

TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL:

Metodología para estimar el potencial de reúso en
una región y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento



Juan Manuel Morgan Sagastume

Carolina Morgan Martínez

Benly Liliana Ramírez Higareda

Adalberto Noyola Robles

ISBN: 978-607-30-8269-3

DOI: 10.22201/iingen.9786073082693e.2023



Series
**Instituto
de Ingeniería UNAM**

Publicación arbitrada

SM 16
NOVIEMBRE , 2023

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Publicación arbitrada

ISBN: 978-607-30-8269-3

doi: <https://10.22201/iingen.9786073082693e.2023>

TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL:
Metodología para estimar el potencial de reúso en una región
y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento

Juan Manuel Morgan Sagastume¹
IIUNAM
jmms@pumas.ii.unam.mx

Carolina Morgan Martínez²
Posgrado en Economía-UNAM
cmorgan_mtz@outlook.com

Benly Liliana Ramírez Higareda³
ELNSYST SA de CV (IBTech)
benlyramirez@gmail.com

Adalberto Noyola Robles⁴
IIUNAM
noyola@pumas.ii.unam.mx

Serie Manuales
SM16
Noviembre 2023

¹ Técnico Académico Titular C, Instituto de Ingeniería, UNAM

² Estudiante de Doctorado en Economía, Posgrado en Economía, UNAM

³ Ingeniera de Proceso-Proyectos, ELNSYST SA de CV (IBTech)

⁴ Investigador Titular C, Instituto de Ingeniería, UNAM

TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL:
*Metodología para estimar el potencial de reúso en una región
y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento.*

Primera edición, 16 de noviembre de 2023

SM 16

D.R.© 2023 **Universidad Nacional Autónoma de México**

Instituto de Ingeniería, UNAM

Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México

ISBN: 978-607-30-8269-3

doi: <https://10.22201/iingen.9786073082693e.2023>

La obra fue editada por el Instituto de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de México (IIUNAM). El cuidado de la edición estuvo a cargo de la Unidad de Promoción y Comunicación del IIUNAM. Esta obra está gratuitamente disponible para consulta e impresión, en archivo PDF de 9.5 MB, en la sección de Publicaciones del portal electrónico del IIUNAM, <http://www.iingen.unam.mx>, desde que se terminó de editar.

Términos de licenciamiento Creative Commons para protección de la difusión por terceras personas y derechos de autor de la presente obra: Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional



Prefacio

Esta obra se ha escrito con el objetivo de coadyuvar al desarrollo y adecuada gestión de los servicios de tratamiento de aguas residuales en México, enfocado a evaluar el potencial de reúso de agua tratada en una región. Para ello se proponen metodologías que han sido desarrolladas, aplicadas y perfeccionadas en trabajo teórico-práctico a lo largo de varios años en proyectos tanto para el sector público como privado y con base en la relación sinérgica que se ha logrado establecer entre el Instituto de Ingeniería de la UNAM-www-iingen.unam.mx- y la empresa ELNSYST SA de CV (con el nombre genérico comercial de IBTech. www.ibtech.com.mx), empresa de base tecnológica fundada en la UNAM bajo el auspicio del Programa de Incubación de Empresas de Base Tecnológica del Centro de Innovación Tecnológica de la UNAM (CIT-UNAM) en 1995.

Por otra parte, cabe señalar que la mayoría de las puntualizaciones que se hacen en la obra, sin duda pueden ser aplicados en otras regiones de Latinoamérica, por lo que la metodología propuesta, en este sentido posee un mayor espectro de aplicación.

Los resultados obtenidos a partir de los criterios y el procedimiento establecido en esta obra estarán alineados con las necesidades de un proyecto en particular. Sin embargo, la decisión final de tomarlos en cuenta o no es responsabilidad del tomador de decisiones que debe estar apoyado por un equipo humano técnico lo suficientemente versado en el tema de tratamiento de aguas residuales y usos de agua residual tratada para poder efectuar una correcta interpretación de los resultados obtenidos. Los criterios, conceptos, recomendaciones y algoritmos desarrollados no pueden ser tomados o utilizados mecánicamente y en forma abstracta; éstos deben ser siempre acompañados de análisis según las características y necesidades de cada proyecto.

Así mismo, este documento no pretende afectar intereses comerciales legítimos de ninguna entidad u organismo público o privado; por el contrario, busca incrementar el rigor

técnico de los estudios, diagnósticos e investigaciones para que éstas realmente atiendan la problemática de cada región de estudio y puedan así ser sujeto de una evaluación adecuada.

Para los no especialistas, bajo criterios eminentemente técnicos, se hace una propuesta de metodología para una toma de decisiones más objetiva y transparente, con las recomendaciones que se consideran adecuadas, en un marco de sustentabilidad para una región determinada.

Ciudad Universitaria, UNAM, Ciudad de México
Julio 2023
Los autores

Agradecimientos

Se agradece a los alumnos de servicio social Juan Carlos Martínez Salinas y Norma Paola Ángeles Peralta por su apoyo eficaz en la obtención de información y procesamiento de datos utilizados en este documento.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Resumen

Esta obra se enfocó en proponer una metodología para estimar el potencial de reúso de agua tratada en una región. Para ello, como punto de partida, se consideró necesario describir las técnicas, condiciones y factores que deben tomarse en cuenta para evaluar el estado operativo de las plantas de tratamiento de aguas residuales pertenecientes a la región seleccionada para el estudio. La propuesta metodológica estima la demanda de agua tratada en la agricultura, riego de áreas verdes, en la industria, en el lavado de automóviles y en las escuelas, entre otras actividades económicas sustentado ello con información de acceso público, lo que llega a facilitar enormemente la obtención de información. Un aspecto valioso de la metodología propuesta es que prescinde de la necesidad de recopilar información en campo en cuanto al consumo de agua en las industrias; información que muy a menudo las empresas no están dispuestas a proporcionar. En los capítulos 1 y 2 se hace una descripción de la situación general que impera en México en cuanto al reúso de agua tratada, así como las condiciones generales a tomar en cuenta para potenciar el uso de agua tratada. En seguida, en los capítulos 3 y 4 se detalla el procedimiento propuesto para estimar el potencial de reúso de agua tratada en una región alrededor de plantas de tratamiento de aguas residuales. En estos capítulos se hace referencia a los anexos del documento donde se podrán encontrar los formatos, tablas y procedimientos explicados para llevar a cabo el levantamiento técnico detallado de las plantas de tratamiento de aguas residuales, su evaluación y estimación de impactos ambientales y sociales mediante matrices de evaluación, entre otras cosas. Por último, ya en los capítulos finales, se desarrolla un ejemplo de aplicación de la metodología propuesta que abarca la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México en donde se seleccionaron 11 plantas para su evaluación con base en la información pública disponible.

Palabras clave: Agua residual, contaminación, plantas de tratamiento, municipal, reúso de agua tratada.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Abstract

This book is focused on proposing a methodology to estimate the reuse potential of treated water in a region. For this, as a starting point, it was considered necessary to describe the techniques, conditions and factors that must be taken into account to evaluate the operational status of the wastewater treatment plants belonging to the region selected for the study. The methodological proposal estimates the demand for treated water in agriculture, irrigation of green areas, in industry, in car washing and in schools, among other economic activities, supported by publicly accessible information, which greatly facilitates obtaining information. A valuable aspect of the proposed methodology is that it dispenses with the need to collect information in the field regarding water consumption in industries; information that very often companies are not willing to provide. In chapters 1 and 2 there is a description of the general situation that prevails in Mexico regarding the reuse of treated water, as well as the general conditions to take into account to promote the use of treated water. In chapters 3 and 4 detail the proposed procedure to estimate the reuse potential of treated water in a region around wastewater treatment plants. In these chapters reference is made to the annexes of the document where you can find the formats, tables and procedures explained to carry out the detailed technical survey of the wastewater treatment plants, their evaluation and estimation of environmental and social impacts through weighted factors technique evaluation, among other things. Finally, already in the final chapters, an example of application of the proposed methodology that covers the Metropolitan Area of Monterrey, Nuevo León, Mexico is developed, where 11 plants were selected for evaluation based on available public information.

Keywords: Wastewater, contamination, treatment plants, municipal, reuse of treated water.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Índice

Prefacio.....	v
Agradecimientos.....	vii
Resumen.....	ix
Abstract.....	xi
Índice.....	xiii
1 Introducción.....	1
2 Reúso de agua tratada.....	5
2.1 Reúso de agua tratada en México.....	7
2.2 Retos para el reúso del agua.....	10
2.3 Reúso municipal.....	13
2.4 Reúso industrial.....	15
2.5 Reúso en Riego Agrícola.....	17
2.6 Retos y oportunidades ante la publicación de la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021...	20
3 Procedimiento general propuesto.....	23
3.1 Identificación de la región de estudio.....	25
3.2 Evaluación general de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en la región.....	26
3.3 Actividades económicas con potencial de demanda de agua tratada.....	29
4 Metodología para el cálculo del potencial de reúso por actividad económica.....	33
4.1 Zonas agrícolas.....	33
4.2 Industria.....	35
4.3 Áreas verdes.....	41
4.4 Lavado de automóviles.....	42
4.5 Servicios educativos (Escuelas).....	43
4.6 Recarga de acuíferos con agua tratada.....	44
4.7 Estimación de la oferta de agua residual tratada a futuro.....	45
4.8 Balance hídrico final.....	46
5 Ejemplo de aplicación: Caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, México.....	47
5.1 Contexto.....	47
5.2 Procedimiento seguido para el estudio y resultados.....	50
5.3 Definición de la región de estudio y ubicación de las PTAR.....	50
5.3.1 Definición del radio de influencia de las plantas seleccionadas.....	53
5.3.2 Demanda potencial de agua en la PTAR Noreste.....	54
5.3.3 Demanda potencial de agua en la PTAR Santa Rosa.....	61
5.3.4 Demanda potencial de agua en la PTAR Cadereyta.....	67
5.3.5 Demanda potencial de agua en la PTAR Cadereyta II.....	73
5.3.6 Demanda potencial de agua en la PTAR García.....	77
5.3.7 Demanda potencial de agua en la PTAR Norte.....	84
5.3.8 Demanda potencial de agua en la PTAR General Zuazua.....	97
5.3.9 Demanda potencial de agua en la PTAR Pesquería II.....	102

5.3.10	Demanda potencial de agua en la PTAR Dulces Nombres	105
5.3.11	Demanda potencial de agua en la PTAR San Miguel Interpuerto.....	109
5.3.12	Demanda potencial de agua en la PTAR Santiago	113
5.4	Balance hídrico general.....	117
5.4.1	Consideración de duplicidades en la demanda de agua tratada.....	117
5.4.2	Balance hídrico general.....	118
6	Conclusiones	125
7	Referencias.....	127
8	Anexos	135
8.1	Anexo 1. Formato para el levantamiento de información técnica en campo para plantas de tratamiento de aguas residuales.....	135
8.2	Anexo 2. Cuestionario a operadores.....	146
8.3	Anexo 3. Matriz para la evaluación técnica de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	149
8.3.1	Operación de la matriz	149
8.3.2	Factores ponderados considerados en la matriz	150
8.4	Anexo 4. Matriz para la evaluación preliminar del impacto social de una planta de tratamiento de aguas residuales.....	152
8.4.1	Operación de la matriz	152
8.4.2	Factores ponderados considerados en la matriz	153
8.5	Anexo 5. Matriz para la evaluación preliminar del potencial de reúso alrededor de una planta de tratamiento de aguas residuales	156
8.5.1	Operación de la matriz	156
8.5.2	Factores ponderados considerados en la matriz	158

1 Introducción

La distribución del agua en México no coincide con la distribución geográfica de la población, existiendo notables diferencias entre el Sureste y el Norte de su territorio. Por otro lado, el destino del agua para uso consuntivo también presenta importantes diferencias, ya que el 75.7% del agua se utiliza en la agricultura; 14.7%, en el abastecimiento público; 4.7%, en las termoeléctricas y 4.9%, en la industria (CONAGUA, 2019).

La disponibilidad de agua potable para el consumo humano se reduce en forma constante por causa de la dinámica poblacional actual, y se acentúa por una inadecuada gestión de los recursos hídricos y por el Cambio Climático. Como resultado, la presión sobre la demanda del recurso hídrico se incrementa, lo que hace necesario identificar opciones para el abastecimiento de fuentes alternas (reúso de agua tratada) en las actividades económicas y sociales donde esto sea posible y así sustituir, incluso, agua de primer uso por agua tratada (Noyola, Padilla, Morgan-Sagastume, Güereca & Hernández, 2012).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no deben estar orientadas solamente al cumplimiento de las normas de descarga, deben empezar a considerar un uso más amplio de agua tratada como objeto primordial de las mismas, de forma que el agua tratada libere la demanda de agua potable utilizada en actividades que pueden ser llevadas a cabo con agua tratada (Morgan-Sagastume, Castro-Martínez & Noyola, 2022). En cada población se debe promover el uso eficiente y el reúso del agua en la agricultura si es el caso, habitacional, municipal e industrial.

En algunos casos se ha observado que efluentes adecuadamente tratados y con suficiente calidad para ser usados, retornan al drenaje ya que se carece de infraestructura y logística adecuada para el uso del agua tratada en el país (Noyola, Paredes, Morgan-Sagastume & Güereca, 2016). Por consiguiente, es necesario implementar y gestionar los recursos y política pública para

que se instalen sistemas de reúso, que requieren almacenamiento, transporte, suministro al usuario; así como, capital humano capacitado en ello.

Por otra parte, es responsabilidad del Estado la articulación de políticas públicas asociadas al uso de agua tratada, ya que difícilmente en la sociedad civil se podría conocer su potencial o las dimensiones que ello requiere sin las herramientas técnicas, informáticas e instituciones que el Estado posee. En este sentido, el eje rector debe orientar los esfuerzos y delinear la normativa e incentivos fiscales y no fiscales, para que el interés de optar por agua tratada aumente y se posicione en el mercado.

De igual forma, no basta con proyectos a corto plazo o dirigidos a un grupo en específico; se requiere delinear una política de promoción e inversión que permita, en un primer tiempo, conocer el potencial de reúso de agua tratada que existe en la zona alrededor de una PTAR, o bien especificar ello para localizar una PTAR que atienda la demanda identificada.

Para contribuir en la atención de esta problemática, el presente documento tiene el objetivo de proponer una metodología para el cálculo del potencial de reúso de agua tratada alrededor de una PTAR existente, o en regiones donde se desee instalar sistemas de tratamiento y reúso como resultado de una planeación integral.

El documento proporciona una visión general sobre el estado de la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales en el ámbito nacional con especial énfasis en el reúso de agua tratada. En los capítulos 3 y 4 se detalla el procedimiento propuesto para estimar el potencial de reúso de agua tratada en una región alrededor de plantas de tratamiento de aguas residuales. En estos capítulos se hace referencia a los anexos del documento donde se podrán encontrar los formatos, tablas y procedimientos explicados para llevar a cabo el levantamiento técnico detallado de las plantas de tratamiento de aguas residuales, su evaluación y estimación de impactos ambientales y sociales mediante matrices de evaluación, entre otras cosas.

Por último, ya en los capítulos finales, se desarrolla un ejemplo de aplicación de la metodología propuesta que abarca la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México en donde se seleccionaron 11 plantas para su evaluación con base en la información pública disponible.

Para los no especialistas, la guía presenta técnicas de evaluación de elementos constituyentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, y bajo criterios eminentemente técnicos, hace una propuesta de metodología para una toma de decisiones más objetiva y transparente, con las recomendaciones que se consideran adecuadas, en un marco de sustentabilidad para una región determinada.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

2 Reúso de agua tratada

La reducción y sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento de agua de primer uso a nivel mundial y el elevado nivel de estrés hídrico en diversas zonas del planeta, hacen prioritario el establecer medidas de reúso del agua en todos los órdenes de la actividad humana. Es necesario avanzar en el concepto conocido como “manejo integral del recurso agua” (*Integrated Water Resource Management*, IWRC, por sus siglas en inglés).

La Comisión Europea, en el año 2015 (European Comission, 2015), se refiere al reúso del agua tratada de manera planificada. Es decir, esquemas de reúso de agua tratada que se desarrollan con el objetivo de utilizar beneficiosamente un suministro de agua reciclada y en forma segura, sin riesgo a la salud, al ambiente y a la infraestructura donde se utilice. Por ejemplo, el reúso del agua tratada para riego agrícola generalmente permite sustituir las extracciones de agua de acuíferos que, de otra manera, el agua tratada sería descargada a los cuerpos de agua sin aprovechamiento.

Por el contrario, el reúso de agua no planificado se refiere a la reutilización incontrolada de aguas residuales tratadas después de la descarga. Un ejemplo de reutilización no planificada de aguas residuales es cuando los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales sin la calidad suficiente se descargan corriente arriba en un río mientras que en el río el agua se extrae aguas abajo para la producción de agua potable o para riego.

Las aguas residuales tratadas se pueden utilizar para una amplia variedad de propósitos, lo que implica innovaciones en cuanto a los usos potenciales. El objetivo general es el de contribuir a los objetivos ambientales y la sostenibilidad, que implica hacer que el agua esté disponible para usos futuros, tales como la restauración de ecosistemas acuáticos o creación de nuevos entornos acuáticos, el mantenimiento de arroyos (especialmente en estaciones secas), la recarga del acuífero (por ejemplo, por el control de la intrusión salina),

el riego agrícola, diversos usos industriales y de servicios, a la vez que recreacionales municipales, entre otros (European Commission, 2018).

En términos generales, el reúso de agua tratada incluye:

- Usos agrícolas u hortícolas como riego de cultivos (alimenticios y no alimenticios), recursos forestales, huertos y pastos.
- Usos industriales como agua de enfriamiento, agua de proceso, agua para lavado de pisos y naves industriales, fabricación de concreto, compactación del suelo, control del polvo, agua contra incendio, descarga de sanitarios, etc.
- Usos municipales paisajísticos como riego de parques públicos, recreativos y deportivos; jardines privados, bordes de carreteras, fuentes de ornato, mantenimiento de lagos recreativos, limpiezas viarias, sistemas de protección contra incendios, lavado de vehículos, descarga de inodoros públicos, control de polvo.

A menudo se hace la distinción entre el reúso directo o indirecto del agua, especialmente en el caso de producción de agua de calidad potable. En tal caso, el reúso directo de aguas residuales implica el uso del agua recuperada directamente en la tubería en un sistema de suministro de agua (generalmente siguiendo etapas de purificación avanzadas) sin haber sido incorporada primero en un arroyo, acuífero o lago natural (reúso indirecto) o en aguas subterráneas.

Por su parte, el reúso indirecto de aguas residuales implica el aprovechamiento del agua tratada después de su descarga en cuerpos de agua. En los Estados miembros de la Unión Europea (UE), como en la mayoría de los países desarrollados densamente poblados, es una situación común el reúso mediante la recarga de los acuíferos o incorporando el agua tratada a un cuerpo de agua superficial. En este sentido, La Agencia Medioambiental del Reino Unido (EA) ha recomendado a la ciudadanía que sea "menos aprensiva" a la hora de beber en el futuro agua potable de origen residual, como medida para hacer frente a las sequías (El Mundo, 2022). Esa es una de las recomendaciones efectuadas por la EA, tanto para los británicos como para el Gobierno de ese país y las compañías de agua, después de uno de los veranos más secos en su historia.

Este es un tema muy controversial entre académicos, usuarios, industria, organismos operadores, comisiones estatales de agua, etc., respecto a lo citado en el apartado 5.1 de la norma recientemente actualizada para la potabilización del agua (Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, agua para uso y consumo humano. Límites Permisibles de la calidad del agua): Dice así, “El agua de los sistemas de abastecimiento no debe tener como fuente de abastecimiento agua residual tratada”. Este enunciado no refleja con claridad si el uso indirecto de agua residual tratada cae en esta restricción; es decir, se entiende que el efluente de una PTAR no puede ser usado como fuente directa de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, pero ¿qué pasa si el efluente de una PTAR que cumple con la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 es vertido en un cuerpo de agua superficial, mismo que a su vez será la fuente de abastecimiento de una planta potabilizadora que entregará agua potable después de pasar por las barreras necesarias de tratamiento? Esto se conoce como reúso potable indirecto.

La sequía y escasez de agua en el mundo es evidente. Debido a ello, diversos países, como Singapur, han recurrido al reúso potable indirecto, cubriendo el 30 % de la demanda de agua de sus habitantes mediante sistemas de potabilización avanzados que aseguran una calidad de agua 100 % potable (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2022) Ciertamente son tratamientos costosos en su inversión, operación y mantenimiento, pero indispensables en esquemas de reúso directo donde la protección de la salud de los usuarios debe ser la máxima prioridad.

En México, la escasez del recurso sigue una tendencia en aumento, y se identifica un escenario de reúso directo no tan lejano. Al no contar con suficiente agua de calidad aceptable, se tendrá que recurrir, como otros países, al reúso potable indirecto; incluso en algún caso se tendrá que optar por el reúso potable directo, mezclando en el sistema de distribución agua de primer uso con agua tratada.

