5)	1,501.9 (73)				3.1 (1)			577.1 (5)
XIII Aguas del Valle de México	4,135.3 (33)		9,206.3 (23)	673.0 (5)	160.0 (1)	682.3 (27)	1,054.6 (26)	226.6 (10)	639.9 (32)
Caudal tratado total por tipo de reúso [m <sup>3</sup> /s]	81.56	2.54	17.44	2.95	0.32	2.54	1.33	7.99	4.23

Fuente: Creación propia a partir de datos proporcionados por CONAGUA.



Como se puede observar en la [Figura 3-4](#) el agua tratada sigue siendo un recurso sin aprovechar para fines industriales y para servicios públicos urbanos. Solamente en tres regiones existen plantas que destinan su agua para servicios públicos urbanos.

Finalmente, el mapa de la [Figura 3-5](#) muestra un resumen del reúso del agua proveniente de las PTARs a nivel regional. En este mapa se puede observar que las regiones VI Río Bravo y VII Cuencas Centrales del Norte son las que mayor agua residual trataron, y gran porcentaje del caudal tratado fue dispuesto a un cuerpo de agua. Además, se observa que la XII Península de Yucatán a pesar de ser poca el agua que trató a comparación de las otras regiones, gran parte de su agua tratada fue utilizada para recarga a aguas subterráneas.

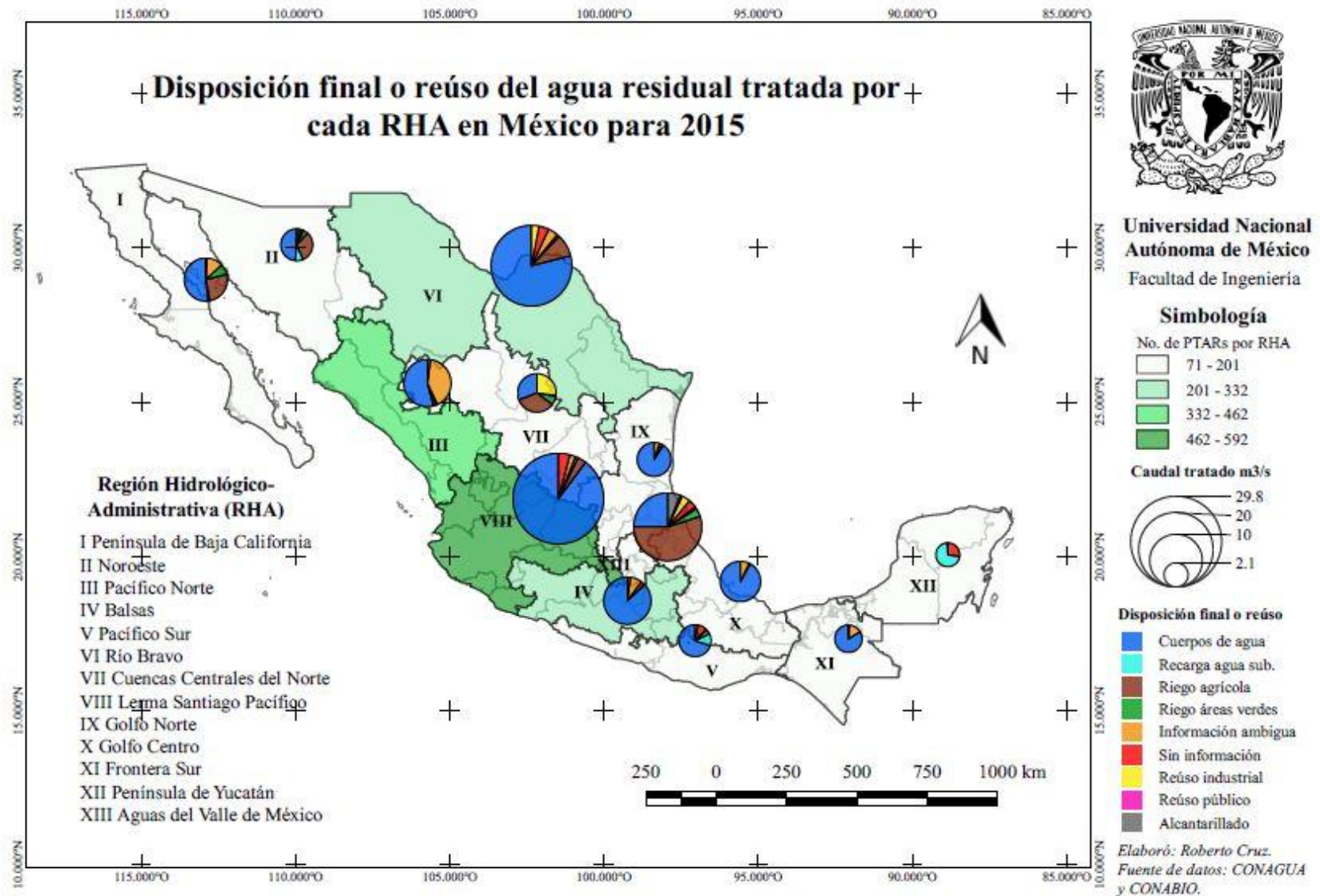


Figura 3-5. Disposición final del agua por cada RHA en 2015.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Tipos de reúso a nivel nacional

Como se puede ver en la [Figura 3-6](#), se estimó que más de la mitad del agua residual tratada fue descargada a un cuerpo de agua (67.5%). Esto significó que un caudal de 81.6 m<sup>3</sup>/s de agua fue dispuesta a ríos, lagos, presas, mar, etc. ([Tabla 3-2](#)). Sin embargo, esto no significa que el propósito de descargar el efluente a cuerpos de agua sea la recuperación del ambiente y la protección de la vida acuática, dado que existen usos del agua posteriores a la descarga. Por ejemplo, en este trabajo se estimó que solamente el 14.4% del agua residual tratada (17.4 m<sup>3</sup>/s) fue utilizada para riego agrícola, sin embargo, datos de Jiménez y Asano en 2008 estimaron que 70,000 hectáreas de cultivo fueron irrigadas con agua residual tratada, que es una cantidad mayor a la estimada en este trabajo. Por lo que se deduce que un porcentaje considerable del agua tratada que es descargada a ríos, lagos o presas es posteriormente utilizada en riego agrícola. Asimismo, el uso posterior del agua que es descargada en bienes nacionales define su calidad de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo que no es suficiente reportar que los efluentes descargan en ríos, lagos, presas, lagunas, mar, etc. Sino que es necesario reportar el posterior reúso del agua para monitorear su calidad así evitar futuros daños a la salud pública y medio ambiente.

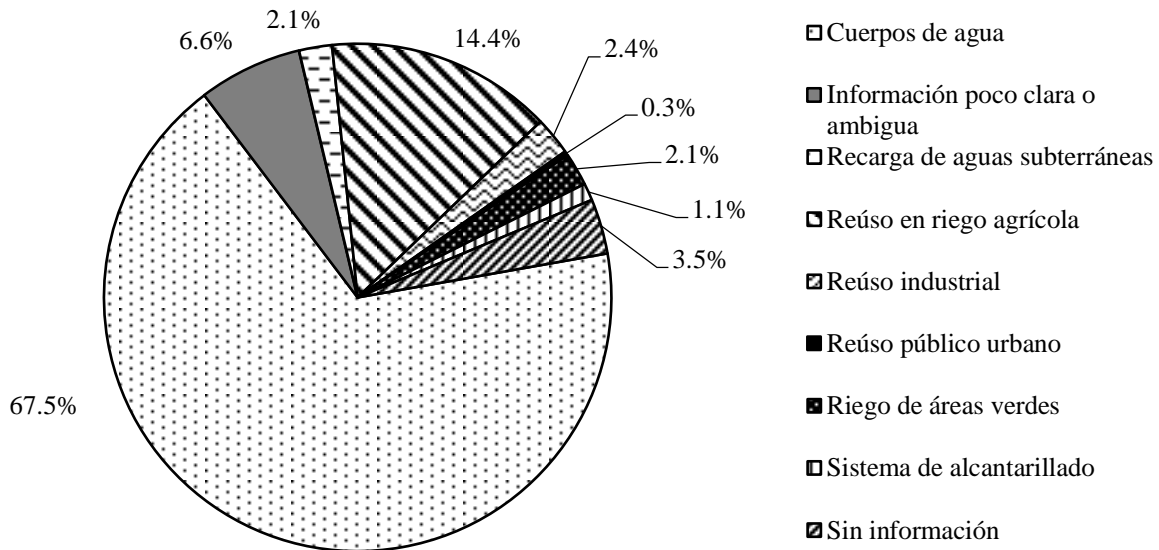
**Tabla 3-2.** Reúso de agua tratada.