2.1 Reúso de agua tratada en México

Son escasos los documentos oficiales que cuantifican los volúmenes de aguas tratadas que se reúsan en México. La mayoría de los estudios realizados por las instituciones de investigación en México se centran principalmente en el caso del Valle de México, por ser la concentración

urbana más grande del país, y el Valle de Mezquital, por ser el área de mayor extensión que cuenta con un uso intensivo de las aguas residuales para la agricultura (De Anda Sánchez, 2017). No obstante, existen otros estudios ampliamente documentados sobre el potencial que tiene el reúso de las aguas tratadas en las PTAR municipales de Sonora, en donde una buena planificación permitiría irrigar anualmente una extensión agrícola equivalente a 28 mil hectáreas de cultivo en contraste con el escaso uso que actualmente se hace de las aguas residuales (de apenas el 15%) (Conagua, 2018). Asimismo, se han llevado a cabo iniciativas exitosas a nivel local en el Valle del Yaqui, en donde las aguas generadas por una granja porcina y tratadas en un sistema anaerobio se utilizan para la producción de trigo en una parcela de 50 hectáreas de extensión y para la generación de biogás (De Anda Sánchez, 2017).

Las estadísticas de la CONAGUA (2018) indican que se reúsan directamente (no como agua potable) 43.6 m³/s de aguas residuales tratadas, en tanto que el reúso indirecto es de 77.4 m³/s. Por su parte, el intercambio de aguas tratadas que sustituyen el agua de primer uso, se estima es de 8.2 m³/s. En términos generales, esto quiere decir que el reúso de agua residual tratada en México es de aproximadamente 54% con respecto del agua tratada (463 m³/s), tanto en PTAR municipales como industriales.

La Tabla 2.1 muestra las cifras agrupadas por entidad federativa al año 2018. En ella se puede observar que cinco estados concentran el reúso de agua tratada en un poco más de la mitad del total del caudal: Hidalgo, Nuevo León, Colima, Jalisco y el Estado de México, con 53.5%. Podría pensarse que los estados con el mayor índice de reúso serían aquéllos que tiene una situación importante de estrés hídrico, como la región central que abarca la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMCM) y el Estado de México, y los estados del Bajío y norte del país. No obstante, sólo Nuevo León tiene cifras importantes en el caso de los estados norteros.

Por su parte, la mayor cifra de reúso planificado de agua se da en el estado de Hidalgo (22.1 m³/s); pero esto es resultado de la construcción de la PTAR de Atotonilco, que trata las aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); aguas que una vez tratadas son usadas con fines de riego agrícola en la zona del Valle del Mezquital. Debe mencionarse que el riego de aguas negras ya se practicaba desde hace décadas en ese estado,

e incluso hoy en día hay alguna fracción de agua negra que se sigue utilizando con ese fin, como es el mismo caso de diversos municipios en el país.

Por otro lado, es de notar que sólo cinco estados de la república mexicana reportan intercambio (sustitución directa de agua potable por agua tratada) significativo de agua residual tratada, siendo Jalisco el que tiene la mejor cifra, con 6 m³/s.

Tabla 2.1 Reúso e intercambio de aguas residuales tratadas en México al año 2018

Entidad Federativa	Reúso (m ³ /s)	Intercambio (m ³ /s)
Aguascalientes	3.0	0.0
Baja California	3.1	0.0
Baja California Sur	1.6	0.0
Campeche	0.1	0.0
Coahuila	1.0	0.0
Colima	7.0	0.0
Chiapas	2.3	0.1
Chihuahua	3.8	0.7
Ciudad de México	1.7	0.0
Durango	3.5	0.0
Guanajuato	5.0	0.3
Guerrero	2.3	0.0
Hidalgo	22.1	0.0
Jalisco	6.3	6.0
Estado de México	6.3	0.0
Michoacán	2.8	0.3
Morelos	1.3	0.0
Nayarit	2.2	0.0
Nuevo León	11.8	0.8
Oaxaca	1.1	0.0
Puebla	3.6	0.0
Querétaro	1.9	0.0
Quintana Roo	1.8	0.0
San Luis Potosí	2.1	0.0
Sinaloa	4.9	0.0
Sonora	5.7	0.0
Tabasco	2.6	0.0
Tamaulipas	4.1	0.0
Tlaxcala	1.0	0.0
Veracruz-llave	3.0	0.0
Yucatán	0.2	0.0
Zacatecas	1.6	0.0
Total Nacional	120.8	8.2

Fuente: Elaboración propia con datos de (Comisión Nacional del Agua, 2018).

En una serie de estudios de caso recientemente realizados dentro de la iniciativa del Banco Mundial-Tratamiento de Aguas Residuales: de Residuo a Recurso- se reconoce al aprovechamiento de los recursos del agua residual no sólo como una manera de contribuir a la Economía Circular, sino también como una estrategia fundamental para obtener recursos financieros que permitan alcanzar la sostenibilidad de las PTAR, (ANEAS, 2018).

La venta de agua de reúso a industrias (como ocurre, en varios Organismos Operadores en México), como la venta o el autoconsumo de electricidad a través del biogás, resultan en ingresos que permiten al Organismo Operador recuperar una parte de sus gastos de operación. Por lo tanto, el aprovechamiento de recursos del agua residual no sólo presenta un beneficio ambiental, sino que puede contribuir a la sostenibilidad financiera de las PTAR.

Para poder maximizar el aprovechamiento de estos cuatro recursos (agua, energía, nutrientes e infraestructura existente) es preciso contar con planificación, tecnología, capacitación de recursos profesionales, y legislación adecuada y eficiente. El tiempo e inversión dedicados a mejorar estos factores reeditarán en forma importante, como los resultados de casos existentes lo demuestran (ANEAS, 2018).

2.2 Retos para el reúso del agua

En la Unión Europea (UE), región donde hay un importante avance en el tema, se han identificado siete barreras principales para el reúso racional del agua tratada (European Comission, 2015):

- Precio inadecuado del agua tratada: La diferencia de precio entre el agua reusada y el agua de primer uso no es suficiente, lo que lleva a la imposibilidad de recuperar totalmente los costos en la mayoría de los mercados del agua de reúso de la UE ante la existencia de subsidios públicos para recursos hídricos convencionales en muchas áreas de la UE. Esta situación conduce a un atractivo económico limitado o nulo de los proyectos de reúso del agua y a decisiones que no favorecen el reúso por parte de usuarios del agua y tomadores de decisiones.
- Control insuficiente sobre la extracción de agua. Hay muchas situaciones en las que el acceso a los recursos hídricos convencionales está insuficientemente

controlado por las autoridades, lo que resulta en una sobreasignación (permisos de extracción más allá de los recursos disponibles, incluidas situaciones en las que no se establece una cantidad máxima en los permisos) y extracción ilegal (cuando los permisos no se hacen cumplir, en particular porque no se supervisan las extracciones reales).

- Incertidumbre técnica y económica por parte de los tomadores de decisiones. Hay una serie de fallas de información, normativas y técnicas, así como problemas sociales, que limitan la disposición del consumidor a pagar por el agua tratada para reúso y, por lo tanto, su capacidad para competir con recursos de agua de primer uso.
- Falta de aceptación pública hacia el reúso del agua tratada. El temor a las posibles barreras comerciales sobre los productos agrícolas que se han cultivado utilizando agua residual tratada.
- Normativa demasiado exigente para el reúso del agua tratada. Por ejemplo, en Francia e Italia el rigor de los estándares de reúso de agua tratada existentes puede llegar a ser un obstáculo para una mayor identificación de soluciones de reúso de agua, debido a la alta carga administrativa y costos asociados para las autoridades locales, proveedores de agua tratada y usuarios.
- El reúso no es visto como parte del esquema de manejo integral de los recursos. La gestión integrada del agua no está suficientemente implementada e incluso es incipiente en algunos países de la UE. En particular, esto se caracteriza por: una fragmentación de responsabilidades y autoridad sobre las diferentes etapas del ciclo urbano del agua; y falta de comunicación y cooperación entre las partes interesadas que participan en todo el ciclo en determinadas regiones de la UE, en particular en el suministro de agua y el saneamiento.
- Retos e incertidumbre en aspectos técnicos. El tema del reúso del agua tratada en la UE parece estar maduro; las soluciones técnicas son bien conocidas y están disponibles para cubrir una amplia gama de aplicaciones y entornos. Sin embargo, estas soluciones no siempre son económicamente atractivas y persisten algunos desafíos técnicos. En particular, pueden mencionarse la eliminación de

contaminantes emergentes (productos farmacéuticos, metabolitos de medicamentos, productos químicos domésticos, pesticidas etc.) mediante técnicas de tratamiento convencionales, la necesidad de técnicas de monitoreo rápido que sean confiables y rentables, o el problema de la intrusión salina en los sistemas de alcantarillado obsoletos en las zonas costeras.

Para el caso de México, salvo el estudio del Instituto Mexicano del Agua (IMTA) para el reúso del agua tratada con fines de riego agrícola, desarrollado como parte de una cooperación tripartita Alemania-México-Bolivia organizado por la agencia de cooperación al desarrollo alemana (GIZ), (Ministerio del Medio Ambiente y Agua de Bolivia [MMAyA], 2018), no hay un estudio disponible y/o publicado en México que muestre la situación actual en cuanto a las posibilidades reales de reúso en México, o que señale a detalle los retos y desafíos a los que se enfrenta el sector, entre ellos las barreras técnicas, jurídicas, sociales o institucionales a esta opción.

Tomando como base las barreras que se señalaron en el caso de la UE, puede aseverarse que, en general, aplican para el caso de México, aunque resaltan dos aspectos por sus diferencias:

El primero de ellos es el técnico-económico, que involucra falta de certidumbre de los tomadores de decisiones para implementar proyectos por falta de solvencia financiera, ya que los consumidores no están acostumbrados a pagar ni siquiera el suministro de agua de primer uso y, por otro lado, el hecho de que existe un rechazo franco al uso de agua tratada, lo cual se ha observado esencialmente en regiones agrícolas, donde los ejidatarios no aceptan el reemplazo del agua negra usada anteriormente para riego, por agua residual tratada, puesto que reduce su productividad.

El segundo tema importante es que, en definitiva, el agua no es un recurso que se maneje como parte de un esquema integral en México. Actualmente no se observa un esfuerzo coordinado y planeado con visión a futuro que permita el uso racional del recurso hídrico en un contexto de evidente escasez creciente. Por consiguiente, los esfuerzos e inversiones en el sector no muestran coherencia en cuanto al reemplazo de agua de primer uso por agua residual tratada, y por ello la capacidad y tecnologías aplicadas en las PTAR no necesariamente

incorporan elementos de crecimiento para posibilitar el reúso del agua tratada. Es decir, se piensa sólo en el cumplimiento normativo, pero no en un escenario más integral y ambicioso, donde el agua residual no se vierta libremente al medio ambiente, sino que sea utilizada con fines productivos.

2.3 Reúso municipal

El reúso de agua tratada en México se hace bajo el marco de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Esta norma restringe los valores de DBO_5 y SST así como algunos parámetros relacionados con el control de patógenos para asegurar agua tratada de calidad para distintas actividades de reutilización en servicios al público, predominantemente en medio urbano. Esta norma también hace referencia a la NOM-001-SEMARNAT-1996 (ahora la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021 que sustituyó a la mencionada), en el sentido de que no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en ella.

El reúso de agua residual tratada con fines recreacionales a nivel municipal se ha practicado en México desde finales de la década de los años 50, sobre todo en la Ciudad de México, como el llenado de fuentes, lagos (Chapultepec) y los canales de Xochimilco, y también, en especial, para el lavado de automóviles y la regeneración del Lago de Texcoco. El reúso industrial se practica desde 1956 y el reúso del agua para fines municipales, para el riego de áreas verdes, desde 1958 (Corona, 2011).

En la Figura 2.3.1 se muestra una fotografía de la PTAR Santa Fe, ubicada en la Alcaldía Álvaro Obregón, en la Ciudad de México la cual genera agua tratada para reúso municipal. La planta de Santa Fe se construyó en el año 1994, cuenta con un sistema de tratamiento a base de lodos activados completamente mezclados para un caudal de diseño de 200 l/s con la incorporación de un tren de tratamiento nuevo. Recibe el agua residual del corporativo Santa Fe en la Ciudad de México a través de un colector para operar con un caudal máximo de 140 L/s con la infraestructura que tiene instalada y con posibilidad de ser usada.

El agua ya tratada se regresa y distribuye a diversos usuarios para el riego de las áreas verdes de una gran parte de Santa Fe y a usuarios particulares como bancos que contratan con la empresa concesionada operadora de la PTAR el suministro de agua tratada. Es de las escasas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales que tienen la posibilidad de venta de agua tratada en México y en donde el esquema de concesión a un operador privado ha dado resultados satisfactorios en cuanto a la operación y mantenimiento de la PTAR.



Figura 2.3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales municipales Santa Fe en la Alcaldía Álvaro Obregón, Ciudad de México perteneciente al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) en la Ciudad de México-2021 cuya agua tratada se comercializa para el riego de jardines y descarga de sanitarios en oficinas. *Fuente: Fotografía de los autores.*

El reúso municipal se considera para varios propósitos dentro de un área urbana, incluyendo:

- Riego de parques públicos y centros recreativos, campos deportivos, jardines de escuelas y campos de juego, camellones y las áreas verdes alrededor de edificios públicos; incluye el llenado y mantenimiento de fuentes y cuerpos de agua superficiales con fines recreativos.
- Riego de las áreas verdes de residencias individuales o multifamiliares, lavado en general y otras actividades de mantenimiento.

- Riego de áreas verdes alrededor de centros comerciales, oficinas y desarrollos industriales.
- Riego de campos de golf.
- Usos comerciales como el lavado de vehículos.
- Control de polvo y producción de concreto en proyectos de construcción
- Sistemas de protección contra incendios
- Descarga de sanitarios en edificios comerciales e industriales

El reúso urbano puede incluir servicios a grandes sistemas de usuarios y una combinación de usos residenciales, industriales y propietarios comerciales a través de sistemas de distribución dual. En estos sistemas, el agua residual tratada es repartida a los clientes por una red paralela de distribución de agua tratada (línea morada), separada del sistema de distribución de agua potable.

2.4 Reúso industrial

Las actividades industriales donde el reúso de agua residual tratada es más factible desde el punto de vista técnico-económico son los siguientes:

- Agua para sanitarios en oficinas y áreas de trabajo en naves industriales.
- Agua para torres de enfriamiento.
- Agua para lavado de pisos de maniobra y vehículos.
- Agua contra incendio.
- Agua para fabricación de concreto.
- Agua para control de polvos.
- Agua para compactación de suelos en vialidades.
- Agua para enjuagues en baños reciclados de operaciones de galvanoplastia.
- Agua para enjuagues en procesos de deslavado de telas por aplicación de cloro en industrias textiles.
- Agua para lixiviación de minerales en presas de jales en industria minera.

- Agua de proceso en industria papelera para fabricación de papel Kraft, semikraft y diversos papeles reciclados.
- Agua de proceso para aquéllos donde el agua no está en contacto con el producto final, especialmente si es alimenticio.
- Agua para calderas de vapor saturado y agua caliente ($P < 250$ psig)
- Agua para calderas de vapor sobrecalentado de alta presión ($P > 250$ psig)

Como se puede observar, el reúso de agua residual tratada en la industria siempre requiere alta calidad del producto; es decir, se requiere un alcance de tratamiento secundario como mínimo y, en menor proporción, tratamiento terciario e incluso tratamiento avanzado para remoción de sales.

La intensidad de uso de agua es una base para definir la necesidad de reciclar agua tratada en la industria (Ranade y Bhandari, 2014)), según muestra la Figura 2.4.1. Por esta razón, las industrias que utilizan más agua para diversos procesos productivos, como la papelera, la química, la azucarera, la refinación de petróleo y la generación térmica de energía (termoeléctrica), son las candidatas principales para considerar un reúso intensivo de agua residual tratada.

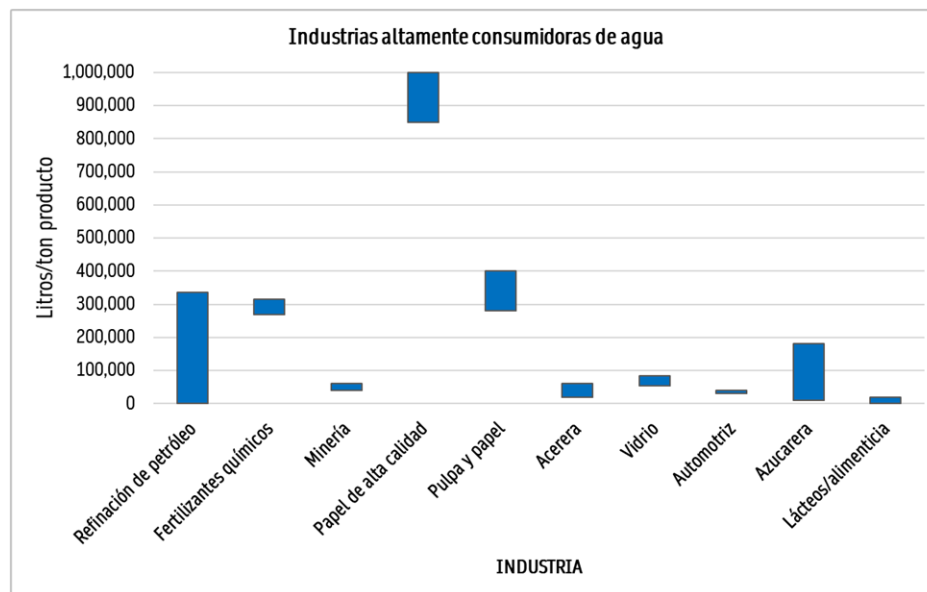


Figura 2.4.1 Industrias con uso intensivo de agua y necesidades de reciclaje y reúso de agua tratada.
Fuente: Ranade y Bhandari, (2014).

Sin embargo, aunque hay muchas industrias que tratan sus aguas residuales y efectivamente las reúsan al menos para servicios de lavado de pisos, control de polvos y acarreo de productos de desecho, existe una importante proporción de agua tratada reusada en la industria que no proviene del tratamiento de sus propias aguas residuales, sino de aguas residuales municipales. Esta práctica se observa muy especialmente en los corredores industriales de la ZMVM, Toluca y los corredores industriales ubicados en la zona del Bajío, así como algunas en la zona conurbada de Monterrey, Nuevo León, y es consecuencia de que el suministro de agua de primer uso en esos sitios no está garantizado en cantidad suficiente para permitir la actividad industrial, o bien su costo es elevado, lo cual ha orillado a muchos industriales a tratar el agua del drenaje municipal para abastecerse y de esta manera abatir sus costos de operación.

Para el caso industrial, es importante señalar la presencia en el agua residual cruda de contaminantes no biodegradables o recalcitrantes a remover. Esto implica riesgos significativos a la salud (eliminación de metales: todas las industrias asociadas con el procesamiento de metales), industrias que generan contaminantes orgánicos tóxicos y problemas de color (pesticidas, curtiembre y textiles), o industrias de procesamiento de alimentos donde se generan volúmenes de aguas residuales biodegradables bajos a moderados pero que se pueden tratar, reciclar y reusar más fácilmente.

En términos generales, el reúso de agua residual tratada con fines industriales se hace viable después de un tratamiento con alcance terciario, por lo que debería cumplir al menos con lo estipulado en la NOM-003-SEMARNAT-1997 (Diario Oficial de la Federación, 1997).

2.5 Reúso en Riego Agrícola

La disponibilidad de agua es fundamental para el éxito de los productores agrícolas a nivel mundial y abarca múltiples disciplinas relacionadas con la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía, la sociología, los estudios del comportamiento y las ciencias ambientales (O'Neill y Dobrowolski, 2011). Como tal, más del 60 por ciento de todas las extracciones de agua dulce del mundo se destinan a riego agrícola.

Las ventajas del uso de agua tratada en riego son las siguientes:

- El suministro de agua recuperada es muy confiable y generalmente aumenta con el crecimiento de la población.
- El costo de tratar las aguas residuales con estándares secundarios (y a veces incluso más altos) es menor que el costo del agua potable de fuentes de agua no convencionales (por ejemplo, desalinización).
- La opción de asignar agua tratada al riego e intercambiarla con agua de primer uso, es a menudo la alternativa de gestión más adecuada y menos costosa para dotar de nuevas fuentes de agua a los municipios.
- El agua recuperada es una alternativa para complementar las fuentes de agua dulce.

En muchos lugares, el agua tratada puede ser el agua de mayor calidad disponible para los agricultores y podría representar una fuente de fertilizante barata. Sin embargo, esta ventaja está condicionada a la cantidad de agua y nutrientes y el tiempo de aplicación adecuados.

Por lo anterior, el sector que en corto plazo podría aplicar el reúso de aguas residuales tratadas es el agrícola, a pesar de que el reciclaje y reutilización de aguas residuales es relevante para todas las poblaciones y sectores industriales.

Para el caso de México, la aplicación de la NOM-001-SEMARNAT-2021 es la que rige para el reúso de agua residual tratada en riego agrícola.

Un reto importante para el reúso de agua tratada en riego agrícola podría ser la eliminación de concentraciones pequeñas de contaminantes que implican riesgos significativos a la salud (eliminación de metales pesados y contaminantes emergentes, por ejemplo), pero sobre todo la eliminación de organismos patógenos y parásitos que representan un riesgo importante si se usa agua residual tratada con fines de riego agrícola o fertirrigación.

Para evaluar la calidad del agua tratada con respecto a la salinidad, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), ha publicado recomendaciones para el riego agrícola con agua tratada; esta información proporciona una guía para realizar una evaluación inicial para la aplicación de agua regenerada en un entorno agrícola (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

De cualquier forma, el reúso de agua en riego implica alcanzar una calidad de agua tratada adecuada en términos de material soluble. Por esa razón, un alcance primario de tratamiento hoy en día se considera insuficiente, siendo necesario avanzar hacia un alcance de tratamiento secundario para obtener un producto seguro en términos microbiológicos y fisicoquímicos. En este sentido, Pulido-Madrigal, (2017) (en De Anda Sánchez, 2017) analizó las principales características físico-químicas y bacteriológicas del agua residual sin tratamiento o no tratada adecuadamente que se usa para riego en varios estados de México. Su trabajo da a conocer los resultados sobre la capacidad de depuración de contaminantes que tienen los campos agrícolas que usan este tipo de aguas. Se concluye que cuando se utilizan este tipo de aguas por periodos largos (décadas), se pueden presentar problemas de acumulación de metales pesados en los suelos y la biomovilidad de éstos hacia las partes comestibles de la planta; asimismo, la salinidad de los suelos se incrementa y puede volverlos improductivos. Estas evidencias hacen imprescindible que el agua residual se deba tratar adecuadamente a fin de evitar problemas de contaminación en los diferentes compartimentos del ecosistema.



Figura 2.5.1 Planta de tratamiento de aguas residuales El Llano en la Alcaldía Tláhuac, Ciudad de México perteneciente al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) cuya agua tratada se destina al riego agrícola. *Fuente: Fotografía tomada por los autores.*

Por otra parte, para el caso concreto de México -y Latinoamérica en lo general-, las posibilidades del reúso de agua residual tratada en riego agrícola se han plasmado en un estudio del IMTA, desarrollado junto con el Ministerio del Medio Ambiente de Bolivia (Ministerio del Medio Ambiente y Agua de Bolivia, MMAyA, 2018).

En la Figura 2.5.1 se muestra una fotografía de la PTAR El Llano, ubicada en la Alcaldía Tláhuac, en la Ciudad de México la cual genera agua tratada para el riego agrícola en sus alrededores.

2.6 Retos y oportunidades ante la publicación de la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021

La norma NOM-001-SEMARNAT-2021 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 11 de marzo del 2022. La publicación de esta nueva norma viene a suplir la antigua NOM-001-SEMARNAT-1996 ya con 26 años de antigüedad, a todas luces anacrónica con las demandas y retos que hay en el país en relación con la contaminación de sus cuerpos de agua (Morgan-Sagastume, 2022).

Entre otros parámetros, la nueva norma añade la Demanda Química de Oxígeno (DQO), y para los casos con alta concentración de cloruros se debe determinar el Carbono Orgánico Total (COT), en sustitución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅). Añade también el color verdadero y la toxicidad aguda.

La norma ya publicada es coherente y balanceada en sus puntos más importantes; en donde un parámetro que no alcance a regular adecuadamente la contaminación en el cuerpo de agua, lo hace otro. Se establece un sistema donde la DQO, temperatura, color verdadero y toxicidad se complementan. Sin embargo, el punto más importante en cuanto al reto técnico-económico que supone la publicación de la nueva norma, lo define la regulación de los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo).

Atender esta nueva norma, implica mayores inversiones en materia de tratamiento de aguas residuales, tanto en el sector municipal como en el industrial. Una forma de poder evitar ello o en su caso disminuir este efecto, es enfocar el tratamiento de las aguas residuales al reúso de agua tratada, dando cumplimiento en principio a la NOM-003-SEMARNAT-1997 y

no enfocar el tratamiento de las aguas residuales a la descarga de agua tratada a los cuerpos de agua de la Nación, pues de lo contrario habrá que cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT-2021. Por lo tanto, una medida a considerar por la industria es desarrollar un sistema de reúso en sus instalaciones, que limite o elimine el caudal de descarga a bienes nacionales. La clave es el reúso de agua tratada. Tan solo para el año 2017, las industrias en conjunto generaron 2 millones de toneladas de DBO₅ y las descargas municipales aportaron hasta un 340% más de contaminantes a los cuerpos de agua superficial (Programa Nacional Hídrico-PNH, 2020-2024).

La nueva norma debe ser vista como un factor potenciador de una industria desarrollada adecuada al país, no como una traba que genere pérdidas de empleo o incrementos de precios de productos. El cumplir normas ambientales confiere competitividad en el mercado nacional e internacional y es la puerta para implementar políticas productivas enfocadas en la reducción de costos. Lo aducido (altos costos, encarecimiento de productos y despido de personal) por ciertos sectores industriales en contra de la nueva norma es un mito en una industria moderna y que no es compartido por un sector industrial consciente y dispuesto a atenderla. En este sentido, Cerda (2003) comenta que el medio ambiente ha pasado de ser un factor ajeno a las empresas para convertirse en un factor de competitividad, sobre todo cuando se plantean estrategias de prevención y reducción de residuos y emisiones, muchas de las cuales se han transformado en reducciones de costos o en la generación de productos alternativos a partir de los residuos.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

3 Procedimiento general propuesto

Para estar en condiciones de decidir con certeza y enfoque las inversiones requeridas en materia de tratamiento de aguas residuales es muy conveniente y necesario desarrollar un Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de una región específica (ciudad, municipio, poblado, comunidad, etc.), cuyo objetivo sea, en general, establecer los mecanismos de planeación a través de un marco de referencia en el cual se identifiquen y se cuantifiquen las acciones específicas en el corto, mediano y largo plazo que permitan avanzar en el alcance y conservación de la seguridad hídrica, así como en el cumplimiento progresivo del derecho universal sobre el acceso al agua y saneamiento. Con ello se constituirán los instrumentos técnicos para planear y programar las acciones a futuro para el cumplimiento de las metas establecidas.

En este contexto, resulta indispensable llevar a cabo estudios que evalúen el estado físico de la infraestructura de recolección y tratamiento de aguas residuales de la región definida, así como la demanda potencial de agua tratada actual y futura y en base a ello, se propongan las acciones de construcción de infraestructura nueva, y rehabilitación y reforzamiento de la existente. Estos estudios identificarán acciones referidas a una gestión eficiente de las aguas residuales tratadas con un enfoque hacia el incremento del potencial de reúso y el reordenamiento de los usos del agua, a fin de contribuir a la disminución de la demanda de agua potable de fuentes superficiales y subterráneas y al manejo y aprovechamiento óptimo de las aguas residuales y pluviales.

Se proponen, al menos, tres etapas para dicha evaluación:

- Identificación de la región de estudio.
- Evaluación técnica de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en la región.
- Cuantificación del potencial de reúso de agua tratada en la región.

En la Figura 3.1 se presenta el algoritmo propuesto para ejecutar la evaluación del potencial de reúso en una región. Los elementos de este algoritmo se describen a continuación.

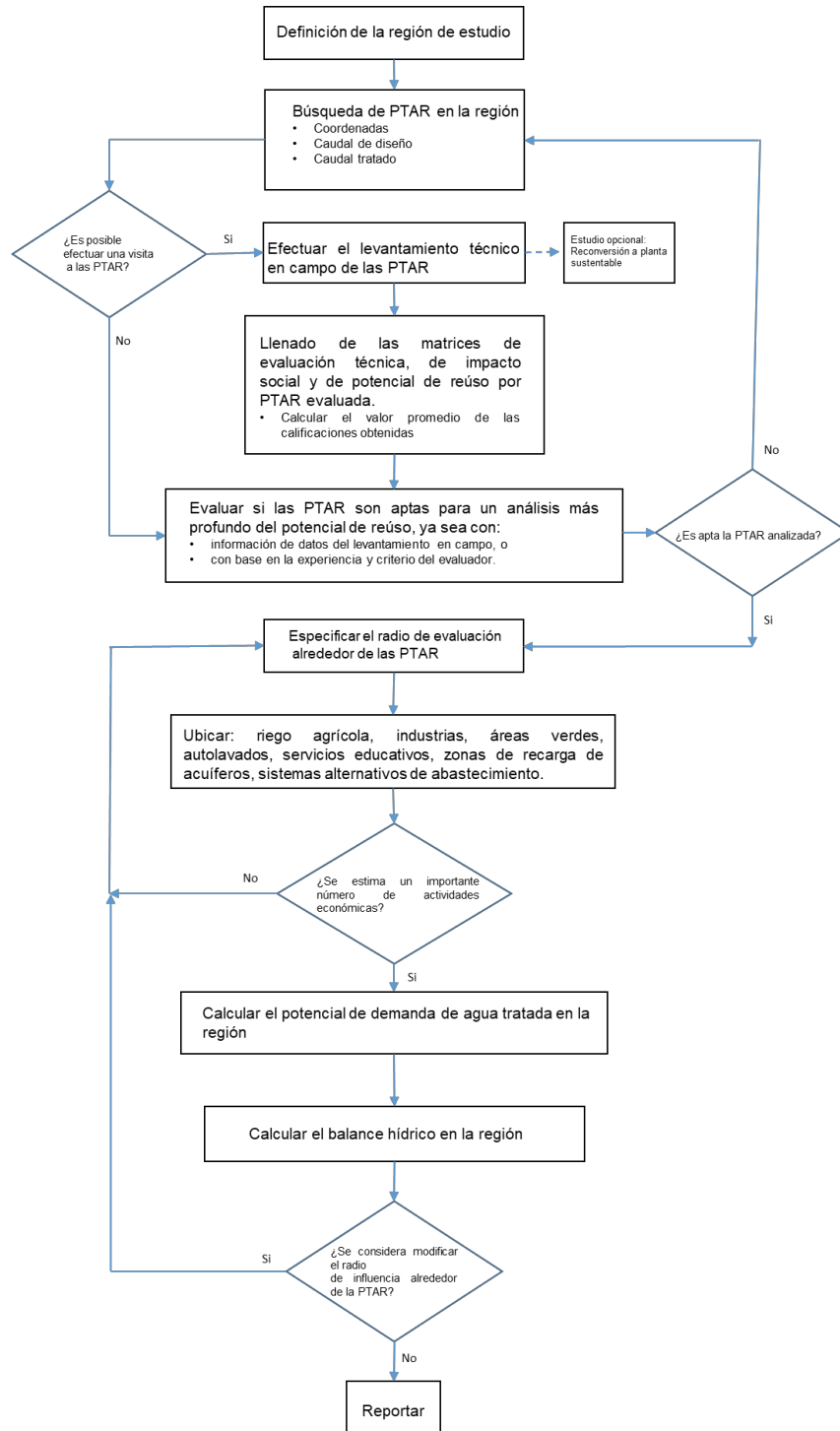


Figura 3.1 Algoritmo para ejecutar la determinación del potencial de reúso en una región

3.1 Identificación de la región de estudio

Es fundamental aplicar una metodología para evaluar las condiciones presentes en la región de estudio con objeto de determinar el potencial de reúso de agua tratada. De ello depende el éxito o fracaso de un proyecto de reúso de ese recurso.

Para ello, y como primer acercamiento, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos, que permitirán delimitar el área:

Aspectos climáticos y de disponibilidad de agua:

- Disponibilidad de agua por su distribución fisiográfica y climática.
- Regiones con alto estrés hídrico.
- Existencia de acuíferos, grado de explotación y posibilidad de recarga con agua tratada.
- Riesgos hidrometeorológicos, sísmicos.

Aspectos técnicos:

- Información sobre los usos del agua en la región.
- Información sobre las fuentes de contaminación del agua.
- Caracterización de las aguas residuales generadas en la región.
- Estado de la infraestructura para la extracción, potabilización y distribución de agua.
- Localización de las zonas de sobre-explotación de acuíferos.
- Existencia de plantas de tratamiento de aguas residuales y de infraestructura asociada a ello (fuentes de energía, manejo de subproductos, etc.).
- Identificación preliminar de la demanda de agua tratada
- Existencia de infraestructura para la distribución de agua tratada.
- Existencia de potencial de uso de subproductos de las PTAR (lodos y energía a través del biogás) o en su caso opciones para su disposición final.

Aspectos socioeconómicos, administrativos y políticos:

- Regiones con crecimiento económico y demográfico.
- Presencia de sectores industriales con alta demanda de agua.

- Disponibilidad de tierra que pueda ser usada para la instalación de la infraestructura de tratamiento de agua residual y suministro de agua tratada sin mayor problema legal y administrativo.
- Considerar la existencia de conflictos sociales y/o legales de cualquier tipo entre comunidades de la región que pudieran afectar los objetivos del proyecto.
- Aceptación por parte de la comunidad para el uso de aguas tratadas (variables socioculturales y religiosas).
- Considerar si es viable la solvencia económica para invertir en la infraestructura necesaria para el reúso de agua tratada.
- Existencia en la región de suministros de servicios y mano de obra que puedan desarrollar cadenas de valor alrededor del sistema de reúso de agua tratada.
- Considerar aspectos políticos en la región que pudieran afectar o potenciar un proyecto de reúso en la región.
- Estimación preliminar de la relación costo /beneficio del proyecto.
- Existencia de una estructura legal que favorezca el reúso de aguas residuales tratadas y los subproductos de las PTAR. Sistemas tarifarios, multas y penalidades.
- Posibilidad de la existencia o creación de un sistema de gestión administrativa que asegure la operación del sistema en el tiempo, su monitoreo y vigilancia.

3.2 Evaluación general de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en la región

La selección de las PTAR que generan agua tratada con potencial para su reúso cuenta con ciertas características que no necesariamente cualquier planta las cumple. Principalmente, dependerá de su ubicación, estado físico de la planta, del caudal de diseño y lo efectivamente tratado, la calidad del agua generada, y las actividades que se realizan en cierto radio alrededor de ella como potenciales consumidores del agua tratada.

Para el desarrollo de este alcance, es decir, la evaluación general de las PTAR, se propone llevar a cabo, al menos, las siguientes actividades para cada PTAR ubicada en la

zona de estudio (en el Anexo 1 se propone un formato de levantamiento de información en campo para plantas de tratamiento de aguas residuales):

- Localizar geográficamente la ubicación de la planta.
- Describir en términos generales el proceso de tratamiento del que consta la planta.
- Hacer un registro fotográfico comentado.
- Establecer la capacidad de diseño, capacidad instalada y caudal tratado real.
- Determinar el cumplimiento de la normatividad vigente.
- Evaluar el estado general de las instalaciones civiles, mecánicas, eléctricas, instrumentales y de control.
- Describir el manejo de lodos de purga y de residuos sólidos.
- Revisar la bitácora de operación y desarrollar un análisis estadístico de datos de al menos un año de operación para obtener valores promedio y con una probabilidad de ocurrencia del 80 a 85%.
- Medir las dimensiones generales de los tanques y cotejar con los planos de diseño originales.
- Revisar las instalaciones del laboratorio. Establecer las capacidades analíticas reales del laboratorio.
- Aplicar una evaluación al personal operador sobre los aspectos elementales de control y operación de las PTAR para establecer las necesidades de capacitación (ver Anexo 2-cuestionario a operadores)
- Recopilar información sobre costos de operación y mantenimiento.
- Efectuar un análisis técnico – ingenieril sobre las capacidades teóricas de operación de la planta que conlleve un análisis de sensibilidad al flujo, a la DQO y SST. Determinar el potencial máximo de tratamiento de la planta y los elementos limitantes dentro del proceso.

Lo anterior permitirá establecer el estado y capacidad real de tratamiento de cada una de las PTAR evaluadas, así como plantear las acciones pertinentes para llevar a cabo una rehabilitación o, en su caso, una reconversión a procesos sustentables (sistemas anaerobios seguidos de sistemas aerobios con el aprovechamiento del biogás y manejo adecuado de los lodos).

Por lo anterior, antes de proceder con el estudio de potencial de reúso, se recomienda efectuar una evaluación general mediante la aplicación de tres matrices de factores ponderados sobre la evaluación técnica integral de las plantas (Anexo 3-Evaluación técnica de plantas), sobre el impacto social estimado de las plantas (Anexo 4-Estimación del impacto social de una PTAR) y sobre el potencial preliminar de reúso de agua tratada (Anexo 5- Estimación del potencial preliminar de reúso para una PTAR) para cada planta. Con base en ello, se deberán seleccionar las plantas candidatas para efectuar con mayor profundidad el estudio de la estimación de la demanda potencial de agua tratada actual y futura en los alrededores de las plantas. Se sugiere que las plantas que sean seleccionadas para el estudio de potencial de reúso tengan una calificación promedio, considerando las tres evaluaciones mencionadas, superior a un valor de 6.

La evaluación técnica de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales es uno de los aspectos más importantes a los que se enfrentan muchas autoridades empresariales y de gobierno pues al no ser especialistas en el tema, tienen la responsabilidad de tomar una decisión adecuada en función de las necesidades legales, económicas, financieras, contractuales etc. de la organización pública o privada que representan (Noyola *et al.*, 2013).

La técnica de evaluación propuesta en este trabajo mediante matrices de factores ponderados ayuda a evaluar y ponderar numéricamente las mejores condiciones para el desarrollo de un proyecto para la determinación del potencial de reúso.

Estas matrices correlacionan los distintos aspectos que pueden ser evaluados a un proceso de tratamiento de agua bajo una circunstancia de aplicación o proyecto con calificaciones que se le asigna a cada rubro según los criterios del evaluador y en función de la importancia que posee cada uno de ellos en el proyecto y de cómo son resueltos por los procesos de tratamiento evaluados. Esta técnica permite que una evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva y es así que mientras más capacitada y experta sea la ponderación y calificaciones de los procesos, más confiable será la decisión tomada a través de la matriz.

3.3 Actividades económicas con potencial de demanda de agua tratada

Para cada PTAR analizada se establece la oferta actual de agua tratada y la potencial. La primera corresponde a la capacidad actual en la PTAR, es decir, los m³/anuales de agua tratada que genera la planta de tratamiento. La segunda corresponde al valor máximo de diseño de la PTAR.

Para determinar el área de influencia potencial en donde se pudiera usar el agua tratada de las plantas, se recomienda delimitar a priori radios alrededor de la PTAR, por ejemplo, de 2, 5, y 8 km. En este documento se tomarán a manera de ejemplo estos radios. Ellos pueden ser especificados en función de las necesidades de un estudio en específico.

Para el cálculo de demanda potencial de agua residual tratada, se recomienda considerar las siguientes actividades económicas en las cuales es posible el uso de agua tratada en sustitución de agua potable:

Riego agrícola. En el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], (2020a) es posible obtener el tipo de cosecha, volumen de producción, rendimiento y precio de los sembradíos en el país a nivel municipal diferenciado por ciclo de producción. En este contexto, es posible delimitar, si existen, el tipo de cosechas a la redonda de la PTAR en evaluación.

Áreas verdes. Siendo que el riego de camellones, parques y glorietas públicas, centros recreativos como campos de golf, centros deportivos, panteones, áreas al aire libre de escuelas públicas y privadas, y similares, demandan un constante riego, el uso de agua tratada para esta actividad es una alternativa significativa para la reducción de demanda de agua potable.

La identificación de algunas de ellas es factible realizarla a través del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas [DENUE] (2020), y la misma plataforma permite el cálculo del área de evaluación. Sin embargo, en muchas ocasiones habrá que apoyarse también mediante una identificación visual con plataformas como Google Maps, Google Earth o equivalentes.

Industria manufacturera. La actividad económica primaria y sobre todo la secundaria demanda gran volumen de agua para la producción de diferentes bienes, y para el mantenimiento propio de las instalaciones. Por lo tanto, se considera un elemento potencial importante para el uso de agua tratada en etapas de producción donde no sea requerida el agua potable.

Para su delimitación y comparabilidad en la producción mundial, y sobre todo con Estados Unidos y Canadá, se considera el catálogo del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte [SCIAN], (2018) las 20 ramas industriales con código del 31-33. Asimismo, se recomienda acotar a las industrias con un tamaño equivalente a 51 o más empleados, según los intervalos preestablecidos en la base del DENUE, (2020). Se recomienda recabar información sobre la dirección del establecimiento, coordenadas, nombre de la unidad económica, razón social, nombre de la clase de la actividad, fotografías del establecimiento, etc. Ello debido a que, por el tipo de giro y proporción de los mercados, son las industrias medianas a grandes las que más requerimiento de agua tienen y por tanto un mayor potencial de reúso.

Servicios de auto lavados. La materia prima para realizar este servicio es agua limpia, más no potable. Se consideran estas unidades económicas en el ramo de las microempresas con potencial de reúso de agua tratada. Se recomienda acotar el análisis a establecimientos con 6 o más empleados y con dimensiones de atención de 1 automóvil o más en una hora por empleado. La demanda de agua depende del uso de cubeta, manguera o regadera; el uso de cubetas es lo más común. Las unidades económicas pueden ser geo localizadas mediante el DENUE, (2020) con el código 811192 (ver Figura 3.3.1).

Servicios educativos. Los servicios educativos incluyen escuelas de nivel secundaria, medio superior, superior, así como escuelas de oficios, artes, deporte e idiomas. Se recomienda analizar aquellas con 11 o más empleados, considerando que el número de personas que hacen uso del servicio sanitario es de aproximadamente de 15 a 17 veces mayor por empleado al considerar los alumnos. Por otra parte, se recomienda excluir, por razones de riesgo sanitario debido a una posible ingesta accidental de agua tratada, a los niveles preescolar y primaria, siempre y cuando estas instalaciones no tengan un control efectivo sobre el suministro de agua para beber, así como otras centrales y corporativos que no brinden directamente el servicio a estudiantes.