Reúso	No. de plantas (porcentaje del total)	Gasto tratado [m <sup>3</sup> /s] (porcentaje del total)
Cuerpos de agua	1,507 (60.8%)	81.6 (67.5%)
Recarga de aguas subterráneas	136 (5.5%)	2.5 (2.1%)
Reúso en riego agrícola	185 (7.5%)	17.4 (14.4%)
Reúso industrial	15 (0.6%)	2.9 (2.4%)
Reúso público urbano	9 (0.4%)	0.3 (0.3%)
Riego de áreas verdes	94 (3.8%)	2.5 (2.1%)
Sistema de alcantarillado	60 (2.4%)	1.3 (1.1%)
Sin información	155 (6.3%)	4.2 (3.5%)
Información poco clara o ambigua	316 (12.8%)	8.0 (6.6%)
<b>Total</b>	<b>2,477</b>	<b>120.9</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por CONAGUA.

Asimismo, la [Tabla 3-2](#) muestra que 60 plantas descargaron su efluente a la red de drenaje, lo que significó que 1,300 [L/s] de agua residual regresaron al sistema de alcantarillado, desaprovechando un potente recurso.

### Reúso agua residual tratada



**Figura 3-6.** Porcentaje del gasto tratado de acuerdo a su reúso.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por CONAGUA.

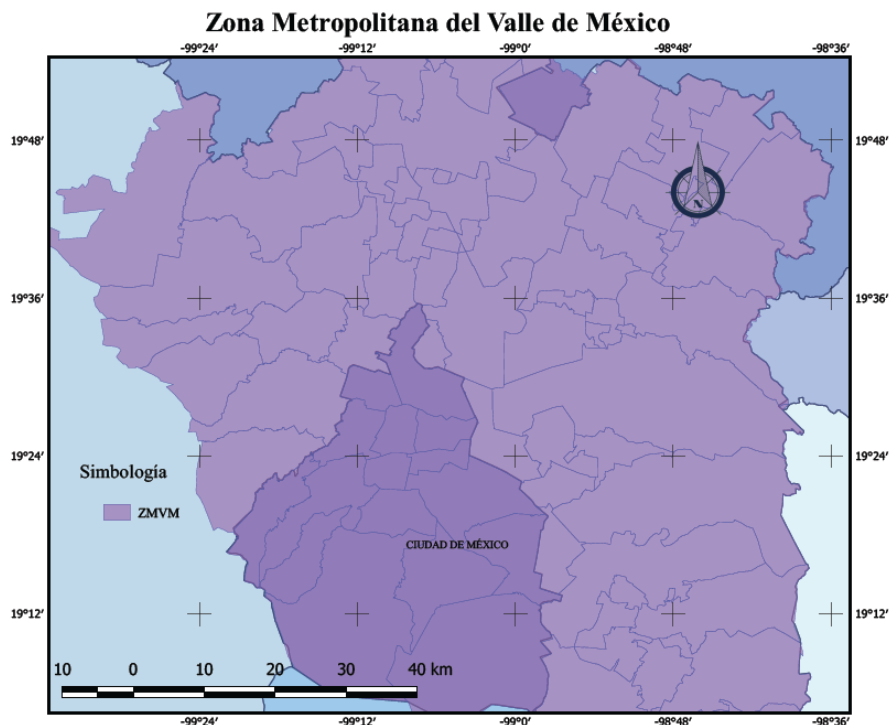
A nivel nacional se puede observar un desinterés por el reúso del agua tratada para fines urbanos, como se observa en la [Tabla 3-2](#) solamente 0.3 [m<sup>3</sup>/s] del agua tratada fue utilizada para estos propósitos, lo que represento el 0.3% del caudal total. Asimismo, solamente 15 plantas destinaron su caudal para fines industriales, que trataron 2.9 [m<sup>3</sup>/s] (2.4 % del total). Por lo que se observa un gran rezago del aprovechamiento del agua residual tratada para usos industriales y en servicios públicos urbanos. Si bien es un avance el hecho de que cada PTAR indique en el inventario dónde dispone su efluente, la falta de información aún continúa siendo un problema que impide tener herramientas para una gestión integral del agua.



## 4 Propuesta técnica para el reúso del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

### 4.1 Descripción del área de estudio

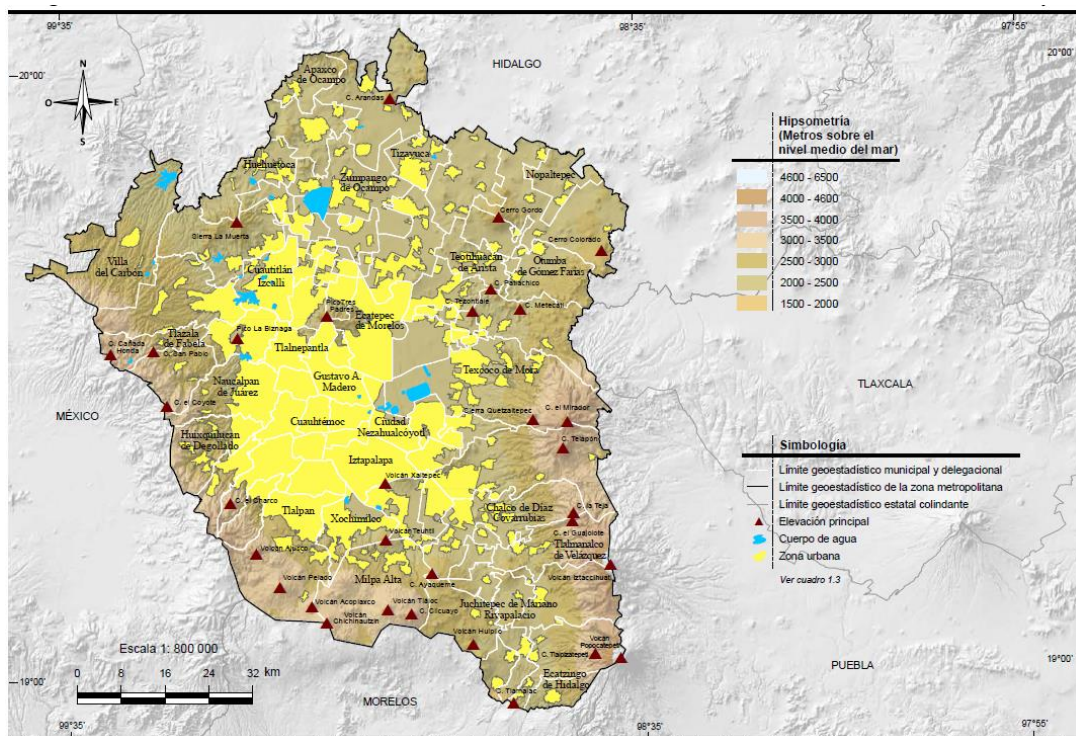
De acuerdo a datos de la ONU en el año 2012, la Zona Metropolitana del Valle de México fue una de las aglomeraciones urbanas más pobladas del mundo, en América Latina fue la segunda más extensa. Adicionalmente, en dicha zona se produce casi un cuarto del Producto Interno Bruto del país y en ella se encontró el 17% de la población del país en 2010 (INEGI, 2010). Respecto a su ubicación, la ZMVM se localiza en la región central de la República Mexicana, abarcando las 16 alcaldías (antes llamadas delegaciones) de la Ciudad de México, 59 municipios del estado de México y un municipio del estado de Hidalgo con una superficie total de 7,866.1 km<sup>2</sup> (SEDESOL, 2015). Dicha zona se puede ver en el mapa de la [Figura 4-1](#). Todos los municipios y delegaciones pertenecen a la RHA XIII Aguas de Valle de México a excepción de Atlautla, Ecatzingo, Juchitepec, Ozumba, Tepetlixpa en el estado de México, que pertenecen a la RHA IV Balsas.



**Figura 4-1.** Delimitación de la zona metropolitana del Valle de México.

Fuente: SEDESOL-CONAPO-INEGI, 2015.

La ZMVM se localiza en la región central de la República Mexicana, dentro de la región denominada Cuenca de México. La Cuenca de México fue originalmente una cuenca endorreica, es decir, un área de terreno donde el agua que cae o corre por ese terreno no tiene salida natural hacia otra cuenca hidrológica, ni hacia el mar a través de una corriente principal como un río. Por lo que el agua escurrida en dicha cuenca se acumula en la parte de menor elevación tendiendo a formar lagos o lagunas. En la ZMVM se encontraban los lagos de Texcoco, Chalco, Xochimilco, Xaltocán, San Cristóbal y Zumpango. En el mapa de la [Figura 4-2](#) se pueden apreciar de color amarillo las partes de menor elevación de la ZMVM donde se encontraban estos lagos, y las principales elevaciones que la rodean, como los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Ajusco con una altitud de 5500, 5220 y 3930 msnm respectivamente. Además, los cerros El Mirador y Telapón con una altitud de 4120 y 4030 msnm respectivamente (INEGI).



**Figura 4-2.** Orografía de la ZMVM.

Fuente: INEGI. Información Topográfica Digital, serie II y III.

En cuanto a la población, la ZMVM en 2010 agrupó a 20.116 millones de habitantes, cifra que equivalió al 17% de la población nacional. Solo la Ciudad de México concentró a 8.851 millones de personas, poco más del 40% de la población de la ZMVM. En 2010, las zonas más pobladas fueron Iztapalapa y Ecatepec de Morelos con 1.815 y 1.656 millones de habitantes respectivamente (INEGI). Para 2030 se estima un crecimiento de población de 23.247 millones de habitantes en toda la ZMVM (CONAPO).



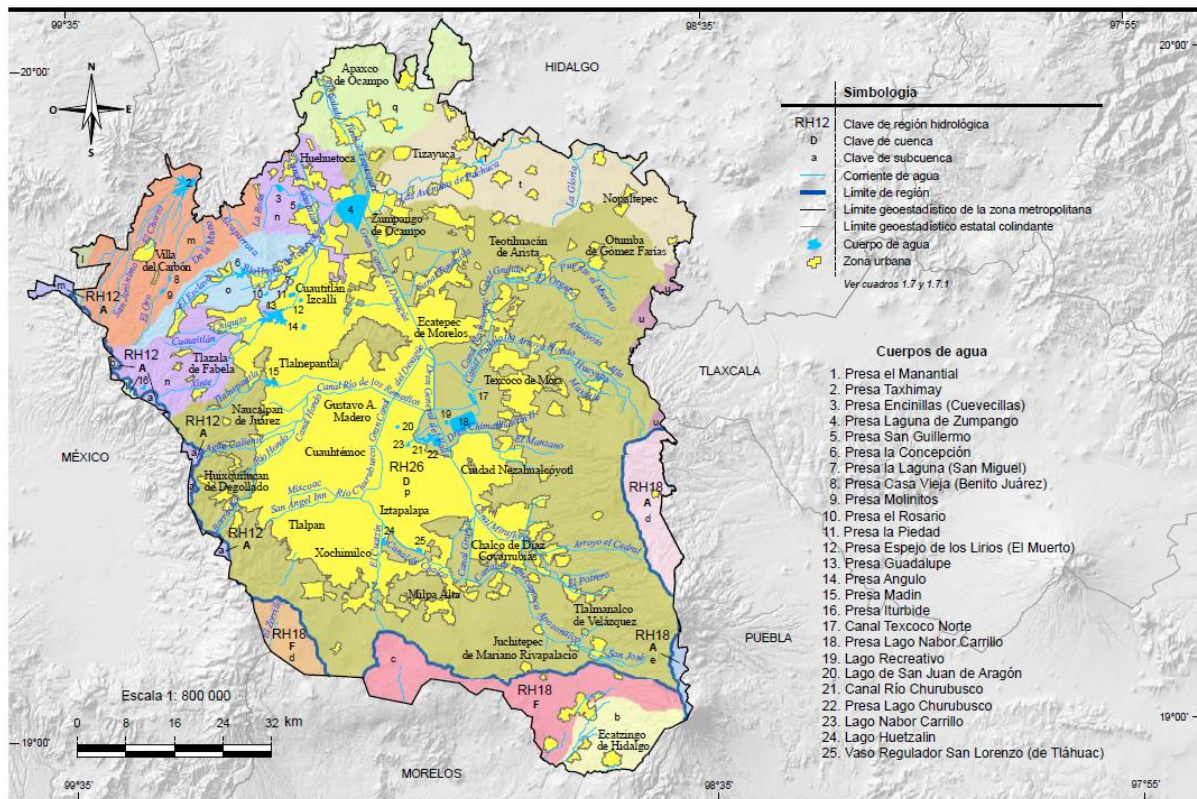


Figura 4-3. Hidrografía de la ZMVM.

Fuente: INEGI. Información Topográfica Digital, Escala 1: 250 000, serie III, INEGI - CONAGUA. 2007. Mapa de la Red Hidrográfica de México, Escala 1: 250 000, y INEGI. Continuo Nacional de los Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, Escala 1: 250 000, serie I.

## 4.2 Justificación

Como se observa en el mapa de la [Figura 4-4](#), la RHA XIII es la que menor disponibilidad de agua potable per cápita posee. Por lo que se ve obligada a importar agua dulce de otras cuencas hidrográficas. Ejemplo de ello es el sistema Cutzamala que abastece a 11 alcaldías de la Ciudad de México y 11 municipios del Estado de México pertenecientes a la ZMVM. Adicionalmente, dicha obra de infraestructura debe vencer un desnivel de 1,100 m de altura utilizando bombas, por consecuencia, esto implica grandes gastos económicos por consumo de energía.

Por otro lado, el sistema de drenaje de la Ciudad de México y Municipios conurbados es complejo. Para su correcto funcionamiento requiere obras de bombeo para vencer desniveles y vasos reguladores que den flexibilidad y permitan la salida del agua residual y pluvial. El drenaje de dicha zona es combinado, esto es, transporta agua pluvial y residual en los mismos ductos. La estructura se inicia en las redes secundarias y primarias, desembocan en el sistema general de drenaje y finalmente llega al Drenaje profundo. El agua transportada por el Drenaje profundo es descargada en el río El Salto que desemboca

en la presa Requena. Posteriormente el agua es conducida por el río Tula a la presa Endó. Para lograr lo anterior, en 1994 existían 79 plantas de bombeo (Cisneros, 2002). Esto, de manera similar que el abastecimiento de agua potable implica grandes costos económicos debido al consumo de energía.



**Figura 4-4.** Agua renovable per cápita por RHA 2013.

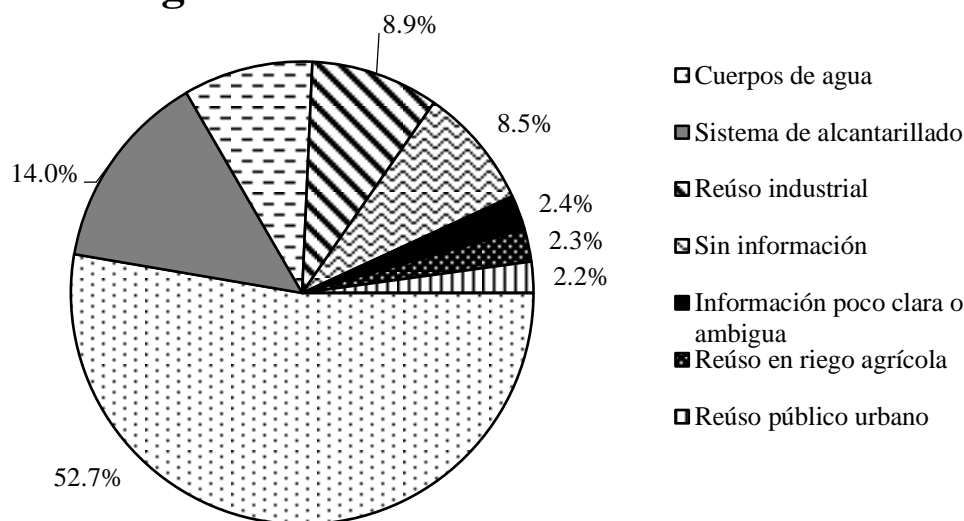
Fuente: CONAGUA y CONAPO, 2014

#### 4.2.1 PTARs y reúso actual del agua en la ZMVM

En la Zona Metropolitana del Valle de México existen 131 PTARs con una capacidad instalada de 12,095 L/s y un caudal tratado de 7,531 L/s, es decir, existe la oportunidad de incrementar el agua tratada en más de cuatro metros cúbicos por segundo. De las 131 PTARs, 91 utilizan el proceso de lodos activados que tratan más del 90% del agua (6,836 L/s). La PTAR de mayor tamaño que no utiliza el proceso de lodos activados, sino es una laguna de estabilización, se encuentra en el municipio de Chimalhuacán y trató un caudal de 400 L/s. Respecto a las PTARs restantes, sus procesos tratan un caudal pequeño, por ejemplo, existen 10 plantas cuya capacidad instalada menor a 15 L/s, que utilizan los procesos de fosa séptica o anaerobio y su caudal total tratado fue de 43 L/s. Asimismo, hay 8 plantas que utilizan filtros percoladores cuyo caudal total tratado fue de 60 L/s. Finalmente, solo existe una PTAR que utiliza tratamiento terciario en esta zona, ésta se encuentra en la delegación de Azcapotzalco en la CDMX y trató un caudal de 10 L/s. Para ver a detalle todas las características de cada PTAR se puede consultar la [Tabla A-1](#) en la sección de anexos.

En cuanto al reúso del agua, la [Figura 4-5](#) muestra que poco más de la mitad del agua tratada en la ZMVM es enviada a cuerpos de agua. Esto representó un gasto de 3,967 L/s. Los principales cuerpos de agua son: los canales de Xochimilco que recibe agua de la PTAR cerro de la estrella, el Lago de Texcoco que recibe agua de dos PTARs del municipio de Chimalhuacán, y el Lago de San Juan de Aragón que recibe agua de la PTAR del mismo nombre en la delegación Gustavo A. Madero.