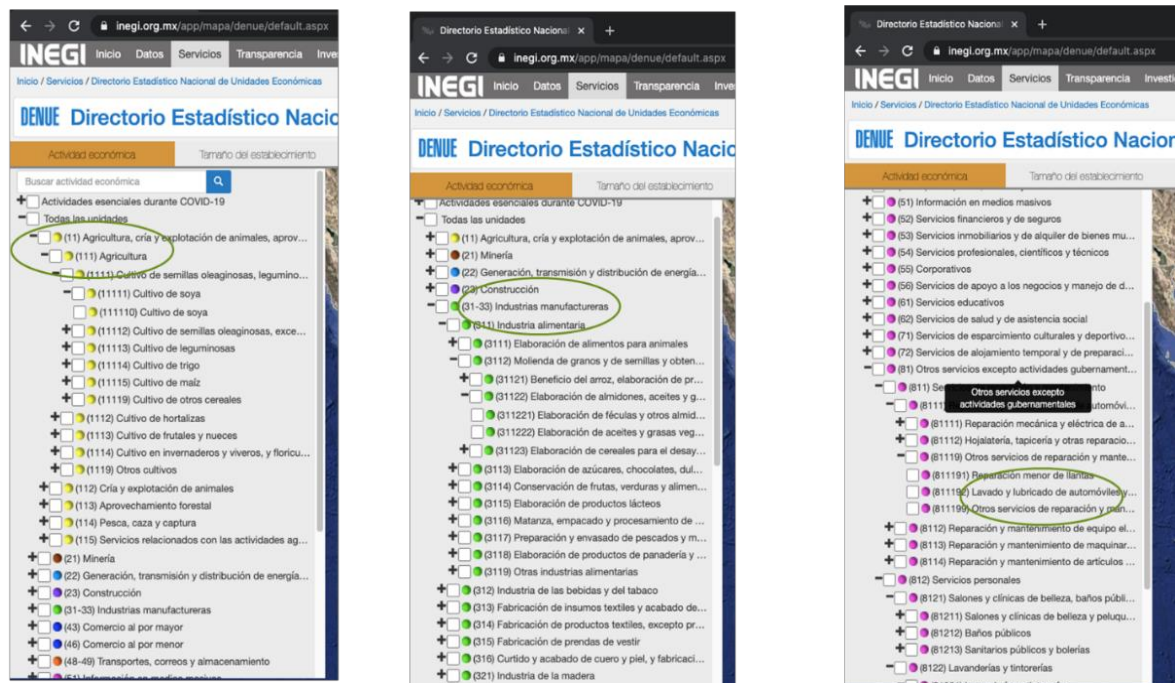


Figura 3.3.1 Imagen que muestra un ejemplo de búsqueda de información en la plataforma del DENUE (2020) para distintos cultivos, industria manufacturera y del lavado de automóviles

Para la identificación de los Servicios Educativos es posible referirse al Directorio de Escuelas por nivel académico en el portal del Gobierno Federal, (2020) y/o referirse también al DENUE, (2020) para su identificación geoespacial con los siguientes códigos: 61113-Escuelas de educación secundaria general, 61114-Escuelas de educación secundaria técnica, 61115-Escuelas de educación media técnica terminal, 61116-Escuelas de educación media superior, 6112-Escuelas de educación post-bachillerato, 6113-Escuelas de educación superior, 6114-Escuelas comerciales, de computación y de capacitación para ejecutivos, 6115-Escuelas de oficios y el 6116-Otros servicios educativos (escuelas de arte, deporte e idiomas).

Sistemas alternativos de abastecimiento. Se consideran desarrollos inmobiliarios nuevos y que tengan instalada una línea independiente para agua tratada enfocado a uso en mingitorios, descarga de sanitarios y riego de áreas verdes, entre otros. Esta información no se encuentra en el DENUE, (2020), por lo que debe ser obtenida in situ a través de información que posea el municipio o comunidad al respecto.

Recarga de agua tratada al acuífero. En caso de contar con puntos de posible recarga de agua tratada identificados alrededor de las PTAR. Esta información no se encuentra en el DENU, (2020), por lo que debe ser obtenida en sitio mediante información proporcionada por la autoridad regional o a través de otro tipo de fuentes de información especializados en el tema (por ejemplo, estudios hidrogeológicos). El agua tratada debe cumplir con normas específicas para su infiltración o inyección al acuífero, por ejemplo, la Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003 que especifica los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.

4 Metodología para el cálculo del potencial de reúso por actividad económica

La información primaria para la elaboración de esta metodología está referenciada por información del: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2020), la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo [ENOE], (2020), Sistema de Cuentas Nacionales de México (2020), Censo Nacional de Población y Vivienda (2020); así como, el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN, 2018), y el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020a, 2020b), el Índice de Rezago Social que estima el Consejo Nacional de Evaluación de Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2021) y el Índice de Marginación Social por parte del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2021).

4.1 Zonas agrícolas

El trabajo de dimensionamiento de las zonas agrícolas se realiza principalmente por medio de su visualización directa en la plataforma Google Earth (Google. S.f. a) o equivalente, una vez identificadas las cosechas en la información censal, como es el caso del SIAP, (SIAP, 2020a, 2020b). Este dimensionamiento es una estimación gruesa del área cultivable, ya que no se cuenta, en varios casos, con la información precisa del área cultivable, rendimiento, o la delimitación de las parcelas, características del suelo; erosión o la misma tenencia de la tierra. Sin embargo, la información primaria del SIAP (SIAP, 2020a, 2020b) contribuye al cálculo de la demanda hídrica por unidad de producción agrícola.

La demanda hídrica por cultivo real depende de muchos parámetros como calidad del suelo, incidencia solar, periodicidad pluvial, entre otras (Comisión Nacional de Riego, 2000). Para estimar los requerimientos de agua para regadío de tierras agrícolas aledañas a las PTAR

analizadas, en primer lugar, se sugiere calcular un factor promedio de demanda de agua empleada para riego (no cultivos de temporal) en agricultura en la región donde se ubique la PTAR. Es posible que en algunos casos se decida incluir también la demanda de agua para riego de cultivos de temporal, para incrementar la productividad, ello será decisión del evaluador. Para efecto del ejemplo llevado a cabo más adelante en este documento, solamente se contemplará el riego en cultivos que no son de temporal.

Posteriormente, se calcula la demanda de agua de los cultivos de riego (no de temporal) reportados considerando la huella hídrica de cada uno de ellos, es decir los m³agua/ton de cultivo.

El concepto de huella hídrica fue desarrollado por Hoekstra y Hung (2002) con el objetivo de obtener un indicador que relacionara el uso del agua con el consumo humano. La huella hídrica no solamente mide el volumen de agua utilizado, sino que además distingue entre el agua de lluvia empleada (huella hídrica verde), el agua superficial y subterránea (huella hídrica azul) y, el agua residual o contaminada (huella hídrica gris) (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

Para calcular el agua requerida para riego, se recomienda considerar únicamente la huella hídrica azul para cada tipo de cultivo en área de riego. En México la huella hídrica azul es aproximadamente un 35% mayor que la media internacional debido a que el riego es menos tecnificado (AgroDer, 2021); por lo que, en los cálculos, se recomienda aumentar con un factor de 1.35 la huella hídrica reportada en la literatura internacional y compilada por Mekonnen y Hoekstra (2011).

Por consiguiente, el cálculo de la demanda de agua para riego agrícola se obtiene de la suma de los productos de la huella hídrica azul por cultivo; (m³agua/ton de cultivo) x (ton de cultivo/año), dividido entre el área agrícola total, lo que da como resultado la demanda de agua (m³agua/ unidad de área/año) y ello multiplicado por la fracción de área cultivada por riego identificada como no de temporal. Esta fracción se puede estimar haciendo una ponderación entre los cultivos para riego dividido entre los cultivos totales de una región que se pueden consultar en el SIAP (SIAP, 2020a, 2020b).

$$D. A_{agr} = \frac{\sum_1^n (\text{Huella hídrica azul} * \text{Producción de cultivo})}{\text{Área agrícola}} Ar \quad (4.1)$$

Donde:

n es el tipo de cultivo;

$D.A._{agr}$ es la demanda de agua agrícola, (volumen/área/tiempo);

A_r es la fracción del total que corresponde al área cultivada por riego.

Para cada PTAR analizada, se debe estimar el área de cultivo alrededor de las PTAR en los radios propuestos para el análisis (por ejemplo, 2, 5 y 8 km).

4.2 Industria

Para calcular la demanda potencial de agua tratada en la industria hay que considerar dos aspectos; la demanda de agua tratada por servicios sanitarios de los empleados y posible riego de áreas verdes y lo que pudiera requerir de agua tratada para atender los sistemas productivos dentro de la planta (por ejemplo, agua de enfriamiento, sistemas contra incendio, lavado de automotores para transporte, lavado de pisos, etc.); siendo este último aspecto el de mayor importancia para el cálculo del potencial de reúso de agua tratada en la industria.

En consecuencia, debido a que la demanda hídrica de cada industria por región en México no está disponible, se propone una metodología que considera el estudio de Marston, Ao, Konar, Mekonnen & Hoekstra, (2018), quienes integraron en una base de datos la huella hídrica de industrias en los Estados Unidos de América (EUA). Esta base de datos incorpora en el apartado de huella hídrica de Comercio, Industria e Instituciones a 22,541 referencias agrupadas en 378 ramificaciones de estos tres sectores económicos en los EUA. Cada una de ellas se distingue con la codificación industrial SCIAN; que, como se mencionó con anterioridad, es comparable con la codificación Industrial de México, lo que permite la comparabilidad de los datos.

Dentro de la información procesada, se cuenta con la demanda hídrica en $m^3/año$ y en $m^3/1000$ USD por sector industrial asociada a una región de este país. La cantidad en dólares de los Estados Unidos de América (USD) se refiere al valor del producto de la industria. Ello puede ser referido a un Producto Interno Bruto (PIB) por sector industrial.

Para poder incorporar la información procesada para los EUA a la industria instalada en México, se realizó el cruce de información del Valor del Producto por Industria en EUA con el valor del Producto Interno Bruto Industrial (PIB-I) en México por empleado ocupado; con ello es posible estimar el número de empleados para cada una de las industrias, previamente ubicadas alrededor de la PTAR. La información de PIB-I está disponible en las bases de datos de estadísticas oficiales de la Matriz-Insumo-Producto del INEGI (2021).

Por otra parte, en la plataforma del DENUÉ (2020), es posible ubicar con toda precisión cualquier instalación industrial y su tipo (según el SCIAN) alrededor de una PTAR además de obtener el número de empleados que trabajan en ella.

Por lo tanto, el procedimiento para el análisis y procesamiento de información para estimar la demanda de agua en la industria alrededor de la PTAR se realizó en tres partes: primero se calculó del PIB Industrial por empleado, con ello se determina el número de empleados requeridos por cada 1000 USD de PIB anual en México y, de la base de datos de EUA donde se calcula el consumo de agua por sector industrial por cada 1000 USD de valor de producto, es posible estimar el consumo de agua por industria por empleado al año en México. Lo anterior se resume en la Tabla 4.1 efectuado para el año 2019 con un total de 10 columnas, las primeras dos son de identificación de la industria, las siguientes se comentan a continuación.

Columna 3. PIB Industrial anual del 2019 para México en USD según el tipo de cambio reportado por el Banco de México (21.21 pesos/USD marzo 2021).

Columna 4. Número de empleados por Industria en México al 2019 con base en la Encuesta Nacional de Ocupación y empleo para el 2019 (ENOE, 2020).

Columna 5. PIB Industrial por empleado al año. Se divide el PIB Industrial 2019 en USD entre el número de empleados de cada tipo de industria en el mismo año. Es decir,

$$PIB\ Industrial\ por\ empleado\ al\ año = \left(\frac{PIB\ Industrial\ 2019}{Industria\ X * año} \right) \left(\frac{Industria\ X}{No.Empleados\ 2019} \right) = \frac{PIB\ de\ Industria\ X}{No.empleados * año} \quad (4.2)$$

Columna 6. Número de empleados requeridos por cada 1000 USD generados de PIB al año por cada tipo de industria. Se calcula mediante el inverso del PIB por cada sector industrial que se genera por empleado al año multiplicado por 1000:

$$\text{Empleados por cada USD de PIB al año} = \frac{1}{\frac{\text{PIB de industria X}}{\text{No.empleados *año}}} = \frac{\text{No.empleados *año}}{\text{PIB de industria X}} \quad (4.3)$$

$$\text{Empleados por cada mil USD de PIB al año} = \frac{\text{No.empleados *año}}{\text{USD de PIB de industria X}} \times 1000 = \frac{\text{No.empleados *año}}{\text{mil USD de PIB de industria X}} \quad (4.4)$$

Columna 7. Se reporta el consumo de agua promedio por industria por cada 1000USD de valor de producto en los EUA.

Columna 8. Estimación del consumo promedio de agua por industria en México por empleado al año. Se dividió el consumo promedio de agua por cada 1000 USD producidos por Sector Industrial reportado en la base de EUA entre el número de empleados requeridos por cada 1000 USD producidos en un año (Columna 6).

$$\text{Consumo por Sector Industrial} = \left(\frac{1000 \text{ USD/año}}{\text{No.empleados}} \right) \left(\frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{1000 \text{ USD}} \right) = \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{empleado *año}} \quad (4.5)$$

Por otra parte, al considerar que no toda el agua utilizada en la producción de un producto puede ser sustituida por agua tratada, se debe considerar una fracción por sector industrial. De acuerdo con el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recurso Hídricos (WWAP, 2017) en el sector manufacturero canadiense, la tasa de recirculación de agua como porcentaje del agua de entrada es del 50%, la cual se usa principalmente en procesos de enfriamiento, condensación y generación de vapor, y en agua de proceso. Por otro lado, Exall, Jiménez, Marsalek & Schaefer, (2008) reportaron que, en Canadá, el reciclaje de agua en la industria es una práctica común; cerca del 40% del agua es reciclada y se utiliza en procesos como enfriamiento.

Por otra parte, en el caso específico de la industria química en México, se puede reusar agua tratada entre el 60 a 70 % para sistemas de enfriamiento (CONAGUA, 2018). En este mismo sentido, en términos generales, Lara (2022) reporta que, de todas las grandes y medianas industrias de la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, en México que utilizan agua tratada, se usa alrededor de 3 m³/s, de ello 2 m³/s provienen del acuífero y 1m³/s es agua tratada, es decir, se

reúsa un 33% al momento, aunque ello no quiere decir que sea necesariamente el potencial máximo de reúso de agua en estas industrias. Se presume que sea mayor.

Otra ciudad importante en el norte del país con escasez de agua es Tijuana. En una encuesta llevada a cabo a 91 empresas del sector industrial (manufactureras, comercio y servicios) se estimó un consumo de agua tratada alrededor del 42 %. El 94% de las industrias manufactureras mostraron interés en efectuar las inversiones necesarias para generar el agua tratada requerida (González, 2012). En este mismo sentido, el Instituto Nacional de Estadística de España reportó un porcentaje de uso de agua tratada con respecto a la demanda total de agua en el sector industrial manufacturero del 57% (Instituto Nacional de Estadística, 2013).

Es decir, se contempla un potencial del reúso industrial amplio y no solamente la descarga de sanitarios con agua tratada del personal empleado en las fábricas. Con base en ello, en este estudio se optó por adoptar como referencia un porcentaje de 50% como promedio para la relación de agua residual tratada que podría sustituir agua de primer uso de industrias como: fabricación de insumos textiles y prendas de vestir, Industria de Papel, Industria Química, equipo eléctrico y de transporte. Para industrias como la del sector de Alimentos y Bebidas, de Maquinaria y Equipos de Computación, y otras, se asumió que el 30% del agua que se consume podría ser sustituida con agua residual tratada debido a un requerimiento de agua con mejor calidad que no necesariamente podría suplirse con agua tratada de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Por lo tanto, las subsecuentes columnas que aparecen en la Tabla 4.1 son:

Columna 9. Potencial de agua de primer uso a sustituir,

Columna 10. La demanda potencial de agua residual tratada por cada sector industrial por empleado al año.

Finalmente, para obtener la demanda potencial de agua residual tratada al año de una fábrica perteneciente a un sector industrial en específico identificada en el DENU (2020) alrededor de la PTAR en estudio, se multiplica el número de empleados en la fábrica por el resultado de la columna 10. La suma de la demanda potencial de las fábricas por sector industrial identificadas alrededor de la planta constituye, entonces, el potencial de reúso industrial.

Tabla 4.1. Estimación de la demanda potencial de agua residual tratada por empleado en la industria manufacturera para el año 2019.

Código SCIAN	Nombre de la Industria	PIB Industrial anual (2019) en USD en México	No. Empleados por Industria en México 2019 (ENOE)	Producto Industrial por empleado al año (USD/emp./año)	Empleados requeridos por cada 1000 USD de PIB al año (emp./1000 USD)	Consumo promedio de agua por industria en EUA (m ³ /1000 USD)	Consumo promedio de agua por industria en México por empleado (m ³ /emp./año)	Potencial de agua de primer uso a sustituir (%)	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /emp./año)
311	Industria alimentaria	\$32,535,512,023	616,119	\$52,807	0.0189	0.2671	14.10	30%	4.23
312	Industria de las bebidas y del tabaco	\$8,324,637,954	136,566	\$60,957	0.0164	2.4890	151.72	30%	45.51
313	Fabricación de insumos textiles	\$1,186,933,711	61,318	\$19,357	0.0517	0.8663	16.76	50%	8.38
314	Confección de productos textiles, excepto prendas de vestir	\$641,726,167	26,869	\$23,883	0.0419	0.5770	13.78	50%	6.89
315	Fabricación de prendas de vestir	\$2,775,271,711	148,673	\$18,667	0.0536	0.1427	2.66	50%	1.33
316	Fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos, excepto prendas de vestir	\$1,020,831,259	75,427	\$13,534	0.0739	0.2570	3.47	30%	1.04
321	Industria de la madera	\$1,164,226,638	16,691	\$69,752	0.0143	1.4838	103.49	30%	31.04
322	Industria del papel	\$2,542,693,399	87,750	\$28,977	0.0345	6.3084	182.79	50%	91.39
323	Impresión e industrias conexas	\$874,253,371	36,068	\$24,239	0.0413	0.0555	1.34	30%	0.40
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	\$1,859,464,498	24,173	\$76,922	0.0130	4.1765	321.26	50%	160.63
325	Industria química	\$10,827,968,647	167,958	\$64,468	0.0155	3.4295	221.09	50%	110.54
326	Industria del plástico y del hule	\$3,996,582,178	245,782	\$16,261	0.0615	0.4913	7.98	50%	3.99
327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	\$3,537,472,702	106,038	\$33,360	0.0300	3.2155	107.27	50%	53.63
331	Industrias metálicas básicas	\$8,197,690,146	98,509	\$83,218	0.0120	13.7275	1142.37	30%	342.71

Código SCIAN	Nombre de la Industria	PIB Industrial anual (2019) en USD en México	No. Empleados por Industria en México 2019 (ENOE)	Producto Industrial por empleado al año (USD/emp./año)	Empleados requeridos por cada 1000 USD de PIB al año (emp./1000 USD)	Consumo promedio de agua por industria en EUA (m ³ /1000 USD)	Consumo promedio de agua por industria en México por empleado (m ³ /emp./año)	Potencial de agua de primer uso a sustituir (%)	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /emp./año)
332	Fabricación de productos metálicos	\$4,500,738,755	222,770	\$20,204	0.0495	0.0708	1.43	30%	0.42
333	Fabricación de maquinaria y equipo	\$5,561,033,428	121,014	\$45,954	0.0218	0.0880	4.04	30%	1.21
334	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos	\$11,527,004,243	344,726	\$33,438	0.0299	0.0971	3.24	30%	0.97
335	Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos y accesorios eléctricos	\$4,168,254,550	202,912	\$20,542	0.0487	0.0527	1.08	50%	0.54
336	Fabricación de equipo de transporte	\$28,790,933,616	1,051,155	\$27,390	0.0365	0.3410	9.33	50%	4.67
337	Fabricación de muebles, colchones y persianas	\$1,446,750,825	60,159	\$24,049	0.0416	0.1580	3.79	50%	1.89
339	Otras industrias manufactureras	\$3,179,446,157	194,477	\$16,349	0.0612	0.2539	4.15	30%	1.24

Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE, 2020) así como la huella hídrica para las industrias en EEUU (Marston, et al., (2018), El tipo de cambio empleado para el PIB anual en USD en México fue el promedio anual 2019-2021(BANXICO)

En la Tabla 4.1 es posible observar que las tres primeras grandes ramas industriales demandantes de agua en México son: las industrias metálicas básicas, la fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón y, por último, la industria química. Un trabajo reportado por Faria, et al., (2021) en la región de Río de Janeiro, Brasil, reporta a la industria de la fabricación de productos químicos en un primer lugar con un 38% de la demanda de agua en la región de estudio, seguido de la industria relacionada con la fabricación de coque, de derivados del petróleo y de biocombustibles con un 25% y por último la industria referida a la fabricación de equipamiento del transporte con un 10%. Es de hacer notar cierta coincidencia entre estos resultados, lo cual depende, claro está, de la región de estudio y de las condiciones propias de cada país.

4.3 Áreas verdes

La demanda de agua para riego de áreas verdes depende del tipo de vegetación a regar, como se puede observar en la tabla 4.2. Para la demanda superficial promedio estimado de agua para regar pasto, árboles y plantas mixtas se considera un valor de 2.5 litros por m² por día.

Las áreas verdes no se riegan en época de lluvia, por lo tanto, se puede asumir que durante esta época (dependerá de la región donde se esté efectuando el estudio; por ejemplo, es intenso tres meses al año en la Ciudad de México), la demanda anual superficial de agua se multiplica por un factor de 0.75.