## Reúso agua residual tratada en la ZMVM



**Figura 4-5.** Reúso del agua residual tratada en la ZMVM.

Fuente: Creación propia a partir de datos proporcionados por CONAGUA.

Respecto al riego de áreas verdes, fueron 27 PTARs que destinaron su efluente para dicho fin, con un caudal de 682 L/s. Las plantas que mayor caudal enviaron fueron Coyoacán, Nezahualcóyotl/Jorge Ayanegui, Cd. Deportiva y Ciudad Universitaria con un gasto de 179, 100, 93 y 25 L/s respectivamente. Las plantas restantes destinaron un caudal menor. Por otra parte, a pesar de que solamente 5 plantas utilicen su agua tratada para fines industriales, éstas representan un gasto considerable, dado que es 673 L/s y representa el 8.9% del total. No obstante, su capacidad instalada es de 1,340 L/s, por lo que existe la posibilidad de incrementar la cantidad de agua para dicho fin ([Tabla 4-1](#))

El reúso urbano es escaso, dado que solamente 2 plantas destinan su caudal para dicho propósito y el efluente representa el 2.2% del gasto total tratado. Por otro lado, en la [Tabla 4-1](#) se puede observar que existen 25 PTARs que están enviando un caudal de más de mil litros por segundo de regreso al alcantarillado, sin embargo, la mayoría de dichas plantas utiliza el proceso de lodos activados y pueden brindar una calidad de agua adecuada para otros fines como reúso público urbano o industrial.

**Tabla 4-1.** Número de PTARs y reúso del agua en la ZMVM.

Reúso	Número de plantas (porcentaje del total)	Capacidad de diseño [m <sup>3</sup> /s] (porcentaje del total)	Gasto tratado [m <sup>3</sup> /s] (porcentaje del total)
Cuerpos de agua	24 (18.3%)	5,855.0 (48.4%)	3,967.6 (52.7%)
Recarga de aguas subterráneas	0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)
Reúso en riego agrícola	12 (9.2%)	752.0 (6.2%)	172.2 (2.3%)
Reúso industrial	5 (3.8%)	1,340.0 (11.1%)	673.0 (8.9%)
Reúso público urbano	2 (1.5%)	407.5 (3.4%)	163.0 (2.2%)
Riego de áreas verdes	27 (20.6%)	1,083.8 (9.0%)	682.3 (9.1%)
Sistema de alcantarillado	25 (19.1%)	1,525.5 (12.6%)	1,051.3 (14.0%)
Sin información	32 (24.4%)	896.0 (7.4%)	639.9 (8.5%)
Información poco clara o ambigua	4 (3.1%)	235.3 (1.9%)	181.5 (2.4%)
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>12,095</b>	<b>7,531</b>

Fuente: Creación propia a partir de datos proporcionados por CONAGUA.

Asimismo, en la [Tabla 4-1](#) se observa que no existe la recarga de aguas subterráneas en la ZMVM, dado que ninguna planta envía su caudal para dicho propósito. Finalmente, existen 32 plantas que no reportan la disposición final de su caudal que equivale a 639 L/s, adicionalmente 4 plantas reportan con información insuficiente la disposición final de su efluente, que equivale a 181 L/s. Éstas plantas en su conjunto representan más del 10% de caudal tratado total, dicho de otra manera, se desconoce qué pasa con la décima parte del caudal tratado procedente de las PTARs municipales en la ZMVM.

### 4.3 Propuesta técnica

A largo plazo, la meta de la propuesta técnica es reducir el consumo de agua potable a la ZMVM, utilizando el agua residual tratada como fuente de abastecimiento para usos fuera del consumo humano. Para lograr lo anterior los objetivos particulares son:

- Incrementar el caudal tratado de las PTARs seleccionadas utilizando la infraestructura existente.
- Aprovechar el caudal tratado de las PTARs que descargan su efluente al sistema de alcantarillado.

Además, ésta propuesta se divide en dos fases:

- ✓ Evaluación y planeación
- ✓ Ejecución, asesoramiento y monitoreo

En la primera fase se llevará a cabo el levantamiento de información, generación y evaluación de alternativas, y estimaciones del costo de obras de infraestructura. En la segunda fase se ejecutarán las obras necesarias, se asesorará la operación de las plantas y se monitoreará la calidad del agua. Los responsables de ejecutar dicha propuesta será un nuevo equipo de trabajo bajo la dirección del Consejo de cuenca XIII Aguas del Valle de México.



### 4.3.1 PTARs seleccionadas y reúso

Se seleccionaron 24 PTARs en total. Para cumplir el primer objetivo (Incrementar el caudal tratado) se identificaron 17 plantas que trabajan debajo de su capacidad diseño, de acuerdo al siguiente indicador:

$$\%INU = \left(1 - \frac{CT}{CD}\right) * 100$$

*Donde:*

*%INU: Porcentaje de infraestructura no utilizada.*

*CT: Caudal tratado*

*CD: Capacidad de diseño.*

El valor de %INU indica la porción de una planta de tratamiento que no se utiliza. Cuando dicho indicador es 0% significa que la planta es utilizada en su totalidad, cuando éste crece, significa que la planta trabaja debajo de su capacidad instalada.

El criterio fue seleccionar las plantas cuyo porcentaje de infraestructura no utilizada fuera mayor al 45% ( $\%INU \geq 45\%$ ). Prácticamente se seleccionaron las plantas que trabajan a menos de la mitad de su capacidad de diseño. A excepción de la PTAR Cerro de la Estrella que en 2015 fue reportado que trabajó a más de la mitad de su capacidad de diseño.

Adicionalmente, se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Proceso: Lodos activados
- Tamaño (capacidad de diseño)  $\geq 40$  L/s

Éstas plantas se pueden ver en la [Tabla 4-2](#) con sus respectivos detalles, y su ubicación geográfica en el mapa de la [Figura 4-6](#).

**Tabla 4-2.** PTARs seleccionadas para incrementar el caudal tratado.

Estado	Municipio	Nombre PTAR	Capacidad diseño [L/s]	Caudal tratado [L/s]	Reúso actual	%INU
CDMX	Gustavo A. Madero	San Juan de Aragón	500	167	Cuerpos de agua	67%
CDMX	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	3,000	2,190	Cuerpos de agua	27%
CDMX	La Magdalena Contreras	Magdalena Contreras	50	23	Cuerpos de agua	54%
CDMX	Miguel Hidalgo	Chapultepec	160	53	Cuerpos de agua	67%
CDMX	Xochimilco	San Luis Tlaxialtemalco	150	53	Cuerpos de agua	65%
CDMX	Milpa Alta	San Pedro Atocpan	60	15	Reúso en riego agrícola	75%
CDMX	Tláhuac	San Lorenzo	225	59	Reúso en riego agrícola	74%
CDMX	Álvaro Obregón	Santa Fe	280	59	Reúso industrial	79%
CDMX	Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	110	59	Reúso industrial	46%
CDMX	Iztacalco	Cd. Deportiva	230	93	Riego de áreas verdes	60%
CDMX	Tláhuac	El Llano	250	13	Reúso en riego agrícola	95%
Hidalgo	Tizayuca	Haciendas de Tizayuca	110	60	Cuerpos de agua	45%
Edo. Méx.	Huehuetoca	Villas del Rey (Bicentenario)	120	25	Reúso en riego agrícola	79%
Edo. Méx.	Cuautitlán Izcalli	Lechería	400	205	Reúso industrial	49%
Edo. Méx.	Cuautitlán Izcalli	CIA. Mexicana de Aguas	400	160	Reúso público urbano	60%
Edo. Méx.	Tecámac	C. H. Sierra Hermosa	180	80	Sin información	56%
Edo. Méx.	Ixtapaluca	Cuatro Vientos	108	50	Sin información	54%
Total			6,333	3,364		

Fuente: CONAGUA, 2015.

Respecto al segundo objetivo, referente a aprovechar el caudal tratado que es descargado al alcantarillado, se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Proceso: Lodos activados
- Tamaño (capacidad de diseño)  $\geq 40$  L/s
- Disposición final: Sistema de alcantarillado

Las 7 plantas seleccionadas se muestran en la [Tabla 4-3](#) y su ubicación geográfica en el mapa de la [Figura 4-6](#). Asimismo dicho mapa muestra el porcentaje de infraestructura utilizado en capa PTAR, es decir, la capacidad que se está aprovechando de cada planta.

**Tabla 4-3.** PTARs seleccionadas para aprovechar efluente.

Estado	Municipio	Nombre PTAR	Capacidad diseño [L/s]	Caudal tratado [L/s]	Reúso actual	%INU
Edo. Méx.	Tecámac	Casas GEO	50	50	Alcantarillado	0%
Edo. Méx.	Ecatepec de Morelos	Termoeléctrica Valle de México	750	500	Alcantarillado	33%
Edo. Méx.	Naucalpan de Juárez	Molino Granjas	50	25	Alcantarillado	50%
Edo. Méx.	Ixtapaluca	Fraccionamiento Santa Barbara	63	61	Alcantarillado	3%
Edo. Méx.	Tecámac	Cabecera Municipal	120	116	Alcantarillado	3%
Edo. Méx.	Tecámac	Hacienda Ojo de Agua	150	100	Alcantarillado	33%
Edo. Méx.	Nicolás Romero	Bulevares	47	15	Alcantarillado	68%
Total			1,230	867		

Fuente: CONAGUA, 2015.



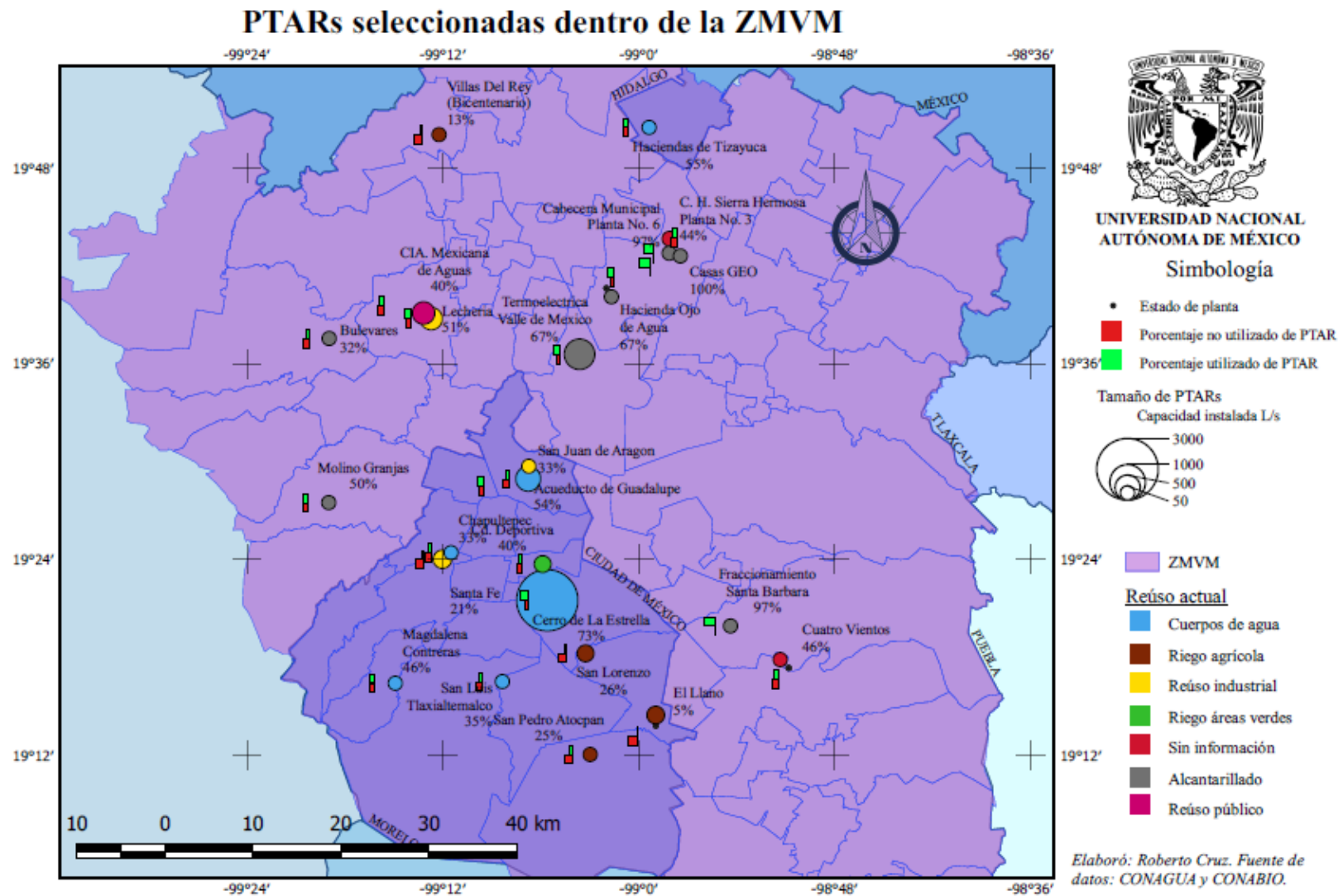


Figura 4-6. Ubicación de plantas seleccionadas para propuesta técnica.

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2 Equipo de trabajo

Dado que, en la Ley de aguas nacionales, se estipula que los organismos de cuenca son responsables de la gestión del agua de su respectiva Región Hidrológico-Administrativa, se propone que el organismo de cuenca Aguas del Valle de México financie la creación de un nuevo equipo de trabajo que cumpla con las siguientes características:

- Ser profesional de alguna de las ingenierías de ambiental, civil, químico o carrera a fin.
- Tener experiencia en el diseño, construcción, operación y/o monitoreo de PTARs.
- Independientes a los organismos operadores o empresas privadas que actualmente operan las PTARs seleccionadas.

Respecto a la fase de Evaluación y planeación el equipo de trabajo realizará las siguientes funciones:

- Actualizar la información de las plantas seleccionadas.
- Diagnosticar el actual estado de las plantas seleccionadas.
- Medir el caudal del influente de cada planta.
- Si el caudal del influente es menor a la capacidad de diseño, evaluar la alternativa de construir obras de drenaje.
- Estimar el costo de rehabilitación de las plantas de ser necesario.
- Realizar la evaluación costo/beneficio.

Respecto a la fase de Ejecución, asesoramiento y monitoreo el equipo de trabajo realizará las siguientes funciones:

- Ejecutar las obras de rehabilitación.
- Asesorar a los operadores de plantas para el adecuado funcionamiento de éstas.
- Monitorear la calidad del agua de las plantas.
- Buscar fuentes externas de financiamiento, adicionales a las proporcionadas por el consejo de cuenca.

### 4.3.3 Resultados esperados

Como se puede ver la [Tabla 4-3](#), en 2015 siete plantas enviaron 867 L/s de agua tratada al alcantarillado, y su capacidad instalada fue de 1,230 L/s. Con la actual propuesta se busca aprovechar ésta capacidad instalada y reusar el agua para: reúso público urbano, riego de áreas verdes, y de ser posible en la industria o recarga de agua subterránea, de acuerdo a las evaluaciones de las propuestas realizadas por el equipo de trabajo. Adicionalmente la [Tabla 4-2](#) muestra que para 2015 diecisiete plantas trataron 3,364 L/s, a pesar de que su capacidad instalada fue de 6,333 L/s. En consecuencia, de ser rehabilitadas dichas plantas y recibir el adecuado asesoramiento técnico, se puede incrementar su caudal tratado hasta en 2,969 L/s. En su conjunto, aprovechar la infraestructura de las plantas que descargan al alcantarillado y aumentar el caudal tratado de las plantas que trabajan a menos de la mitad de su capacidad de diseño da como resultado un caudal de 4,199 L/s. Dicho caudal puede ser utilizado para usos del agua distintos al consumo humano y en consecuencia reducir la demanda del abastecimiento de agua potable. La muestra dichos resultados.

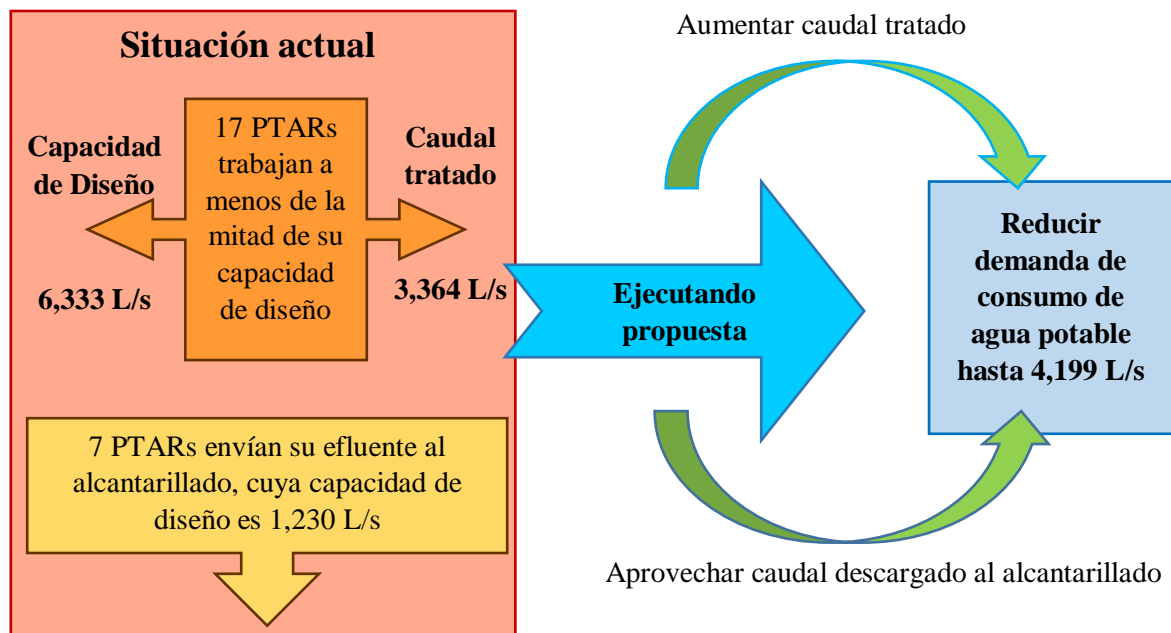


Figura 4-7. Resultados de propuesta técnica.