Tabla 4.2 Demanda de agua diaria según el tipo de vegetación l/m² d

Tipo de vegetación	Tamaño chico (l/ m² día)	Tamaño mediano (l/ m² día)	Tamaño grande (l/ m² día)
Árboles	1.6	2.4	3.2
Arbustos	1.1	1.6	2.1
Plantas mixtas	1.8	2.5	3.2
Pasto (m ²)	2.1	2.5	2.8

Fuente: CONACYT (2019)

4.4 Lavado de automóviles

El cálculo de la demanda de agua del servicio de auto lavados se lleva a cabo por medio del número de empleados por unidad económica que reporta el DENUE (2020).

La Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), a través de la Dirección General de Estudios sobre Consumo, realizó un sondeo vía telefónica, del 2 al 22 de septiembre de 2016, para conocer los precios y características del servicio de lavado de automóviles y camionetas en 390 establecimientos ubicados en la Ciudad de México, Jalisco, Nuevo León, Michoacán, Estado de México, Guanajuato, Veracruz, Chihuahua, Sinaloa y Puebla. De acuerdo con el sondeo, 93% de los establecimientos ofrece lavado manual. En la mayoría, el lavado exterior incluye toda la carrocería/salpicaderas, llantas, rines o tapones, aplicación de abrillantadores y limpieza de tolvas, mientras que el lavado interior incluye aspirado de asientos de tela, alfombras, cajuela, tablero y tapetes de hule. El tiempo estimado para lavar un vehículo oscila entre 10 minutos y dos horas. Sin embargo, en el lavado de autos el tamaño del vehículo es importante toda vez que el mayor porcentaje (24.2%) de establecimientos estimó un tiempo para el lavado de una camioneta de 30 a 40 minutos, mientras que para un auto de 21 a 30 minutos (Procuraduría Federal del Consumidor, 2016).

Por otra parte, Aguilar y Cagua (2018), mediante encuestas a establecimientos de autolavado, determinaron que en el lavado de un solo vehículo se gastan al menos 40 litros de agua. Por lo general en el lavado de un auto con tecnología de lavado a presión se gastan no menos de 60 litros por vehículo. De acuerdo a los resultados, se obtuvo que entre 10 y 20 vehículos se lavan por día por empleado en promedio correspondientes al 83% de los encuestados, y un 17% para más de 20 vehículos.

Baquero (2013) reporta un consumo de agua para el lavado de un automóvil en casa habitación alrededor de los 50 L.

Se asumió, para efectos de esta metodología, que el tiempo promedio para lavar un auto por persona es de 40 minutos con base en Mars (2008) y González (2011) y requiere en promedio 50 litros de agua con cubeta para un carro mediano de cuatro puertas.

Así mismo, se parte del supuesto de que la jornada laboral consta de 6 días a la semana, 8 horas cada día. Ello establece que un empleado puede lavar 12 autos en un día, y que en un año un empleado labora 288 días.

La estimación del agua tratada necesaria anualmente, bajo los supuestos anteriores, se calcula que es de 173 m³ de agua al año por empleado. Se asumió también que, por la naturaleza en el servicio de auto lavado, el 90% del agua de primer uso que se consume en autolavados podría ser sustituida con agua residual tratada. Por tanto, la demanda potencial de agua tratada para los autolavados se reduce a multiplicar el número de empleados del establecimiento de autolavado encontrado alrededor de la PTAR por los 173 m³/empleado/año por 0.9.

4.5 Servicios educativos (Escuelas)

De acuerdo con las “Principales Cifras Nacionales” emitido por el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación en México (INEE, 2017), los empleados en los Servicios Educativos (SE) constan principalmente de docentes (63%) y personal de apoyo (37%). Además, se estima que el número alumnos es 16 veces mayor que el número de docentes en todos los centros educativos de nivel secundaria y bachillerato, lo cual equivale a 10 alumnos (16 x 0.63) por cada empleado en un SE.

Se estima que se consume por cada empleado 70 l/d, y por cada alumno 50 l/d, sin considerar servicios de gimnasio, duchas, jardines ni estacionamientos. En caso de que existan áreas verdes importantes, éstas podrán considerarse en el cálculo de áreas verdes ya descrito con anterioridad (Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, 2014).

Un ciclo escolar consta, en promedio, de 200 días de clases en las escuelas públicas y privadas de educación secundaria (SEP, 2022). Para fines de cálculo, si se asume que se conservan estas mismas relaciones para nivel superior y en general todos los servicios educativos, se tienen los siguientes datos:

La demanda de agua (D.A.) al año por cada empleado en un centro educativo se estima:

$$D. A_{SE,por\ empleado} = \left[\left(\frac{0.07m^3}{d} \right) + 10 \left(\frac{0.05m^3}{d} \right) \right] * \frac{200d}{año} = 114 \frac{m^3}{año} \quad (4.6)$$

En un estudio llevado a cabo por Manco, Guerrero y Morales (2018) en una escuela de estudios superiores con una población de 1031 personas (997 estudiantes y 34 docentes) el consumo total de agua al día fue de 15,584 L donde se consideran actividades como aseo personal (descarga de sanitarios y duchas), preparación de alimentos, limpieza, riego de jardín, laboratorios y pérdidas físicas de agua. Si de este consumo se restan las actividades consumidoras de agua susceptibles a usar agua tratada, es decir 10,904 L/d, el porcentaje de sustitución de agua potable por la tratada sería del 70%. En este cálculo no se pudo hacer la distinción entre el agua consumida por descarga de sanitarios y duchas, por lo que el porcentaje calculado puede ser considerado como un valor máximo. Derivado de lo anterior, en forma conservadora se asume que el 50% del agua que se consume en los servicios educativos podría ser sustituida con agua residual tratada.

Se estimará por radios alrededor de la PTAR la demanda de agua total de los SE en función del promedio de número de empleados de cada SE que se identifique en el DENUE (2020). En esta metodología se excluyen jardines de niños (kindergarten) y escuelas primarias por razones de seguridad en cuanto al uso y posible contacto con agua residual tratada por parte de los infantes.

4.6 Recarga de acuíferos con agua tratada

Se considera la recarga de acuíferos con agua residual tratada como una posibilidad de reúso sólo en caso de que el balance hídrico alrededor de una PTAR presente un superávit de agua residual tratada, es decir, que exista suficiente oferta de agua residual tratada como para satisfacer la demanda potencial en las diversas actividades económicas y además quede un remanente de agua que pueda ser utilizada en la recarga de acuíferos, en caso de que existan sitios cercanos y aptos donde sea posible ello.

La calidad del agua tratada para este fin deberá cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2007, que establece los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Ello supone una alta calidad del agua tratada y mayor complejidad en las

PTAR. La identificación de las áreas donde puede infiltrarse o inyectarse agua residual tratada al subsuelo requiere de estudios especializados de geohidrología entre otros.

4.7 Estimación de la oferta de agua residual tratada a futuro

Para calcular la oferta de agua residual tratada a futuro, con referencia en (Salazar y Lutz-Ley, 2015)., se consideraría además del crecimiento de la población, el ingreso disponible (Es la cantidad de dinero que queda del ingreso anual de una persona después de pagar todos los impuestos federales, estatales y locales directos) y del ingreso permanente (Es el ingreso promedio que se espera percibir en el futuro asociado al rendimiento de la riqueza personal) así como, la cantidad demandada de agua potable (y por lo tanto la generación de agua residual y tratada).

Con base en Montesillo (2017), se referencia que, ante una variación del ingreso nacional disponible en términos reales de 1%, en el corto plazo el consumo de agua se incrementa 0.074% y en el largo plazo sube 0.125%, por la variación del ingreso permanente.

Por lo tanto, se deduce entonces que la oferta de agua a futuro dependerá del crecimiento económico de la región donde se encuentre ubicada la PTAR. Para fines de este análisis, se asume que la tendencia de crecimiento o decrecimiento se mantendrá a futuro. La ecuación para obtener la oferta de agua a futuro, considerando una tasa de crecimiento económico, sería:

$$Oarf = Oar(1 + TCMA * 0.125)^N \quad (4.7)$$

Donde:

Oarf es la oferta de agua residual futura;

Oar es la oferta de agua residual real;

TCMA es la tasa de crecimiento económico media anual de la región;

N es el número de años.

Una ecuación similar se puede establecer cuando lo que crece es la tasa de crecimiento de la población.

Cabe aclarar que ésta es una aproximación y el caudal tratado a futuro en una PTAR (es decir, la oferta de agua residual tratada) depende también de otros factores como las fugas u ordeña de agua residual de los colectores previos a su llegada a la PTAR, así como los cambios en el tipo de uso de suelo y las actividades económicas desarrolladas en la zona.

4.8 Balance hídrico final

Se define el balance hídrico a la diferencia aritmética entre la oferta y la demanda, donde el punto de equilibrio es cero. Se hará referencia al resultado empleando los términos superávit o déficit; y en función de los radios de influencia especificados alrededor de la PTAR.

5 Ejemplo de aplicación: Caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, México

5.1 Contexto

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) se localiza en el Estado de Nuevo León al norte de México, está integrada por los siguientes municipios: Apodaca, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, García y Santa Catarina. El clima es semiárido, con escasa lluvia y un importante crecimiento poblacional. La gestión del servicio de saneamiento en Nuevo León corre a cargo del organismo descentralizado "Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey".

En el año, 2022, la Ciudad de Monterrey, capital del estado de Nuevo León, uno de los centros con mayor desarrollo industrial y comercial del país, y una de las tres ciudades más grandes del país enfrentó una temporada de escasez de agua extrema, que puede volver a presentarse en esa ciudad o en otras, si no se toman urgentes medidas previsoras para atender este problema.

De acuerdo con la investigación, *The Future of Water Availability and Demand in the Metropolitan Area of Monterrey, México* (Flores, Pulido, Valverde y Carrera, 2009) efectuada en el año 2009, predijo que para el año 2030 el área Metropolitana de Monterrey viviría una fuerte escasez de agua, las fuentes superficiales de agua no serían suficientes, por lo que se identificó como urgente comenzar a trabajar en la reducción de fugas, principal causa de desperdicio de agua, y en la concientización de la población para que adopten una cultura ecológica que les permita el aceptar y realizar las practicas que fomenten en cuidado y uso eficiente del agua. Tal escenario se adelantó en 8 años.

De acuerdo con el Organismo de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, alrededor de 63% del agua que consumen los habitantes de esa urbe proviene de tres presas, 31% de pozos y 7% de túneles, manantiales y galerías filtrantes. En total, para el año 2022 se demanda un caudal de agua en el verano de 17 m³/s (Badillo y Garcín, 2022).

En efecto, dos de las tres presas, Cerro Prieto y la Boca (Figura 5.1.1), que abastecen de agua a la ciudad están en los niveles mínimos debido a la falta de lluvias. Esto tiene a sus habitantes sin agua potable, incluso por días continuos o semanas, cuando este es un derecho humano fundamental.

Los principales usos consuntivos del agua en el estado son: uso agrícola (63.8%), uso público urbano (24.9%), usos múltiples (5.4%), y uso industrial (3.7%), que en conjunto suman 97.8% de los volúmenes concesionados por la CONAGUA incluyendo aguas superficiales y subterráneas (UANL-Observatorio de Sustentabilidad de Nuevo León, 2022).



Figura 5.1.1 Sistema de presas de Monterrey (Google, s.f. b)

En décadas recientes hubo un importante crecimiento de la población, que pasó de 2.7 millones de personas en 1990, a más del doble: 5.3 millones en 2020 aunado a un desarrollo urbano desordenado de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), como lo expuso el Gobierno Federal (Menchaca, 2022).

La escasez de agua tiene un origen multicausal; en parte tiene una explicación relacionada al cambio climático y la propensión de la región a sufrir sequías, pero la causa más importante es la falta de voluntad política para prevenir y resolver el problema, hasta que este se hizo presente con crudeza. Menchaca (2022) apunta lo siguiente “Llegamos a este punto porque distintas administraciones de gobierno no previnieron y no actuaron con diligencia, no hubo un plan frente a sequías ni ante inundaciones, no se diversificaron las fuentes de agua, no se usó agua tratada, no se dio mantenimiento a las fuentes de abastecimiento, no se redujeron las fugas, ni se construyó infraestructura, tampoco se investigó la disponibilidad de agua subterránea, o se fortaleció la cultura del agua. Las omisiones no solo se han dado a nivel estatal sino también federal, como es el caso de las problemáticas con las concesiones de agua, que se regulan poco”. En este sentido, datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA, 2022) de la CONAGUA y de la organización Frente Nuevo León revelan que 12 multinacionales acaparan agua y que 34 personas físicas aparecen entre los más favorecidos en la ZMM (Ramírez, 2022).

El organismo operador en Monterrey, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) es considerado y reconocido como uno de los mejores en el país; fue el primero en tener una red de distribución eficiente, implementando un programa de recuperación de caudales y sectorización de la red para disminuir las fugas de agua a un mínimo posible. En materia de comunicación social ha promovido la cultura del agua, buscando que, después de años de padecer por un mal servicio, el consumo razonable y cuidadoso del agua fuese el complemento necesario para controlar la demanda. Dicho trabajo se complementó con una cobertura universal de micromedidores para que todos los usuarios paguen lo justo, conforme al volumen de agua que consuman. Sin duda, ante su dinamismo, Monterrey necesitaba más agua y prevenirse ante una sequía. La cancelación, a finales del año 2016, de un nuevo e importante proyecto hidráulico, el Monterrey VI, para enviar a la ciudad agua desde el río Pánuco, puede calificarse como un grave error (Aguirre, 2022).

Es claro que se han hecho esfuerzos considerables para atender el problema de la escasez de agua en Monterrey, sin embargo, no han sido suficientes. Precisamente, uno de los puntos a atender para tener una adecuada gestión del agua en una región es planear a mediano y largo plazo y para ello, es fundamental determinar el potencial de uso de agua tratada en las distintas actividades económicas y así liberar su equivalente en agua potable para destinarlo a consumo humano directo.

5.2 Procedimiento seguido para el estudio y resultados

Este ejemplo de estudio no pretende ser un análisis exhaustivo de la situación del manejo y gestión del agua en la Zona Metropolitana de Monterrey. Se ha abordado para ejemplificar el procedimiento de análisis descrito en este documento con las limitaciones propias que están determinadas por las fuentes de información públicas disponibles, además de que no se efectuó un levantamiento en campo de la infraestructura de manejo y tratamiento de aguas residuales en dicha región. Se enfatiza que es muy importante efectuar el levantamiento en campo para corroborar la información pública existente y adquirir de primera mano información relevante respecto a las condiciones en que operan las PTAR. A pesar de ello, los resultados obtenidos pueden proporcionar una buena aproximación para un más preciso planteamiento de la problemática en la zona y su posible solución.

5.3 Definición de la región de estudio y ubicación de las PTAR

Se seleccionó para estudio la zona metropolitana de la Ciudad de Monterrey. En la Tabla 5.1 se presentan las PTAR seleccionadas para el estudio alrededor de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), su ubicación, su capacidad instalada y caudal tratado. Para este caso coincide que el tipo de proceso para todas las plantas es de lodos activados. El criterio para la selección de estas plantas se fundamentó solamente por la cercanía o estar inmersas en la ZMM.

Tabla 5.1 Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en la ZMM seleccionadas para el estudio

Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación en la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León								
#	Municipio	Localidad	Nombre de la Planta	Capacidad Instalada (m ³ /año)	Caudal Tratado (m ³ /año)	Porcentaje de uso respecto a la capacidad instalada reportada	Cuerpo Receptor o Reúso	Latitud y longitud
1	Apodaca	Agua Fría	Noreste	59,170,500	38,544,453	65%	Arroyo Topochico	25.809059, -100.166676
2	Apodaca	Santa Rosa	Santa Rosa	6,311,520	4,525,360	72%	Río Pesquería	25.831162, -100.210808
3	Cadereyta Jiménez	Cadereyta Jiménez	Cadereyta	7,889,400	6,046,436	77%	Acequia de Riego Agrícola	25.585531, -99.975272
4	Cadereyta Jiménez	Cadereyta Jiménez	Cadereyta II	4,418,064	2,603,502	59%	Ducto PEMEX	25.593471, -99.928020
5	García	García	García	5,522,580	2,679,240	49%	Río Pesquería	25.796418, -100.574642
6	Gral. Escobedo	Ciudad General Escobedo	Norte	126,230,400	79,982,737	63%	Río Pesquería	25.799353, -100.288330
7	Gral. Zuazua	General Zuazua	General Zuazua	11,045,160	4,001,504	36%	Río Salinas	25.882834, -100.081194
8	Marín	El Retiro	Pesquería II	4,418,064	2,164,851	49%	Río Pesquería	25.761184, -99.944834
9	Pesquería	Dulces Nombres	Dulces Nombres	236,682,000	214,153,029	90%	Río Pesquería	25.738876, -100.067988
10	Salinas Victoria	San Miguel	San Miguel Interpuerto	1,577,880	1,050,868	67%	Arroyo Vaquerías	25.918272, -100.238139
11	Santiago	Santiago	Santiago	6,311,520	5,573,072	88%	Río San Juan	25.428901, -100.125556
Total				469,577,088	361,325,053	77%		

Todas las PTAR coinciden ser del proceso de lodos activados. Fuente: Sistema Nacional de Información del Agua, SINA (2022). Plantas de tratamiento de agua residual nacional

El porcentaje de uso de las PTAR, con respecto a la capacidad instalada, en promedio, es del 77%. Ello varía de un mínimo de 36 a un máximo del 90%. Hay que resaltar que esta información es la reportada en bases de datos oficiales y que no necesariamente refleja las condiciones reales actuales de operación de las plantas. Es por ello que es indispensable efectuar una visita para el levantamiento técnico de cada una de las PTAR seleccionadas y poder calificar y cuantificar su estado general, así como la generación de agua tratada.

Para este ejemplo, no se efectuó el estudio técnico de las plantas, por lo que se tomará como certera la información recabada de las fuentes oficiales. De hacerse la evaluación técnica de las PTAR, se contaría con información detallada de su estado (ver Anexo 1) y se procedería a calificar su estado técnico general, el impacto social y el

potencial de reúso mediante el uso de las matrices de evaluación propuestas en esta obra (ver Anexos 3,4 y 5).

Las tres calificaciones generales obtenidas en las matrices de evaluación, se promedian para obtener una única calificación por planta de tratamiento, la cual debería ser superior a 6 para ser considerada en el estudio de potencial de reúso.

La evaluación técnica de las PTAR es la actividad que más consume tiempo y recursos en un estudio de potencial de reúso.

En la Figura 5.3.1 se muestra la localización de las PTAR seleccionadas alrededor de la ZMM.

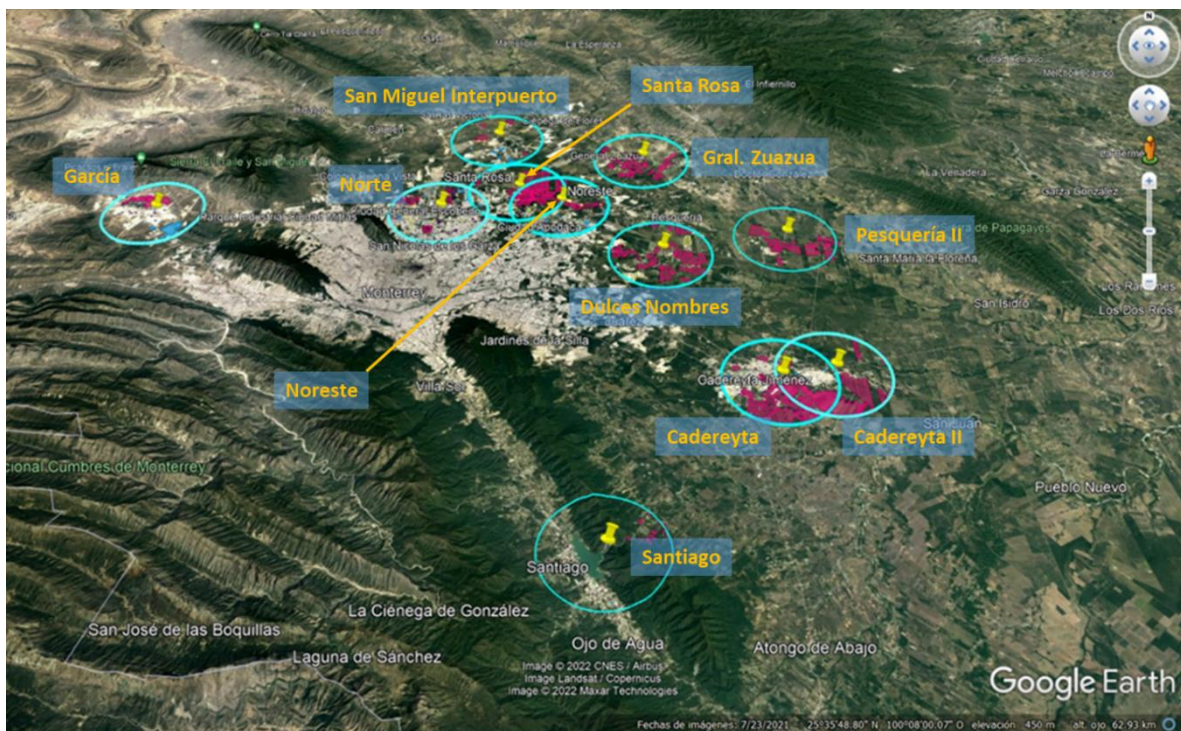


Figura 5.3.1 Ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales seleccionadas para el estudio. Se muestra su ubicación (pin amarillo) y la zona de influencia de 5 km alrededor de cada PTAR (Google, s.f. c).