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

El hecho de existir 2,477 plantas de tratamiento y 2,457 municipios no implica que cada municipio posee su propia planta y con ello sea responsable del tratamiento de su agua residual como lo indica la constitución, sino que las plantas se encuentran diversamente distribuidas y la cobertura de tratamiento de agua residual apenas es la mitad de la que se genera.

La planeación es de vital importancia para la toma de decisiones del diseño de plantas de tratamiento. Los tamaños de éstas deben ser acorde al agua residual generada por la población de diseño. El hecho de tener muchas plantas de pequeño tamaño no es representativo a nivel nacional, ya que su agua tratada representa solo un pequeño porcentaje del total. Por otro lado, la construcción de grandes plantas tampoco es una solución óptima. Si bien la cantidad de agua tratado por ellas es considerablemente grande, el hecho de centralizar los sistemas de drenaje implica costosas obras de infraestructura, tanto en su construcción como en su mantenimiento.

El reúso del agua desempeña un vital papel para poder llegar a la meta 6 “Agua limpia y Saneamiento para todos”. Sin embargo, si no se cuenta con información, difícilmente podemos conocer la situación actual y definir metas claras. Si bien la CONAGUA realiza anualmente el inventario nacional de plantas de tratamiento, éste no es suficiente para conocer la situación de la disposición final del agua residual tratada y su reúso.

Se cumplieron los objetivos de presentar un resumen para el año 2015 de la infraestructura existente para el tratamiento del agua residual municipal en México y se logró desarrollar un diagnóstico del reúso o disposición final del agua residual tratada para el año 2015 en las 13 RHA y a nivel nacional. Sin embargo, se tuvo que realizar una dificultosa y larga homogenización de datos. Por lo que se concluye que, el levantamiento de la información municipal y su correcto ordenamiento son de gran importancia para llegar a una adecuada y óptima gestión de los recursos hídricos.

Asimismo, se cumplió el objetivo de formular una propuesta técnica para el uso eficiente de las plantas de tratamiento y el aprovechamiento de caudales tratados que son regresados al alcantarillado. Dichas plantas pudieron ser identificadas gracias a la información generada por esta tesina. Finalmente, la propuesta expone que es posible disminuir el consumo de agua potable para usos distintos al consumo humano en la ZMVM, por medio de operar eficientemente la infraestructura existente y permitir la participación de personal capacitado.

## Referencias

**César, E. y Vázquez, A.** (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Fundación ICA, A.C.

**Cifuentes, Enrique; Blumenthal, Ursula; Ruiz, Guillermo; Bennett, Stephen and Peasey, Anne** (1994). Escenario epidemiológico Valle del Mezquital. Instituto Nacional de Salud Pública.

**CONABIO.** 2015. Portal de Geoinformación. Disponible en:  
<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

**CONAGUA** (2004-2015). Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. SEMARNAT.

**CONAGUA** (2015). Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México

**CONAGUA** (2016). Estadísticas del Agua en México.

**CONAGUA y SEMARNAT** (2012). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco, Memoria documental. Disponible en:  
<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/MEMORIAS%20DOCUMENTALES/Memoria%20Documental%20Planta%20de%20tratamiento%20de%20agus%20residuales%20de%20Atotonilco.pdf>

**CONAPO** (2005). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005, México, Consejo Nacional de Población.

**CONAPO** (2015). Proyección de la población 2010-2050. Disponible en:  
<http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Proyecciones>

**Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.**

**Diario Oficial de la Federación** (2010). ACUERDO por el que se determina la circunscripción territorial de los organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua. Disponible en:  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5137623&fecha=01/04/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5137623&fecha=01/04/2010)

**F Y Wang; V Rudolph, and Z H Zhu** (2008). Sewage Sludge Technologies. Elsevier. Ecological Engineering.

**INEGI** (2015) Catálogo de entidades federativas, municipios y localidades. Disponible en:  
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx>

**INEGI** (2013). Cartografía topográfica escala 1:250,000 y 1:50,000.

**Jimenez Cisneros, Blanca Elena** (2001). La Contaminación ambiental en México. LIMUSA, Noriega Editores.

**Jimenez Cisneros, Blanca Elena.** (2000). Impact and potential of reused water in the Mezquital Valley. Water21.

**Jiménez, B., Asano, T.** (2008). Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs. IWA, London.

#### **Ley de Aguas Nacionales.**

**Mara, D. and H. Pearson** (1998). Design Manual for Waste Stabilization Ponds in Mediterranean Countries, Lagoon Technology International, Leeds, England. (Comprehensive guideline for designing of waste stabilisation ponds)

**Naciones Unidas** (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>

**Olivera Gómez, Daniel Armando y Cano Flores, Milagros** (2012). La evaluación del desempeño a nivel municipal. Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores de las Ciencias Administrativas de la Universidad Veracruzana

**OMS** (2011). Estadísticas Sanitarias Mundiales. Disponible en: [http://www.who.int/whosis/whostat/ES\\_WHS2011\\_Full.pdf](http://www.who.int/whosis/whostat/ES_WHS2011_Full.pdf)

**Paz Sánchez, Arnulfo** (1966). Apuntes del curso intensivo de Lagunas de Estabilización. Facultad de Ingeniería, UNAM.

**Phuntsho, Sherub; Shon, Ho Kyong; Vigneswaran, S and Kandasamy, J.** (2018). Wastewater stabilization ponds (WSP) for wastewater treatment.

**Robin Clarke and Jannet King** (2004). The water Atlas, A Unique Visual Analysis of the World's Most Critical Resource. The New Press.

**SEMARNAT** (1997). NOM-001-SEMARNAT-1996. establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Diario Oficial de la Federación.

**SEMARNAT** (1997). NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación.

**SEMARNAT** (1998). NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación.

**Toshio Satoa, Manzoor Qadirb, Sadahiro Yamamoto, Tsuneyoshi Endo, and Ahmad Zahoora** (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. Elsevier. Agricultural Water Management.

**UNESCO** (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO. Disponible en: [www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en](http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en)

**UNICEF y OMS** (2015). 25 años, Progresos en materia de saneamiento y agua potable. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/jmp-2015-update/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-2015-update/es/)

**United Nations**, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Disponible en: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>

**US EPA** (2002). Wastewater Technology Fact Sheet: Facultative Lagoons, US Environmental Protection Agency. (Briefly summarizes few basic facts of facultative ponds for wastewater treatment).

**WWAP** (United Nations World Water Assessment Programme) (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO.



## Anexos



**Figura A-1.** Canales de Xochimilco.





**Figura A-2.** Fuga de agua en PTAR Cerro de la Estrella.



**Figura A-3.** Lavado de cilantro en Río Tula.





**Figura A-4.** Descarga de agua residual en Río Tula.





**Figura A-5.** Descarga de agua residual en Río Tula.





**Figura A-6.** Descarga de agua residual en Río Tula.





**Figura A-7.** Canal de agua residual en el municipio de Tlalnepantla.



Figura A-8. Rotocriba en PTAR de Ciudad Universitaria.





**Figura A-9.** Tanque de aeración de PTAR de Ciudad Universitaria.





**Figura A-10.** Almacenamiento de agua residual tratada en PTAR de Ciudad Universitaria (antes utilizado como sedimentador).





**Figura A-11.** Fuga de lodos en PTAR Cerro de la Estrella.





**Figura A-12.** Fuga de lodos en PTAR Cerro de la Estrella.





**Figura A-13.** Algas en tanques de almacenamiento de agua residual tratada en PTAR Cerro de la Estrella.



**Figura A-14.** PTAR Atotonilco de Tula.





**Figura A-15.** Almacenamiento de coagulante en la PTAR Atotonilco de Tula.



**Figura A-16.** Tanque de aeración de PTAR Atotonilco de Tula.





**Figura A-17.** Almacenamiento de biogás en PTAR Atotonilco de Tula.



Figura A-18. Monitoreo en PTAR Atotonilco de Tula.

**Tabla A-1.** PTARs dentro la ZMVM. Fuente: CONAGUA, 2015.

Estado	RHA	Clave municipal	Municipio	Localidad	Nombre PTAR	Proceso	Capacidad instalada [L/s]	Caudal tratado [L/s]	Cuerpo receptor o reúso	Clasificación reúso
CDMX	XIII	9010	Álvaro Obregón	Álvaro Obregón	Santa Fe	Lodos Activados	280	59	Usos varios en la industria	Reúso industrial
CDMX	XIII	9002	Azcapotzalco	Azcapotzalco	El Rosario	Terciario	25	10	Lago Tezozomoc	Cuerpos de agua
CDMX	XIII	9003	Coyoacán	Coyoacán	Ciudad Universitaria "FCPS"	Lodos Activados	7.5	3	Inodoros y mingitorios del Instituto de Ingeniería	Reúso público urbano
CDMX	XIII	9003	Coyoacán	Coyoacán	Coyoacán	Lodos Activados	250	179	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9003	Coyoacán	Coyoacán	Ciudad Universitaria	Lodos Activados	40	25	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9015	Cuauhtémoc	Cuauhtémoc	Tlatelolco	Lodos Activados	22	10	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9005	Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	San Juan de Aragón	Lodos Activados	500	167	Lago de San Juan de Aragón y riego de áreas verdes	Cuerpos de agua
CDMX	XIII	9005	Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	Lodos Activados	110	59	Procesos industriales	Reúso industrial
CDMX	XIII	9006	Iztacalco	Iztacalco	Cd. Deportiva	Lodos Activados	230	93	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9006	Iztacalco	Iztacalco	Iztacalco	Lodos Activados	13	10	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9007	Iztapalapa	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	Lodos Activados	3000	2190	Canales de Xochimilco, Riego Agrícola, Industria y comercios, y Riego de áreas verdes	Cuerpos de agua
CDMX	XIII	9007	Iztapalapa	Iztapalapa	Santa Martha Acatitla	Lodos Activados	14	11	Riego de áreas verdes del reclusorio	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9008	La Magdalena Contreras	La Magdalena Contreras	Magdalena Contreras	Lodos Activados	50	23	Río Magdalena y Eslava	Cuerpos de agua

CDMX	XIII	9016	Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Chapultepec	Lodos Activados	160	53	Lagos de Chapultepec y riego de áreas verdes	Cuerpos de agua
CDMX	XIII	9016	Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Campo Militar No. 1-A	Lodos Activados	30	30	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9016	Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	Lodos Activados	25	14	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9009	Milpa Alta	San Pedro Atocpan	San Pedro Atocpan	Lodos Activados	60	15	Riego agrícola	Reúso en riego agrícola
CDMX	XIII	9011	Tláhuac	San Juan Ixtayopan	El Llano	Lodos Activados	250	13	Riego agrícola	Reúso en riego agrícola
CDMX	XIII	9011	Tláhuac	Tláhuac	San Lorenzo	Lodos Activados	225	59	Riego Agrícola	Reúso en riego agrícola
CDMX	XIII	9011	Tláhuac	San André Mixquic	San Andres Mixquic	Primario Avanzado	30	15	Riego agrícola	Reúso en riego agrícola
CDMX	XIII	9011	Tláhuac	San Juan Ixtayopan	San Juan Ixtayopan (La Lupita)	Lodos Activados	15	15	Riego agrícola	Reúso en riego agrícola
CDMX	XIII	9011	Tláhuac	San Nicolás Tetelco	Tetelco	Lodos Activados	15	10	Riego agrícola	Reúso en riego agrícola
CDMX	XIII	9012	Tlalpan	Tlalpan	H. Colegio Militar	Lodos Activados	30	26	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9012	Tlalpan	Tlalpan	Abasolo	Lodos Activados	15	3	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9012	Tlalpan	Tlalpan	U. H. Pemex Picacho	Lodos Activados	13	13	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9012	Tlalpan	Tlalpan	San Miguel Xicalco	Lodos Activados	7.5	5	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9012	Tlalpan	Parres (El Guarda)	Parres	Lodos Activados	7.5	3	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
CDMX	XIII	9013	Xochimilco	Xochimilco	San Luis Tlaxialtemalco	Lodos Activados	150	53	Canales de Xochimilco	Cuerpos de agua
CDMX	XIII	9013	Xochimilco	Xochimilco	Reclusorio Sur	Lodos Activados	30	12	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15002	Acolman	San Bartolo Acolman	San Bartolo	Biológico	15	15	Río San Juan - Nexquipayac	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15009	Amecameca	Amecameca de Juarez	Amecameca	Otro	120	44.8	Río Amecameca	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15011	Atenco	Santa Isabel Ixtapan	Santa Isabel Ixtapan	Anaerobio	14	10	(Vacío)	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15011	Atenco	San Salvador Atenco	Santa Isabel Ixtapan Club de Golf	Rafa o Wasb	5	1	Sin información	Sin información

Edo. Méx.	XIII	15013	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	Club de Golf Valle Escondido	Lodos Activados	30	30	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15013	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	Club de Golf Hacienda	Primario Avanzado	25	20	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15013	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	Club de Golf Bellavista	Discos Biológicos o Biodiscos	20	10	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15013	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	Parque los Ciervos	Lodos Activados	18	12	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15013	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	Club de Golf Chiluca II	Lodos Activados	16	12.7	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15013	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	Club de Golf Chiluca I	Lodos Activados	10	9.5	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15013	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	Club de Golf Chiluca III	Lodos Activados	4	3.3	Riego de áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15016	Axapusco	Jaltepec	Jaltepec	Rafa + Filtro Biológico	10	6	Riego Agrícola	Reúso en riego agrícola
Edo. Méx.	XIII	15016	Axapusco	Axapusco	Axapusco	Lodos Activados	9	5	Riego Agrícola	Reúso en riego agrícola
Edo. Méx.	XIII	15016	Axapusco	Santo Domingo Aztecaameca	Santo Domingo Aztecaameca	Rafa + Filtro Biológico	8	5	Riego Agrícola	Reúso en riego agrícola
Edo. Méx.	XIII	15016	Axapusco	Santa María Aticpac	Santa María Aticpac Sur	Anaerobio	5	4	Riego Agrícola	Reúso en riego agrícola
Edo. Méx.	XIII	15016	Axapusco	Santa María Aticpac	Santa María Aticpac Norte	Rafa + Filtro Biológico	4	3	(Vacío)	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15025	Chalco	Chalco de Díaz Covarrubias	Centro de Desarrollo Comunitario "Juan Diego". I.A.P.	Lodos Activados	1.6	1.5	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15028	Chiautla	Chiautla	Cabecera Municipal	Lodos Activados	10	1.5	(Vacío)	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15029	Chicoloapan	Chicoloapan de Juárez	Desarrollo Habitacional Camel	Lodos Activados	21	21	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15029	Chicoloapan	Chicoloapan de Juárez	Desarrollo Habitacional Piedras Negras	Lodos Activados	20	11	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15029	Chicoloapan	Chicoloapan de Juárez	Desarrollo Habitacional Sare I	Lodos Activados	20	9	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15029	Chicoloapan	Chicoloapan de Juárez	Desarrollo Habitacional Sare II	Lodos Activados	20	9	Colector municipal	Sistema de alcantarillado



Edo. Méx.	XIII	15031	Chimalhuacán	Chimalhuacán	Lago de Texcoco I	Lodos Activados	1000	800	Lago de Texcoco	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15031	Chimalhuacán	Chimalhuacán	Lago de Texcoco II	Lagunas de Estabilización	500	400	Lago de Texcoco	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15020	Coacalco de Berriozábal	San Francisco Coacalco	Fraccionamiento "El Laurel"	Lodos Activados	100	75	Dren Cartagena	Información poco clara o ambigua
Edo. Méx.	XIII	15020	Coacalco de Berriozábal	San Francisco Coacalco	Fraccionamiento "Los Héroes"	Lodos Activados	100	75	Dren Cartagena	Información poco clara o ambigua
Edo. Méx.	XIII	15020	Coacalco de Berriozábal	San Francisco Coacalco	Fracc. Rancho La Palma I	Lodos Activados	16	16	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15022	Cocotitlán	Cocotitlán	Cabecera Municipal	Lodos Activados	24	14	Río Amecameca	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15023	Coyotepec	Barrio de San Juan	Barrio de San Juan	Filtros Biológicos o Rociadores o Percoladores	15	9	Presa San Guillermo	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15024	Cuatitlán	Cuatitlán	Unidad Hab. Sta. Elena	Lodos Activados	40	25	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Cuatitlán Izcalli	Lechería	Lodos Activados	400	205	Reúso industrial	Reúso industrial
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Cuatitlán Izcalli	CIA. Mexicana de Aguas	Lodos Activados	400	160	Venta de Agua	Reúso público urbano
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Tepojaco	L. San Francisco Tepojaco I	Lodos Activados	50	25	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Tepojaco	L. San Francisco Tepojaco II	Lodos Activados	50	25	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Cuatitlán Izcalli	Cofradía I	Lodos Activados	30	30	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Cuatitlán Izcalli	Fracc. Bosques de Alba II	Lodos Activados	30	30	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Cuatitlán Izcalli	Cofradía II	Lodos Activados	18	18	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Cuatitlán Izcalli	Cofradía III	Lodos Activados	16	16	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuatitlán Izcalli	Tepojaco	San Francisco Tepojaco I	Lodos Activados	50	25	Colector municipal	Sistema de alcantarillado