5.3.1 Definición del radio de influencia de las plantas seleccionadas

Para este ejercicio se definió un radio de influencia alrededor de las PTAR de 5 km. Claro está que esto puede o debe ser modificado según sea el número e importancia de las actividades económicas que abarque y la cercanía de una planta con otra para evitar, en la medida de lo posible, tener incidencia común en un área determinada. Para este caso en específico, donde una actividad económica se contabilice para dos o más plantas, ello deberá ser restado de la cuantificación general final de tal forma de no duplicar, triplicar etc., según sea el caso, la demanda potencial de agua tratada de esa actividad económica en específico.

En la Figura 5.3.1 se pueden identificar 5 plantas con áreas de influencia traslapadas. En última instancia, se deberá definir, para efectos de determinar el potencial de reúso de agua tratada por planta de tratamiento, cuales actividades económicas corresponderán a una u otra planta en el caso de traslape de las áreas de influencia. Este análisis se efectuará más adelante.

El criterio más importante que priva para la selección del radio de influencia es maximizar el potencial de reúso de agua tratada alrededor de la planta y que esta demanda potencial sea satisfecha por la oferta de agua tratada que genere la PTAR. Es así que el radio de influencia puede ajustarse, incrementándolo o disminuyéndolo.

Otro aspecto a tomar en cuenta es el transporte de agua tratada, por bombeo en tuberías o con pipas. Ciertamente, mientras más lejano sea ello de la PTAR, más costoso será su distribución que influye directamente en los costos de inversión y operación del sistema.

A continuación, se detalla el cálculo de potencial de reúso por planta de tratamiento de aguas residuales.

Como ya se indicó anteriormente, el área total cultivada alrededor de cada planta se identificó y calculó mediante la plataforma Google Earth y Google Maps. Por otra parte, la estimación de la huella hídrica azul de los cultivos identificados en la zona se consultó en Mekonnen y Hoekstra, (2011). De la misma forma, se identificaron las áreas verdes.

Para cada PTAR se presentan en tablas la información sobre las industrias manufactureras, los autolavados y los servicios educativos identificadas en el INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, DENUE (2020) alrededor de cada

planta de tratamiento de aguas residuales. Para calcular el agua demandada por industria se hizo uso de la información tabulada en la Tabla 4.1 donde, previamente, se efectuó el cálculo de la demanda de agua por sector industrial en función del número de empleados.

5.3.2 Demanda potencial de agua en la PTAR Noreste

En la Figura 5.3.2 se muestra una imagen de la PTAR Noreste. En la Figura 5.3.3 se muestra la ubicación de la misma con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.



Figura 5.3.2 Imagen de la PTAR Noreste (Google, s.f. d)



Figura 5.3.3 Ubicación de la PTAR Noreste con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c)

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.2 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 100% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 1465.4 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 3,803,776.76 m³/año (120.6 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.3 se presenta el cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. La demanda potencial de agua tratada asciende a 275,262.75 m³/año (8.72 l/s).

Tabla 5.2 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Noroeste

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Nuez	7.95	7.47	1,367.00	1,845.45	13,785.51
	Sorgo forrajero en verde	7.00	179.97	103.00	139.05	25,024.83
TOTAL		14.95				38,810.34
					Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)	2,596.01
					Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)	3,803,776.76

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011). HH es huella Hídrica.

Tabla 5.3 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Noroeste

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleada/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
BEPUSA PLANTA APODACA	312111	45.51	175	7,964.25	25.77157273	-100.1682547
INTERNACIONAL DE PRODUCTOS Y SEMILLAS	311910	4.23	175	740.25	25.77200604	-100.1824518
PLANTA NUEVO LEON	312111	45.51	175	7,964.25	25.771048	-100.182061
PRODUCTOS ALIMENTICIOS JHONNY RIOS	311812	4.23	175	740.25	25.78035562	-100.1885073
TROSI DE CARNES	311612	4.23	175	740.25	25.77360765	-100.1713646
AKZO NOBEL INDA	325510	110.54	175	19,344.50	25.77183111	-100.1825558
CORRUGADOS DE BAJA CALIFORNIA APODACA	322210	91.39	175	15,993.25	25.79343286	-100.1672326
ILPEA S DE RL DE CV	326194	3.99	175	698.25	25.77881232	-100.1444054
KP EXTRUSIÓN DE MÉXICO SA DE CV	326194	3.99	175	698.25	25.77732678	-100.1728903

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PACTIV FOODSERVICE MEXICO	326191	3.99	175	698.25	25.79288829	-100.1656034
PELICULAS CONVERTIDAS DEL NORESTE	323119	0.40	175	70.00	25.77904717	-100.1396621
PEXCO OPERACIONES S DE RL DE CV	326130	3.99	175	698.25	25.78400568	-100.1377363
RED SPOT DE MÉXICO SA DE CV	325510	110.54	175	19,344.50	25.78535675	-100.1489614
SERVI BOLSAS	326110	3.99	175	698.25	25.775689	-100.182333
SMURFIT KAPPA HONEYCOMB	322299	91.39	175	15,993.25	25.77420944	-100.1700626
ACEROS Y LAMINADOS LEAL SA DE CV	332610	0.42	175	73.50	25.80125483	-100.1181219
AISLOPUERTAS	333412	1.21	175	211.75	25.81193304	-100.1539139
BUTLER DE MEXICO S DE RL DE CV	332310	0.42	175	73.50	25.77635338	-100.1368405
CRONITE DE MEXICO S DE RL DE CV	331510	342.71	175	59,974.25	25.7948817	-100.1270877
EZI METALES SA DE C V	332999	0.42	175	73.50	25.78224	-100.137714
MELTER SA DE CV	332420	0.42	175	73.50	25.78184079	-100.1405884
METAL SYSTEMS DE MONTERREY S DE RL DE CV	336390	4.67	175	817.25	25.78609162	-100.1402156
NIDEC LAMINACIONES DE ACERO	331220	342.71	175	59,974.25	25.76813275	-100.1685135
NORANCO MANUFACTURING MEXICO SA DE CV	336410	4.67	175	817.25	25.78405922	-100.1460662
PRIMETALS TECHNOLOGIES MEXICO	331220	342.71	175	59,974.25	25.79680916	-100.1214739
REGAL BELOIT DE APODACA S DE RL DE CV	335311	0.54	175	94.50	25.77321867	-100.1684358
SHUTZ ELSA SA DE CV	332430	0.42	175	73.50	25.775944	-100.182847
VELADORAS MÍSTICAS	339994	1.24	175	217.00	25.76537968	-100.178827
VFJ_CSS DE MEXICO	333244	1.21	175	211.75	25.776599	-100.172467
ZEBRA PEN MANUFACTURERA	339940	1.24	175	217.00	25.78048567	-100.1748016
TOTAL (m ³ /año)				275,262.75		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENEUE (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.4 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 267,611.84 m³/año (8.48 l/s).

Tabla 5.4 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR Noroeste

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CLUB DE TENIS RINCONADA COLONIAL	29,111.00	912.50	19,922.84	25.80282684	-100.1972255
PARQUE LIGA PEQUEÑA APODACA	7,374.00	912.50	5,046.58	25.77554021	-100.1936353
PARQUE SAN FRANCISCO	20,127.00	912.50	13,774.42	25.77876041	-100.197599
SOCCER CLUB FUTBOL 7 APODACA	9,223.00	912.50	6,311.99	25.78016399	-100.196809
CENTRO DE APODACA	7,443.00	912.50	5,093.80	25.781675	-100.188716
PARQUE NUEVO APODACA	1,985.00	912.50	1,358.48	25.789181	-100.186184
PARQUE ACUÁTICO SAN FRANCISCO	8,543.00	912.50	5,846.62	25.778796	-100.197851
PARQUE CENTRAL CAPELLANÍA RESIDENCIAL	16,667.00	912.50	11,406.48	25.786836	-100.204368
PARQUE NUEVO MANANTIAL	5,291.00	912.50	3,621.03	25.792762	-100.183098
PARQUE HUNDIDO	6,022.00	912.50	4,121.31	25.828324	-100.206957
DEPORTIVO COSMOPLUS	16,354.00	912.50	11,192.27	25.785013	-100.147237
GOLFITO AGUAFRÍA	13,768.00	912.50	9,422.48	25.811703	-100.124819
DEPORTIVO EL VIEJO OESTE DE EVER EL LOBO	24,827.00	912.50	16,990.98	25.810629	-100.144552
PARQUE BOGOTÁ	9,768.00	912.50	6,684.98	25.807043	-100.21496
PARQUE ASUNCIÓN	7,362.00	912.50	5,038.37	25.805419	-100.211869
DEPORTIVO AV. MIGUEL ALEMÁN	64,785.00	912.50	44,337.23	25.776768	-100.180454
PARQUE DE DESCANSO JARDINES DE JUAN PABLO	109,311.00	912.50	74,809.72	25.816648	-100.156315
PARQUE NUEVO APODACA	1,985.00	912.50	1,358.48	25.789251	-100.186254
PARQUE NUEVO MANANTIAL	5,291.00	912.50	3,621.03	25.792818	-100.18298
PARQUE LOS CASTAÑOS II	9,392.00	912.50	6,427.65	25.781475	-100.202807
GRAN PARQUE RINCONADA COLONIAL DE APODACA	16,402.00	912.50	11,225.12	25.798514	-100.195971
TOTAL (m ³ /año)			267,611.84		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de Google (s.f. c), INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.5 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 7,629.3 m³/año (0.24 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En la Tabla 5.6 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 40,755.00 m³/año (1.29 l/s).

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 4,395,035 m³/año (139 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 38,544,452 m³/año (1,222.2 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 34,149,417 m³/año (1082.8 l/s).

Tabla 5.5 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR Noroeste

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AUTO ESTETICA Y CARWASH IMAGEN	3	173.00	467.10	25.77567545	-100.1890009
AUTO LAVADO EXPRESS EL ESPUMOSO	8	173.00	1,245.60	25.788723	-100.194804
BLUE WASH	20	173.00	3,114.00	25.79334594	-100.1980741
CAR WASH	3	173.00	467.10	25.777748	-100.18528
CAR WASH CENTER	3	173.00	467.10	25.78603738	-100.1875067
CAR WASH PERFECTO	3	173.00	467.10	25.78540749	-100.1918874
CAR WASH VILLARREAL	3	173.00	467.10	25.7857552	-100.1872283
CARBURACIONES GUTIERREZ	3	173.00	467.10	25.78267867	-100.1887107
CLEAN WASH SPA & DETAIL	3	173.00	467.10	25.79053466	-100.1960749
TOTAL (m ³ /año)			7,629.30		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

Tabla 5.6 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR
Noroeste

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CENTRO DE BACHILLERATO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL Y DE SERVICIO	Escuelas de educación media superior del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79986044	-100.2040285
PREPARATORIA NO 1	Escuelas de educación media superior del sector público	175	114.00	9,975.00	25.78335935	-100.1823663
PROMOTORA EDUCATIVA METROPOLITANA, AC	Escuelas de educación media superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.78127082	-100.186712
SECUNDARIA GENERAL # 3 PROF. MOISES SAENZ GARZA	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.78046121	-100.1850932
INSTITUTO FLEMMING	Escuelas de educación media superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.77997911	-100.1889357
SECUNDARIA NUMERO 71 PROFESOR ROBERTO GARZA CRUZ	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.78046121	-100.1850932
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL LIDERAZGO Y DESARROLLO	Escuelas de educación superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.78087648	-100.1909942
UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE MONTERREY	Escuelas de educación superior del sector privado	175	114.00	9,975.00	25.78126602	-100.186709
COLEGIO NACIONAL DE CAPACITACION INTENSIVA	Escuelas de computación del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.780492	-100.187346
FAST ENGLISH SCHOOL	Escuelas de idiomas del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.781608	-100.181598
INSUCO SUCURSAL APODACA	Escuelas de computación del sector privado	40	114.00	2,280.00	25.78099478	-100.1889033
TOTAL (m ³ /año)				40,755.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

5.3.3 Demanda potencial de agua en la PTAR Santa Rosa

En la Figura 5.3.4 se muestra una imagen la PTAR Santa Rosa. En la Figura 5.3.5 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.7 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 100% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 1,874.5 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 4,866,193.59 m³/año (154.3 l/s).



Figura 5.3.4 Imagen de la PTAR Santa Rosa (Google s.f. e)

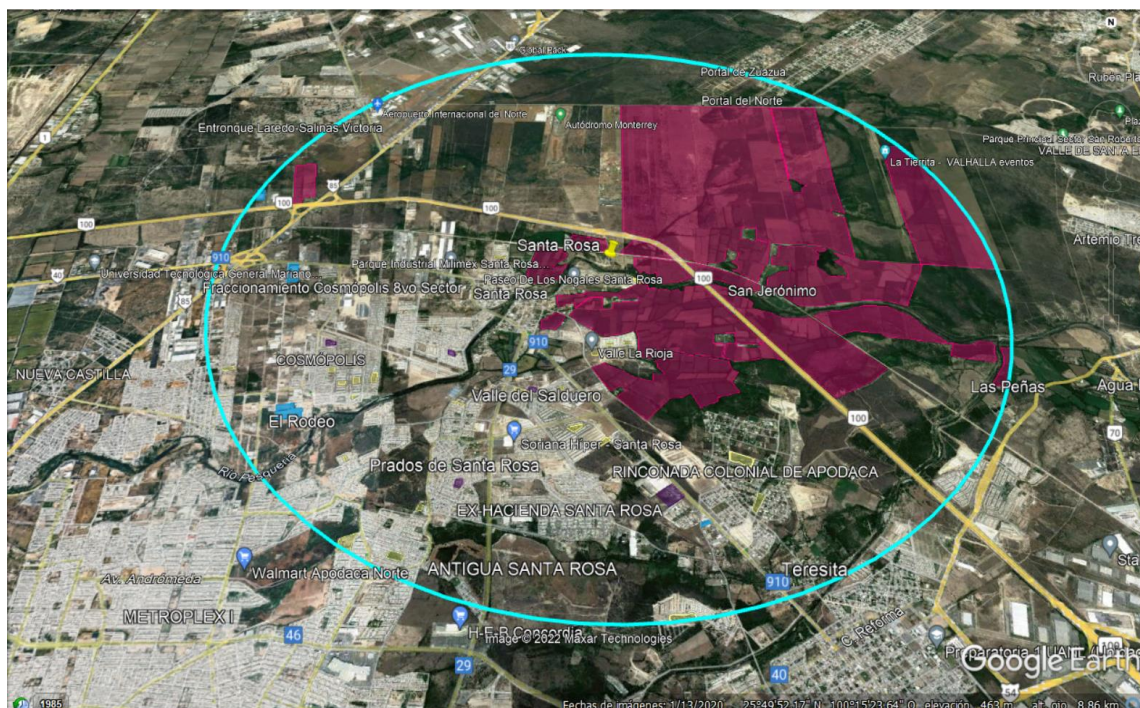


Figura 5.3.5 Ubicación de la PTAR Santa Rosa con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

Tabla 5.7 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Santa Rosa

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Nuez	7.95	7.47	1,367.00	1,845.45	13,785.51
	Sorgo forrajero en verde	7.00	179.97	103.00	139.05	25,024.83
TOTAL		14.95				38,810.34
				Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)		2,596.01
				Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)		4,866,193.59

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.8 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 35,581.00 m³/año (1.13 l/s).

Tabla 5.8 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Santa Rosa.

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CYAN LABS	325190	110.54	175	19,344.50	25.843111	-100.257516
FLOL SERVIPACK	322210	91.39	175	15,993.25	25.796373	-100.200996
ACEROS TITAN SA DE CV	332610	0.42	175	73.50	25.83091391	-100.2509747
MANUFACTURAS Y TECNOLOGIAS AVANZADAS DE ACERO SA DE CV	334410	0.97	175	169.75	25.80925954	-100.2453868
TOTAL (m ³ /año)				35,581.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.9 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 148,913.84 m³/año (4.7 l/s).

Tabla 5.9 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR Santa Rosa

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CLUB DE TENIS RINCONADA COLONIAL	29,111.00	912.50	19,922.84	25.802827	-100.197225
PARQUE HUNDIDO	6,022.00	912.50	4,121.31	25.828324	-100.206957
PARQUE BOGOTÁ	9,768.00	912.50	6,684.98	25.807043	-100.214960

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PARQUE CENTRAL CAPELLANÍA RESIDENCIAL	16,667.00	912.50	11,406.48	25.786836	-100.204368
PARQUE ASUNCIÓN	7,362.00	912.50	5,038.37	25.805419	-100.211869
GRAN PARQUE RINCONADA COLONIAL DE APODACA	16,402.00	912.50	11,225.12	25.798514	-100.195971
PALAPA MISIÓN DE LOS OLIVOS	6,376.00	912.50	4,363.58	25.832217	-100.224523
PARQUE GENERAL ARZOLA	6,597.00	912.50	4,514.82	25.814988	-100.254967
JARDINES DE SANTA ROSA	4,784.00	912.50	3,274.05	25.810385	-100.228140
PARQUE PRIVADA CASTILLA	2,516.00	912.50	1,721.89	25.818403	-100.210853
PARQUE PRIVADA VALENCIA	2,386.00	912.50	1,632.92	25.818636	-100.208721
PARQUE PRIVADA ANDALUCÍA	2,518.00	912.50	1,723.26	25.817272	-100.210787
PARQUE VALLE DE SALDUERO	2,458.00	912.50	1,682.19	25.812255	-100.216477
PARQUE ANDALUCÍA	2,275.00	912.50	1,556.95	25.811342	-100.216924
VALLE DEL SALDUERO	15,763.00	912.50	10,787.80	25.811645	-100.221473
PARQUE PRIVADA CANTABRIA	4,120.00	912.50	2,819.63	25.817071	-100.212601
PARQUE 4° SEC. PONIENTE	4,658.00	912.50	3,187.82	25.812951	-100.241434
PARQUE ARBOLEDAS DE STA. ROSA	7,292.00	912.50	4,990.46	25.813286	-100.240015
PARQUE RENACERES RESIDENCIAL	8,765.00	912.50	5,998.55	25.813692	-100.238006
PARQUE COL. COSMOPOLIS	6,077.00	912.50	4,158.95	25.814664	-100.243306
PARQUE ARBOLEDAS DE STA. ROSA, 5° SECTOR ORIENTE	1,503.00	912.50	1,028.62	25.811160	-100.239966
PARQUE AMBERES	6,516.00	912.50	4,459.39	25.807614	-100.221456
PARQUE DIAMANTE	2,824.00	912.50	1,932.68	25.803482	-100.239547
DEPORTIVO EBANOS	26,344.00	912.50	18,029.18	25.794608	-100.23742
PARQUE VALLE DE LOS NOGALES	14,394.00	912.50	9,850.89	25.792828	-100.232744
SOCCER CITY	4,093.00	912.50	2,801.15	25.797841	-100.230608
TOTAL (m ³ /año)			148,913.84		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENE (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.10 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 7,940.7 m³/año (0.25 l/s).

Tabla 5.10 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR Santa Rosa

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AUTO LAVADO EXPRESS EL ESPUMOSO	8	173.00	1,245.60	25.788723	-100.194804
BLUE WASH	20	173.00	3,114.00	25.79334594	-100.1980741
CAR WASH	3	173.00	467.10	25.80264183	-100.2281719
CLEAN WASH SPA & DETAIL	3	173.00	467.10	25.79053466	-100.1960749
AUTO LAVADO PUGA	3	173.00	467.10	25.81160963	-100.244857
CAR WASH LOS PRIMOS	3	173.00	467.10	25.80218224	-100.2303008
JM CAR WASH	8	173.00	1,245.60	25.8057827	-100.2296439
LAVADO Y LUBRICADO DE AUTOMÓVILES Y CAMIONES	3	173.00	467.10	25.81380059	-100.2434738
TOTAL (m ³ /año)			7,940.70		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En la Tabla 5.11 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 15,675.00 m³/año (0.50 l/s).

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 5,074,304 m³/año (161 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 4,525,360 m³/año (143.5 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un déficit de agua tratada de 548,944 m³/año (-17.4 l/s).

Tabla 5.11 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR Santa Rosa

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CENTRO DE BACHILLERATO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL Y DE SERVICIO	Escuelas de educación media superior del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79986044	-100.2040285
ESCUELA SECUNDARIA # 11 MARCOS MOSHINSKY BORODIANSKY	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.81685931	-100.2295626
ESCUELA SECUNDARIA # 7 MARCOS MOSHINSKY BORODIANSKY	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.81685931	-100.2295626
ESCUELA SECUNDARIA CARPISO MCGREGOR TURNO MATUTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.8117013	-100.2195502
ESCUELA SECUNDARIA CARPISO MCGREGOR TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.8117013	-100.2195502
ESCUELA SECUNDARIA CRONISTAS MUNICIPALES DE NUEVO LEON TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.80108323	-100.2272958
SECUNDARIA TECNICA NUM 65 HUMBERTO BUENTELLO CHAPA TV 19DST0065Q	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81852567	-100.24446
TOTAL (m ³ /año)				15,675.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

5.3.4 Demanda potencial de agua en la PTAR Cadereyta

En la Figura 5.3.6 se muestra una imagen de la PTAR Cadereyta. En la Figura 5.3.7 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.12 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 68% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 2,134.62 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 1,412,779.59 m³/año (44.8 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.13 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 87,451.00 m³/año (2.77 l/s).



Figura 5.3.6 Imagen de la PTAR Cadereyta (Google, s.f. f).