Edo. Méx.	XIII	15121	Cuautitlán Izcalli	Tepojaco	San Francisco Tepojaco II	Lodos Activados	50	25	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuautitlán Izcalli	Cuautitlán Izcalli	La Piedad II	Lodos Activados	18	18	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15121	Cuautitlán Izcalli	Cuautitlán Izcalli	La Piedad I	Lodos Activados	4.4	4.4	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15033	Ecatepec de Morelos	Ecatepec de Morelos	Papelera San Cristobal	Lodos Activados	400	250	Reúso industrial	Reúso industrial
Edo. Méx.	XIII	15033	Ecatepec de Morelos	Ecatepec de Morelos	Termoeléctrica Valle de México	Lodos Activados	750	500	Emisor Gran Canal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15035	Huehuetoca	Huehuetoca	Villas del Rey (Bicentenario)	Lodos Activados	120	25	Terreno de cultivo. Bordo Jorobas	Reúso en riego agrícola
Edo. Méx.	XIII	15037	Huixquilucan	Huixquilucan de Degollado	Presa El Capulin	Otro	50	40	Presa El Capulin	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15037	Huixquilucan	Huixquilucan de Degollado	Cabecera Municipal	Lodos Activados	40	30	Río Huixquilucan	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15037	Huixquilucan	Huixquilucan de Degollado	Cabecera Municipal	Lodos Activados	6	2.8	Río xinté	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15037	Huixquilucan	Huixquilucan de Degollado	Huixquilucan	Lodos Activados	22	22	Club de golf "Bosques" áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15037	Huixquilucan	Huixquilucan de Degollado	Escuela en el Trejo	Rafa o Wasb	0.5	0.5	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15038	Isidro Fabela	Tlazala de Fabela	Isidro Fabela	Lodos Activados	6	3	Río Xinté	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15039	Ixtapaluca	San Jerónimo Cutro Vientos (San Jerónimo)	Cuatro Vientos	Lodos Activados	108	50	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15039	Ixtapaluca	Santa Barbara	Fraccionamiento Santa Barbara	Lodos Activados	63	61.3	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15039	Ixtapaluca	Ixtapaluca	Tlalpizahuac	Lodos Activados	22	18	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15039	Ixtapaluca	Ixtapaluca	Fraccionamiento Palmas II	Lodos Activados	20	14	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15046	Jilotzingo	San Luis Ayucan	San Luis Ayucan	Lodos Activados	9	4	Presa Madín	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	IV	15050	Juchitepec	Juchitepec de Mariano Rivapalacio	Juchitepec Cabecera Municipal	Rafa + Filtro Biológico	25	15	Canal Artificial	Cuerpos de agua



Edo. Méx.	IV	15050	Juchitepec	San Matías Cuijingo	Cuijingo	Anaerobio	14	8	Canal Artificial	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Naucali	Lodos Activados	40	20	Riego áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Pintores	Lodos Activados	5	5	Riego áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Parque “Los Remedios”	Lodos Activados	1.8	1.8	Riego áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	U. H. Campo Militar Núm. 1	Lodos Activados	30	20	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Conjunto Hab. La Cuspide	Lodos Activados	4	1.6	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	U. H. Lomas Canteras	Reactor Enzimático	3	3	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Conjunto Hab. Sedena Sta. Cruz Acatlan	Rafa o Wasb	2	2	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	San Rafael Chamapa	Rafa o Wasb	2	1.8	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Conjunto Hab. La Rosa	Fosa Séptica	2	1.5	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	U.H. La Joya	Reactor Enzimático	2	0.5	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Hospital IMSS Naucalpan	Lodos Activados	1	1	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Las Granjas	Molino Granjas	Lodos Activados	50	25	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	San José Tejamanil	Satelite San José	Lodos Activados	3	3	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15057	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	Conjunto Hab. Sedena Col. Santiago	Fosa Séptica	2	2	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15058	Nezahualcóyotl I	Ciudad Nezahualcoyotl	Nezahualcoyotl/Jorge Ayanequi	Lodos Activados	145	100	Riego áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15060	Nicolás Romero	Villa Nicolas Romero	Bulevares	Lodos Activados	47	15	Colector municipal	Sistema de alcantarillado

Edo. Méx.	XIII	15060	Nicolás Romero	Santa Maria Magdalena Cahuacan	Cahuacan	Anaerobio	15	10	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15060	Nicolás Romero	San Jose El Vidrio	El Vidrio	Anaerobio	10	2	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15060	Nicolás Romero	Villa Nicolas Romero	San Javier los Cantaros III	Lodos Activados	8	7.5	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15069	Papalotla	Papalotla	Cabecera Municipal/Coxotla	Anaerobio	10	3	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15081	Tecámac	Tecamac de Felipe Villanueva	C. H. Sierra Hermosa	Lodos Activados	180	80	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15081	Tecámac	Tecamac de Felipe Villanueva	C. H. Villa del Real	Lodos Activados	45	45	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15081	Tecámac	Ojo de Agua	Hacienda Ojo de Agua	Lodos Activados	150	100	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15081	Tecámac	Tecamac de Felipe Villanueva	Cabecera Municipal	Lodos Activados	120	116.1	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15081	Tecámac	Tecamac de Felipe Villanueva	Casas GEO	Lodos Activados	50	50	Colector municipal	Sistema de alcantarillado
Edo. Méx.	XIII	15092	Teotihuacán	Teotihuacán de Arista	Teotihuacán	Lodos Activados	80	80	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15092	Teotihuacán	Teotihuacán de Arista	Escuela Secundaria "Justo Sierra"	Rafa, Wasb + Humedal	2	1	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15093	Tepetlaoxtoc	Tepetlaoxtoc de Hidalgo	Cabecera Municipal de Tepetlaoxtoc	Rafa + Filtro Biológico	16	10	Río Hondo	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15093	Tepetlaoxtoc	San Andrés de las Peras	San Andrés de Las Peras	Rafa, Wasb + Humedal	6	4	Río Papalotla	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15093	Tepetlaoxtoc	San Pedro Chiautzingo	San Pedro Chiautzingo	Rafa + Filtro Biológico	6	4	Río Papalotla	Cuerpos de agua
Edo. Méx.	XIII	15093	Tepetlaoxtoc	Tulteca Teopan (Tulteca Teopan)	Tilteca Teopan	Anaerobio	5	0.2	Terrenos agrícolas	Reúso en riego agrícola
Edo. Méx.	XIII	15095	Tepotzotlán	Tepotzotlán	Xoxhitla Reserva Natural, A.C.	Biológico	20	2	Riego áreas verdes	Riego de áreas verdes
Edo. Méx.	XIII	15095	Tepotzotlán	Tepotzotlán	Frac. El Trebol	Tanque Imhoff	12	12	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15095	Tepotzotlán	Tepotzotlán	U. H. Autosuficiente Bacardi	Lodos Activados	5	5	Sin información	Sin información

Edo. Méx.	XIII	15099	Texcoco	Texcoco de Mora	Universidad de Chapingo	Rafaelo Wasb	10	10	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15099	Texcoco	Texcoco de Mora	Texcoco CERESO	Lodos Activados	3	3	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15103	Tlalmanalco	San Antonio Tlaltecahuacan	San Antonio Tlaltecahuacan	Fosa Séptica	2	2	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15104	Tlanepantla de Baz	Tlanepantla	San Juan Ixhuatepec	Lodos Activados	150	100	Uso industrial	Reúso industrial
Edo. Méx.	XIII	15104	Tlanepantla de Baz	Tlanepantla	Los Reyes Iztacala	Lodos Activados	100	100	Sin información	Sin información
Edo. Méx.	XIII	15109	Tultitlán	Tultitlán de Mariano Escobedo	U. Hab. Infonavit Robles y Colorines Tultitlan I	Lodos Activados	20	20	Sin información	Sin información
Hidalgo	XIII	13069	Tizayuca	Tizayuca	Haciendas de Tizayuca	Lodos Activados	110	60	Rio de las Avenidas	Cuerpos de agua
Hidalgo	XIII	13069	Tizayuca	Tepojaco	Manantial	Rafa + Filtro Biológico	8	8	Presa el Manantial	Cuerpos de agua
Hidalgo	XIII	13069	Tizayuca	Tizayuca	Las Fuentes	Lodos Activados	30	27.5	Dren pluvial Norponiente	Información poco clara o ambigua
Hidalgo	XIII	13069	Tizayuca	Tepojaco	Vistahermosa	Lodos Activados	5.3	4	Dren municipal afluente del Canal papalote	Información poco clara o ambigua