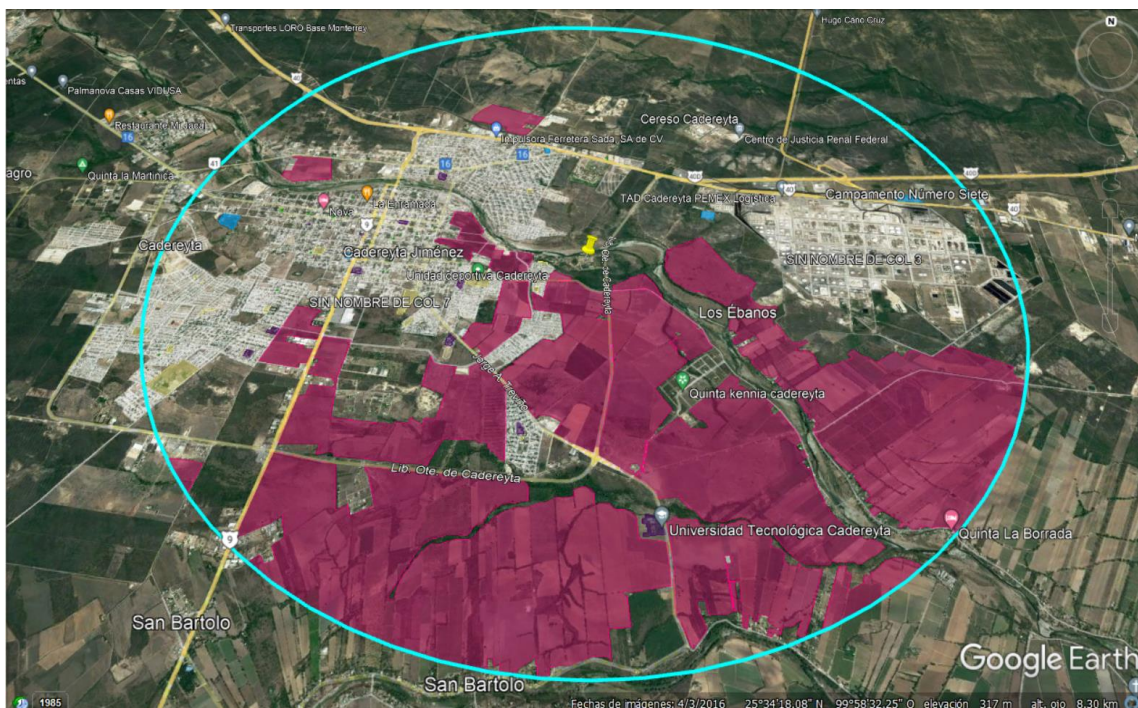


Figura 5.3.7 Ubicación de la PTAR Cadereyta con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

Tabla 5.12 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Cadereyta

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Aguacate	5.00	11.00	283.00	382.05	4,202.55
	Calabacita	170.00	3,540.00	24.00	32.40	114,696.00
	Chile verde	650.00	12,700.00	42.00	56.70	720,090.00
	Limón	199.00	781.75	152.00	205.20	160,415.10
	Maíz grano	96.00	189.00	81.00	109.35	20,667.15
	Mandarina	93.00	641.70	118.00	159.30	102,222.81
	Melón	8.00	0.00	25.00	33.75	0.00

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
	Naranja	3,940.00	27,267.20	110.00	148.50	4,049,179.20
	Nuez	37.00	31.45	1,367.00	1,845.45	58,039.40
	Sorgo grano	65.00	180.00	103.00	139.05	25,029.00
	Tomate verde	220.00	1,690.00	63.00	85.05	143,734.50
	Toronja (pomelo)	98.00	568.40	85.00	114.75	65,223.90
TOTAL		5,581.00				5,463,499.61
					Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)	978.95
					Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)	1,412,779.59

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra (2011).

Tabla 5.13 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Cadereyta

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleador/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
HIDROPURIFICADORA STAR SA DE CV	312112	45.51	175	7,964.25	25.58486252	-100.0028386
PETROQUIMICOS INDUSTRIALES	325999	110.54	175	19,344.50	25.59358	-99.96054
ARTICULOS METALICOS DE CADEREYTA SA DE CV	331510	342.71	175	59,974.25	25.591176	-100.018908
FLEX-TEC MÉXICO	335920	0.54	175	94.50	25.59612572	-99.93470377
TANQUES Y REMOLQUES SOL	332420	0.42	175	73.50	25.60443164	-99.98095121
TOTAL (m ³ /año)				87,451.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.14 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 204,611.02 m³/año (6.5 l/s).

Tabla 5.14 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR Cadereyta

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PARQUE ARBOLEDAS	4,237.00	912.50	2,899.70	25.585113	-99.980419
PARQUE ENCINO	1,360.00	912.50	930.75	25.580747	-100.018989
PARQUE SAN MOISES	3,658.00	912.50	2,503.44	25.581183	-99.980744
PARQUE CARLOS SALINAS DE GORTARI	958.00	912.50	655.63	25.562492	-99.980926
PARQUE ALPES	1,674.00	912.50	1,145.64	25.581363	-100.020044
PARQUE REAL DE CADEREYTA	4,039.00	912.50	2,764.19	25.576901	-100.017296
PARQUE FIDEL VELÁZQUEZ	6,499.00	912.50	4,447.75	25.576149	-99.994557
PLAZA CIPRES	4,367.00	912.50	2,988.67	25.577254	-100.010629
PLAZA	4,850.00	912.50	3,319.22	25.596255	-99.982631
PLAZA LAS ESPIGAS	5,572.00	912.50	3,813.34	25.571651	-100.019650
PARQUE SAN IGNACIO	15,944.00	912.50	10,911.68	25.573756	-100.023538
ESTADIO CLEMENTE SALINAS NETRO	127,082.00	912.50	86,971.74	25.566489	-100.018538
PARQUE DE B.	44,230.00	912.50	30,269.91	25.578210	-99.995676
LIGA PEQUEÑA DE BEISBOL CADEREYTA	12,645.00	912.50	8,653.92	25.585654	-100.006918
PLAZA EL HONGO	1,779.00	912.50	1,217.50	25.604465	-99.996385
UNIDAD DEPORTIVA ALFONSO MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ	60,081.00	912.50	41,117.93	25.582298	-99.987494
TOTAL (m ³ /año)			204,611.02		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.15 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 12,144.6 m³/año (0.38 l/s).

Tabla 5.15 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR Cadereyta

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AUTO LAVADO	3	173.00	467.10	25.578651	-100.004191
AUTO LAVADO DE LEON	3	173.00	467.10	25.588907	-99.997535
AUTO LAVADO EL 23	3	173.00	467.10	25.58551371	-100.0074944
AUTO LAVADO EL ARCO	3	173.00	467.10	25.582718	-99.993792
AUTO LAVADO EL LINCE	3	173.00	467.10	25.60009616	-99.98599395
AUTO LAVADO MARROQUIN	3	173.00	467.10	25.583172	-99.998589
AUTO LAVADO SIN NOMBRE	3	173.00	467.10	25.59398148	-99.99785979
AUTO LAVADO EL KAIRO	3	173.00	467.10	25.58794558	-99.998455
AUTO SERVICIO EL CHARRO	3	173.00	467.10	25.592912	-99.999263
AUTOLAVADO	3	173.00	467.10	25.570673	-100.020568
AUTOLAVADO EL AMIGO	3	173.00	467.10	25.58716	-100.0008
AUTOLAVADO EL TUNEL	3	173.00	467.10	25.59218028	-100.0129557
AUTOLAVADO LOS CUATES	3	173.00	467.10	25.57668584	-100.0103977
AUTOLAVADO SALINAS	3	173.00	467.10	25.5846158	-99.9898365
AUTOLAVADO TEED	3	173.00	467.10	25.59189107	-100.0044201
AUTOSERVICIO SANCHEZ	3	173.00	467.10	25.594264	-100.00455
CAR WASH	3	173.00	467.10	25.57984883	-100.0100378
EL ECLIPSE	3	173.00	467.10	25.591039	-100.006255
FRUTERIA QUALITI	3	173.00	467.10	25.58314744	-99.99809929
LAVADO GARZA	3	173.00	467.10	25.591578	-100.009253
LAVADO SERVICIO DE CADEREYTA	3	173.00	467.10	25.60202522	-99.97308356
LAVADO TINO CAMPOS	3	173.00	467.10	25.588785	-99.995665
LAVADO Y ENGRASADO	3	173.00	467.10	25.589732	-99.993718
LAVADO Y ENGRASADO HIDALGO	3	173.00	467.10	25.59967909	-99.99022895
MORCAN	3	173.00	467.10	25.60155806	-99.98488588
TRACTO LAVADO Y ENGRASADO	3	173.00	467.10	25.60131534	-99.97072883
TOTAL (m ³ /año)			12,144.60		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En la Tabla 5.16 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 37,620.00 m³/año (1.19 l/s).

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 1,754,606 m³/año (56 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 6,046,436 m³/año (191.7 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 4,291,830 m³/año (136.1 l/s).

Tabla 5.16 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR Cadereyta

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CONALEP CADEREYTA	Escuelas de educación media superior del sector público	75	114.00	4,275.00	25.58609701	-99.99364764
ESCUELA LICENCIADO BENITO JUAREZ	Escuelas de educación media superior del sector público	20	114.00	1,140.00	25.59059588	-99.99701752
ESCUELA SECUNDARIA 59 MOISES GARZA GARZA 19DES00580	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.56396307	-99.98101383
ESCUELA SECUNDARIA NO 3 DR ABELARDO A LEAL TM	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.5992182	-99.9943025
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 66 PROFESOR ISRAEL CAVAZOS	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	75	114.00	4,275.00	25.58148057	-99.98987691
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA N36	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.57423015	-100.0086751
INSTITUTO DE ENFERMERIA F NIGTHINGALE	Escuelas de educación técnica superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.59011	-100.008973

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
INTERLINE	Escuelas de educación superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.58849616	-100.0018603
PREPARATORIA CECYTE	Escuelas de educación media superior del sector público	75	114.00	4,275.00	25.57188266	-100.0111146
PREPARATORIA NO 12 UANL	Escuelas de educación media superior del sector público	20	114.00	1,140.00	25.57490451	-99.98963768
SECUNDARIA PROFESOR EMILIO RODRIGUEZ CORTEZ TM	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.58332956	-100.0024469
SECUNDARIA PROFESOR EMILIO RODRIGUEZ CORTEZ TV	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.58332956	-100.0024469
ESCUELA SECUNDARIA NO 3 DR ABELARDO A LEAL TV	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.5992182	-99.9943025
UT CADEREYTA	Escuelas de educación superior del sector público	175	114.00	9,975.00	25.553975	-99.96689
TOTAL (m ³ /año)				37,620.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENEUE (2020).

5.3.5 Demanda potencial de agua en la PTAR Cadereyta II

En la Figura 5.3.8 se muestra una imagen de la PTAR Cadereyta II. En la Figura 5.3.9 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.17 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 68% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 1,795.31 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 1,188,210.23 m³/año (37.7 l/s).



Figura 5.3.8 Imagen de la PTAR Cadereyta II (Google, s.f. g)

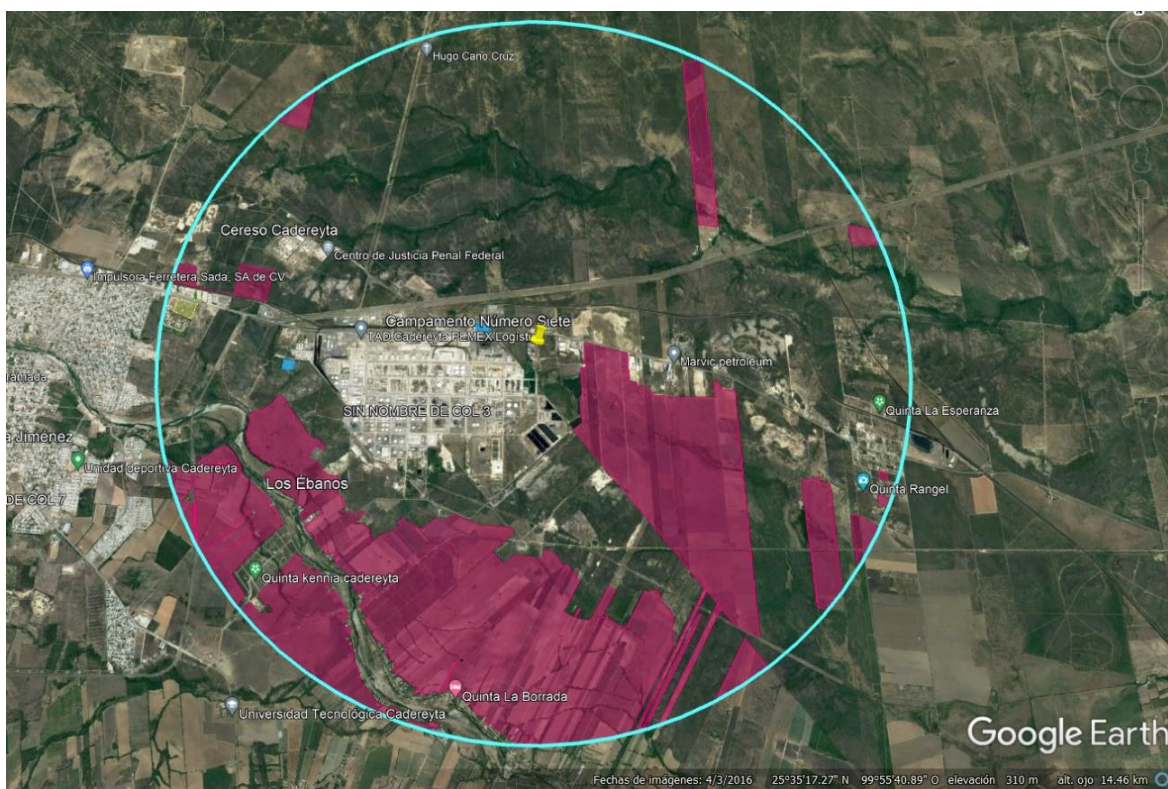


Figura 5.3.9 Ubicación de la PTAR Cadereyta II con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

Tabla 5.17 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Cadereyta II

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Aguacate	5.00	11.00	283.00	382.05	4,202.55
	Calabacita	170.00	3,540.00	24.00	32.40	114,696.00
	Chile verde	650.00	12,700.00	42.00	56.70	720,090.00
	Limón	199.00	781.75	152.00	205.20	160,415.10
	Maíz grano	96.00	189.00	81.00	109.35	20,667.15
	Mandarina	93.00	641.70	118.00	159.30	102,222.81
	Melón	8.00	0.00	25.00	33.75	0.00
	Naranja	3,940.00	27,267.20	110.00	148.50	4,049,179.20
	Nuez	37.00	31.45	1,367.00	1,845.45	58,039.40
	Sorgo grano	65.00	180.00	103.00	139.05	25,029.00
	Tomate verde	220.00	1,690.00	63.00	85.05	143,734.50
	Toronja (pomelo)	98.00	568.40	85.00	114.75	65,223.90
TOTAL		5,581.00				5,463,499.61
				Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)		978.95
				Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)		1,188,210.23

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.18 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 19,439.00 m³/año (0.62 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.19 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 37,778.87 m³/año (1.20 l/s).

Tabla 5.18 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Cadereyta II

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleador/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PETROQUIMICOS INDUSTRIALES	325999	110.54	175	19,344.50	25.59358	-99.96054
FLEX-TEC MÉXICO	335920	0.54	175	94.50	25.59612572	-99.93470377
TOTAL (m ³ /año)				19,439.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

Tabla 5.19 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR Cadereyta II

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ASOCIACIÓN DEPORTIVA CADEREYTA	55,202.00	912.50	37,778.87	25.600708	-99.974325
TOTAL (m ³ /año)			37,778.87		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de), INEGI-Directorío Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.20 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 934.2 m³/año (0.03 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En esta zona no se encontraron servicios educativos identificados alrededor de la PTAR.

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 1,246,362 m³/año (39 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 2,603,502 m³/año (82.6 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 1,357,140 m³/año (43.0 l/s).

Tabla 5.20 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR Cadereyta II

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
LAVADO SERVICIO DE CADEREYTA	3	173.00	467.10	25.60202522	-99.97308356
TRACTO LAVADO Y ENGRASADO	3	173.00	467.10	25.60131534	-99.97072883
TOTAL (m ³ /año)			934.20		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

5.3.6 Demanda potencial de agua en la PTAR García

En la Figura 5.3.10 se muestra una imagen de la PTAR García. En la Figura 5.3.11 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.21 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 95% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 336.49 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 522,181.66 m³/año (16.6 l/s).



Figura 5.3.10 Imagen de la PTAR García (Google s.f. h)

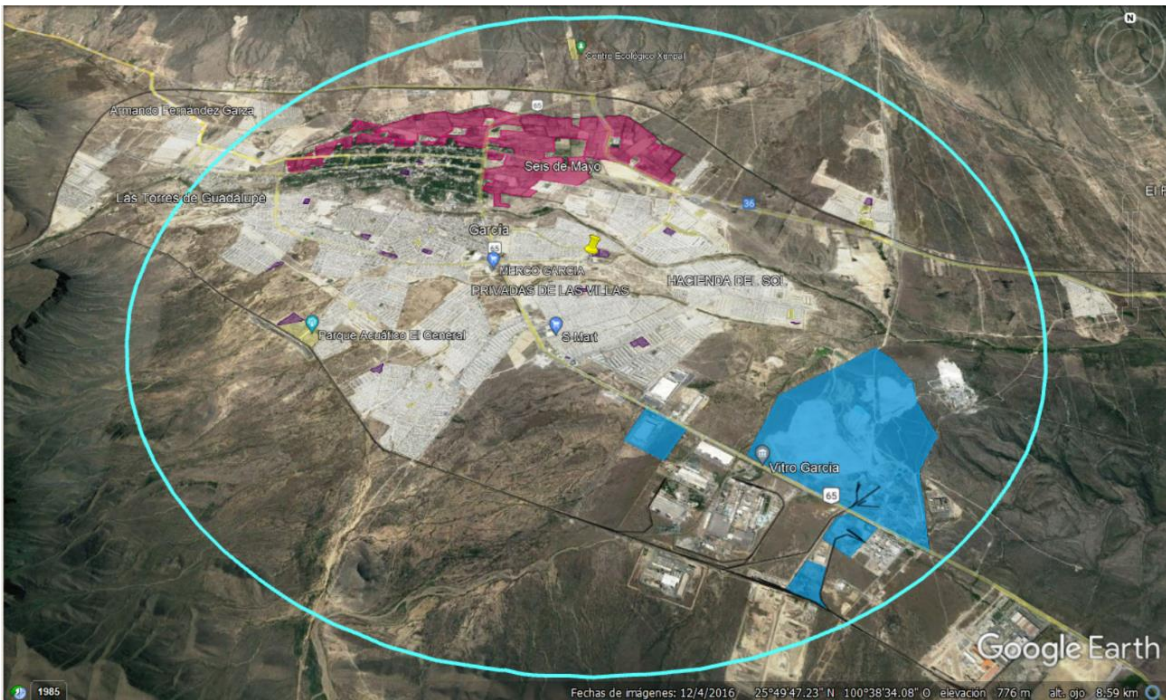


Figura 5.3.11 Ubicación de la PTAR García con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.21 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 95% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 336.49 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 522,181.66 m³/año (16.6 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.22 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 98,736.75 m³/año (3.13 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.23 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 168,582.78 m³/año (5.35 l/s).

Tabla 5.21 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR García

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Nuez	196.00	174.44	1,367.00	1,845.45	321,920.30
	Uva	1.80	4.23	97.00	130.95	553.92
TOTAL		197.80				322,474.22
				Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)		1,630.30
				Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)		522,181.66

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

Tabla 5.22 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR García

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
DISTRIBUIDORA ALCALI	325180	110.54	175	19,344.50	25.76535717	-100.54963964
SOLVAY & CPC BARIUM STRONTIUM MONTERREY	325180	110.54	175	19,344.50	25.76442286	-100.54938739
CORPORACIÓN PIPSA	331419	342.71	175	59,974.25	25.76057250	-100.55510889
LIEBHERR MONTERREY S DE RL DE CV	332991	0.42	175	73.50	25.77361111	-100.56500000
TOTAL (m ³ /año)				98,736.75		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020)

Tabla 5.23 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR García

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PARQUE PRIVADAS DE LINCOLN	12,440.00	912.50	8,513.63	25.803700	-100.561257
PARQUE LAS TORRES	4,119.00	912.50	2,818.94	25.788191	-100.597830
PARQUE PORTAL DE LINCOLN	24,810.00	912.50	16,979.34	25.801922	-100.541936
PLAZA DE DESCANSO	3,557.00	912.50	2,434.32	25.802697	-100.541770
ESCUELA DE FOOBALL AMERICANO BRONCOS DE GARCÍA 2	12,884.00	912.50	8,817.49	25.804391	-100.541323
PARQUE VALLE DE SAN BLAS	29,536.00	912.50	20,213.70	25.801138	-100.564074
PARQUE LA ISLA	805.00	912.50	550.92	25.798537	-100.558891
PARQUE PRADERAS	3,569.00	912.50	2,442.53	25.777207	-100.592263
PARQUE URBIVILLA DEL PRADO	4,025.00	912.50	2,754.61	25.779465	-100.590736
PARQUE DIAMANTE	7,350.00	912.50	5,030.16	25.789857	-100.600352
CANCHA DEL EJÉRCITO MEXICANO	41,939.00	912.50	28,702.00	25.785696	-100.603474
PARQUE ACUÁTICO EL GENERAL	47,873.00	912.50	32,763.08	25.786847	-100.605444
PARQUE ZACATECAS	6,025.00	912.50	4,123.36	25.799136	-100.594258
PLAZA DE LA MUJER	1,968.00	912.50	1,346.85	25.801068	-100.592872
CENTRO ECOLÓGICO XENPAL	38,845.00	912.50	26,584.55	25.834700	-100.576725
PARQUE HACIENDA HEROES DE CAPELLANÍA	6,586.00	912.50	4,507.29	25.788877	-100.552696
TOTAL (m ³ /año)			168,582.78		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de , INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.24 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 2,802.6 m³/año (0.09 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En la Tabla 5.25 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 52,725.00 m³/año (1.67 l/s).

Tabla 5.24 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR García

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AUTO LAVADO SIN NOMBRE	3	173.00	467.10	25.78981982	-100.58643598
CAR WASCH	3	173.00	467.10	25.80115220	-100.60957794
CAR WASH EL GRANDE	3	173.00	467.10	25.80569600	-100.59531900
CAR WASH LOS DOS HERMANOS	3	173.00	467.10	25.80066054	-100.58056425
CARWASH	3	173.00	467.10	25.79962000	-100.60729500
CARWASH SIN NOMBRE	3	173.00	467.10	25.80052400	-100.60670500
TOTAL (m ³ /año)			2,802.60		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

Tabla 5.25 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR García

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CECYT TURNO MATUTINO VESPERTINO	Escuelas de educación media superior del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79675200	-100.59726300
CECYTE	Escuelas de educación media superior del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79781497	-100.57212925
CECYTE TM	Escuelas de educación media superior del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79781497	-100.57212925
CENTRO CULTURAL Y DEPORTIVO SAN JOSE	Escuelas de deporte del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.80571031	-100.60816801
CENTRO DE ESTUDIOS REGIONMONTANOS	Escuelas de educación superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.78296400	-100.57685100
ESCUELA SECUNDARIA BICENTENARIO DE LA INDEPENDENCIA DE MEXICO NUM8	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79554468	-100.61020766
ESCUELA SECUNDARIA	Escuelas de educación	20	114.00	1,140.00	25.78770754	-100.55256180

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ESTATAL 114 CCTEES0131F	secundaria general del sector público					
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 61 PILOTO AVIADOR ROLANDO RODRIGUEZ FERNANDEZ	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.79821507	-100.59354424
ESCUELA SECUNDARIA JOSEFINA VALDEZ DEMASCAREÑAS	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81090364	-100.59735229
ESCUELA SECUNDARIA JUAN ALDAMA TURNO MATUTINO	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79219020	-100.57584567
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR DONACIANO JOEL DE LA PAZ CASTILLO CCT 19EES02352	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.78554664	-100.56925716
ESCUELA SECUNDARIA TEC 126 PROFESOR JOSE JUAN ALMAGUER MARROQUIN	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.79815736	-100.57344418
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 123 PROFRA GABRIEL GARCIA MARQUEZ CCT19DST0123Q	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.80554000	-100.54128300
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 126 PROF JUAN ALMAGUER MARROQUIN	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79815736	-100.57344418
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 61 PILOTO AVIADOR ROLANDO RODRIGUEZ FERNANDEZ	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.79821507	-100.59354424
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA JUAN ALDAMA VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.79219020	-100.57584567
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA NÚMERO	Escuelas de educación secundaria	40	114.00	2,280.00	25.78107325	-100.59594430

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CIENTO OCHO FEDERAL TURNO MATUTINO	técnica del sector público					
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA NÚMERO CIENTO OCHO FEDERAL TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.78107325	-100.59594430
SECUNDARIA ESTATAL 4 DOCTOR JUAN DE DIOS TREVIÑO TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79993307	-100.59996530
SECUNDARIA BICENTENARIO DE LA INDEPENDENCIA	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.79554468	-100.61020766
SECUNDARIA ESTATAL 4 DOCTOR JUAN DE DIOS TREVIÑO TURNO MATUTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79993307	-100.59996530
ESCUELA SECUNDARIA JOSEFINA VALDEZ DEMASCAREÑAS	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81090364	-100.59735229
SECUNDARIA TECNICA 120 FEDERAL PROFESOR FRANCISCO GUAJARDO VAZQUEZ CCT 19DST01207	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	75	114.00	4,275.00	25.80098242	-100.56574259
UNIVERSIDAD DE NUEVA EXTREMADURA TM	Escuelas de educación superior del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81197648	-100.59558977
UNIVERSIDAD NUEVA EXTREMADURA TV	Escuelas de educación superior del sector privado	40	114.00	2,280.00	25.81197648	-100.59558977
UP DE GARCÍA	Escuelas de educación superior del sector público	20	114.00	1,140.00	25.78794000	-100.60629300
TOTAL (m ³ /año)				52,725.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020)

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 845,029 m³/año (27 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 2,679,240 m³/año (85.0 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 1,834,211 m³/año (58.2 l/s).

5.3.7 Demanda potencial de agua en la PTAR Norte

En la Figura 5.3.12 se muestra una imagen de la PTAR Norte. En la Figura 5.3.13 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.

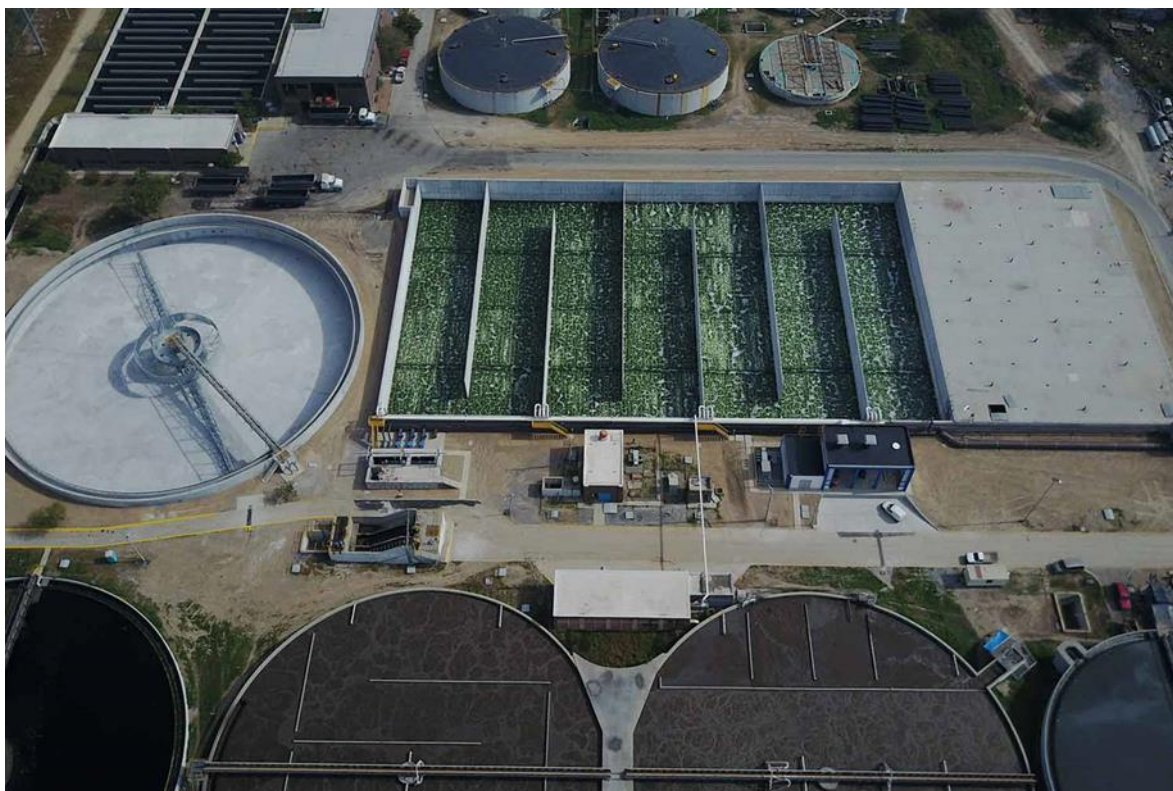


Figura 5.3.12 Imagen de la PTAR Norte (Google s. f. i)

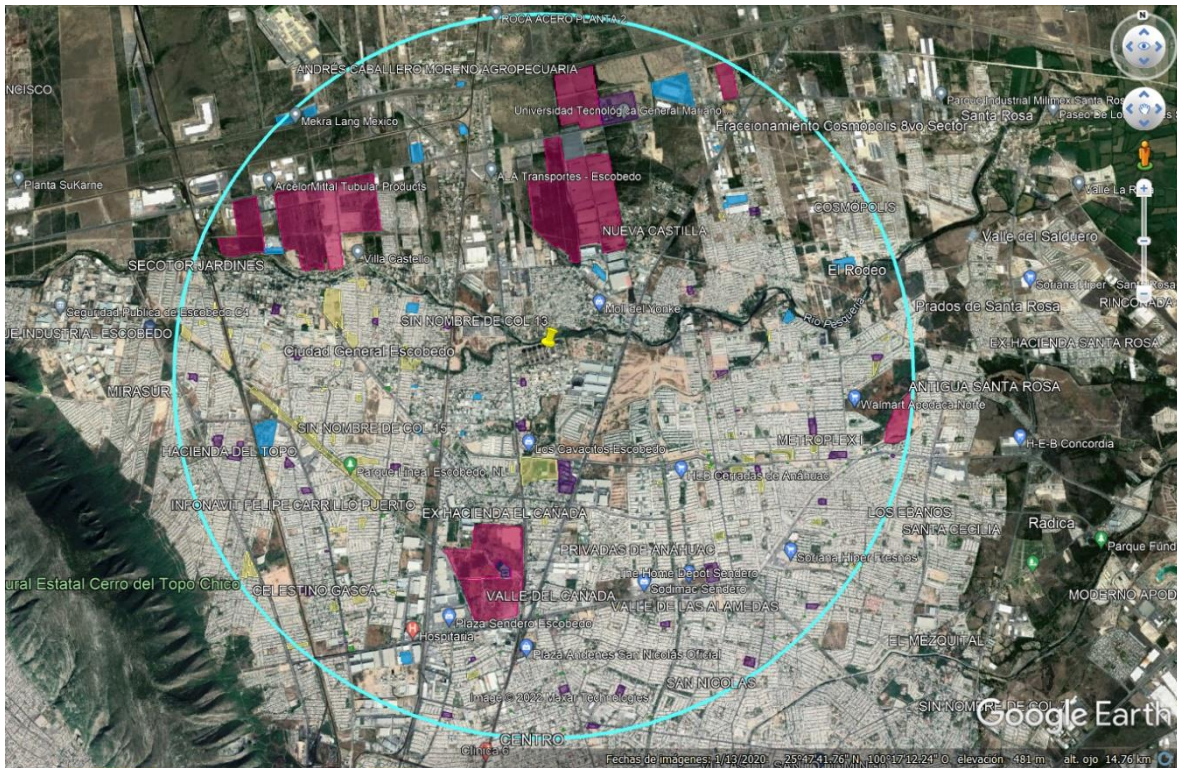


Figura 5.3.13 Ubicación de la PTAR Norte con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.26 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 100% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 475.30 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 1,652,261.63 m³/año (52.4 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.27 se muestran las industrias manufactureras alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 43,167.25 m³/año (1.37 l/s).

Tabla 5.26 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Norte

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
RIEGO	Sorgo forrajero en verde	60.00	1,500.00	103.00	139.05	208,575.00
TOTAL		60.00				208,575.00
				Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)		3,476.25
				Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)		1,652,261.63

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

Tabla 5.27 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Norte

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
JUHER DISTRIBUCIONES	311340	4.23	175	740.25	25.79060194	-100.3058498
MR PAY PASTELERIAS	311812	4.23	175	740.25	25.75506428	-100.2939233
PROVEEDORA DE AZUCAR DEL NORTE	311311	4.23	175	740.25	25.78993953	-100.2999249
MAQUILAS Y SERVICIOS J.C.SA.CV.	322122	91.39	175	15,993.25	25.79386779	-100.2981808
SEMAPLAST S.A. DE C.V.	325993	110.54	175	19,344.50	25.83496795	-100.2990838
BELDEN LRC MEXICO S DE RL DE CV.	334410	0.97	175	169.75	25.76521088	-100.3092572
BIRSA	332310	0.42	175	73.50	25.79224425	-100.3278753
BREMBO MÉXICO SA DE CV	336340	4.67	175	817.25	25.8319885	-100.2713931
CATAFORESIS.	336390	4.67	175	817.25	25.8245567	-100.3041021
CLIMEX WORLD	336390	4.67	175	817.25	25.80916381	-100.2813424
FIMSA	337120	1.89	175	330.75	25.80160208	-100.2553923
JAITER SA DE CV	332710	0.42	175	73.50	25.8059284	-100.3068844
MACOR DE MEXICO SA DE CV	333130	1.21	175	211.75	25.81688865	-100.2626823
MANUFACTURAS Y TECNOLOGIAS	334410	0.97	175	169.75	25.80925954	-100.2453868

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AVANZADAS DE ACERO SA DE CV						
MEKRA LANG MÉXICO S DE RL DE CV	336390	4.67	175	817.25	25.830284	-100.322728
MEXIN INDUSTRIAL S DE RL DE CV	332710	0.42	175	73.50	25.832247	-100.3204794
PROCESOS ESPECIALIZADOS EN METAL	332710	0.42	175	73.50	25.828449	-100.297983
ROL-TECH SA DE CV	333610	1.21	175	211.75	25.81340503	-100.3238933
RYL	337120	1.89	175	330.75	25.817525	-100.262208
SAMPLEX	339999	1.24	175	217.00	25.76331232	-100.2905362
SANIMODUL DE MEXICO	337120	1.89	175	330.75	25.79553137	-100.3057891
SPIROL MÉXICO	332720	0.42	175	73.50	25.824717	-100.262679
TOTAL (m ³ /año)				43,167.25		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.28 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 593,984.80 m³/año (18.83 l/s).

Tabla 5.28 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR Norte

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CADENA OTTAWA PARK	37,713.00	912.50	25,809.83	25.799741	-100.307506
CAMPOS DE BÉISBOL LOS JUÁREZ	101,925.00	912.50	69,754.92	25.807249	-100.317467
PARQUE LOS EUCALIPTOS	2,833.00	912.50	1,938.83	25.804457	-100.320345
PARQUE COL. VILLA ALTA	5,108.00	912.50	3,495.79	25.805079	-100.321464
PARQUE BUGAMBILIAS	1,657.00	912.50	1,134.01	25.786212	-100.267841
PARQUE CENTRAL ESCOBEDO	38,977.00	912.50	26,674.88	25.785104	-100.314409
CANCHAS FÚTBOL 7	27,403.00	912.50	18,753.93	25.787194	-100.317073

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ACADEMIA STREET SOCCER KIDS	10,956.00	912.50	7,498.01	25.786630	-100.314967
JUVENIL MINTSIKANY	18,907.00	912.50	12,939.48	25.786859	-100.312203
PARQUE LOMAS DE ESCOBEDO	8,293.00	912.50	5,675.52	25.790696	-100.319799
CLUB TEXANOS FOOTBOL AMERICANO	14,148.00	912.50	9,682.54	25.781473	-100.311712
PARQUE MONTERREAL	3,086.00	912.50	2,111.98	25.798942	-100.316583
AVIANA CLUB DEPORTIVO	4,913.00	912.50	3,362.33	25.794322	-100.313657
UNIDAD DEPORTIVA ALFONSO MARTINEZ	11,618.00	912.50	7,951.07	25.808797	-100.313030
PARQUE COLONIA MIRAVISTA	2,894.00	912.50	1,980.58	25.809293	-100.314484
PARQUE CRUZADO	12,132.00	912.50	8,302.84	25.774539	-100.327582
PARQUE ACUÁTICO	17,307.00	912.50	11,844.48	25.774777	-100.328384
PARQUE BALCONES DE ANÁHUAC	10,965.00	912.50	7,504.17	25.765833	-100.321453
PARQUE METROPLEX	18,910.00	912.50	12,941.53	25.786558	-100.253049
PARQUE LOS PINOS V	6,834.00	912.50	4,677.02	25.777201	-100.253770
PARQUE CONCORDIA	12,392.00	912.50	8,480.78	25.783877	-100.263808
PARQUE GLADIOLA	3,405.00	912.50	2,330.30	25.784249	-100.267307
PARQUE OLIVOS	4,971.00	912.50	3,402.03	25.801441	-100.326052
PARQUE LINEAL AVENIDA DEL TRIUNFO	14,367.00	912.50	9,832.42	25.781973	-100.260690
PARQUE NUEVO LAS PUENTES IV	19,167.00	912.50	13,117.42	25.785482	-100.256638
PARQUE ESCOBEDO	8,676.00	912.50	5,937.64	25.769997	-100.317047
PARQUE ARBOLEDAS DE ESCOBEDO	4,983.00	912.50	3,410.24	25.815682	-100.263204
PARQUE JARDINES DE ESCOBEDO II	4,527.00	912.50	3,098.17	25.803283	-100.330831
PARQUE BANDERAS	4,965.00	912.50	3,397.92	25.792018	-100.321586
PARQUE LINEAL	55,760.00	912.50	38,160.75	25.792371	-100.323179
ACADEMIA OFICIAL DE FÚTBOL TIGRES GIRASOLES	34,328.00	912.50	23,493.23	25.794950	-100.326502
PARQUE KISMET	12,058.00	912.50	8,252.19	25.785011	-100.262392
PARQUE PUERTA DEL NORTE	6,917.00	912.50	4,733.82	25.778840	-100.289486
POLIDEPORTIVO TIGRES	140,611.00	912.50	96,230.65	25.784559	-100.289553

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
LYON PARK	2,789.00	912.50	1,908.72	25.762687	-100.276376
PARQUE PINOS I	7,185.00	912.50	4,917.23	25.771908	-100.249137
PARQUE CALIFORNIA	19,229.00	912.50	13,159.85	25.770908	-100.313880
PARQUE QUINTAS DE ANÁHUAC	2,445.00	912.50	1,673.30	25.782806	-100.273977
PARQUE FRACC. MIRAVISTA	18,437.00	912.50	12,617.82	25.802047	-100.314134
PARQUE GALAXIA	5,417.00	912.50	3,707.26	25.788018	-100.264109
PARQUE RENACIMIENTO	7,949.00	912.50	5,440.10	25.806199	-100.332860
PARQUE COLONIA LAS ENCINAS	8,427.00	912.50	5,767.23	25.805206	-100.311265
PARQUE FRACC. JOLLA DE ANÁHUAC	9,002.00	912.50	6,160.74	25.779712	-100.313375
PARQUE NEXXUS RUBÍ	2,196.00	912.50	1,502.89	25.771309	-100.309523
PARQUE LAS ESTANCIAS	4,649.00	912.50	3,181.66	25.800095	-100.257929
PARQUE 1ER SECTOR LAS HADAS	2,775.00	912.50	1,899.14	25.785258	-100.293437
PARQUE FRACC. JOYA DE ANÁHUAC	9,263.00	912.50	6,339.37	25.778810	-100.316535
PARQUE HACIENDA LAS PALMAS II	9,948.00	912.50	6,808.16	25.776179	-100.266695
PARQUE KIOSKO	4,635.00	912.50	3,172.08	25.799133	-100.241984
PARQUE FRACCIONAMIENTO TOPO GRANDE	6,907.00	912.50	4,726.98	25.790145	-100.317064
PARQUE FRACCIONAMIENTO 2DO SECTOR	11,483.00	912.50	7,858.68	25.800030	-100.331386
PARQUE MISIÓN DE FUNDADORES	11,260.00	912.50	7,706.06	25.795613	-100.243979
PARQUE MIRADOR VALLE 2	4,290.00	912.50	2,935.97	25.804642	-100.334685
PARQUE BOSQUES DE ESCOBEDO	15,356.00	912.50	10,509.26	25.803365	-100.337058
PARQUE DELTA	4,623.00	912.50	3,163.87	25.768478	-100.280348
PARQUE 4° SEC PONIENTE	4,471.00	912.50	3,059.84	25.812936	-100.241612
PARQUE CASA BELLA	9,528.00	912.50	6,520.73	25.761531	-100.299656
PARK BOARD IMPROVEMENT	1,953.00	912.50	1,336.58	25.795784	-100.318220
TOTAL (m ³ /año)			593,984.80		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.29 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 30,828.6 m³/año (0.98 l/s).

Tabla 5.29 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR Norte

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AUTO LAVADO CASA BELLA	3	173.00	467.10	25.76400292	-100.2959871
AUTO LAVADO EL BULL	3	173.00	467.10	25.78390129	-100.2489829
AUTO LAVADO MARTINEZ	3	173.00	467.10	25.78225706	-100.2965879
AUTO SERVICIO RUBOMA	3	173.00	467.10	25.757352	-100.294743
AUTOLAVADOS TEQUENDAMA	3	173.00	467.10	25.772719	-100.310519
AUTOS LUBRICANTES DE LAVADO Y ENGRASADO	3	173.00	467.10	25.7883971	-100.3035568
CAR WASH EL CHORRITO	3	173.00	467.10	25.76137331	-100.2851392
CAR WASH LA REPÚBLICA	3	173.00	467.10	25.75599758	-100.2771252
CAR WASH EL GUERO	3	173.00	467.10	25.79242702	-100.2486039
CAR WASH EL OASIS	3	173.00	467.10	25.783057	-100.249627
CAR WASH EXTREME	3	173.00	467.10	25.78487619	-100.2671364
CAR WASH KLASSIC	3	173.00	467.10	25.75505353	-100.288065
CAR WASH LA ENRAMADA	3	173.00	467.10	25.76651452	-100.2564224
CAR WASH LA TORTUGA	8	173.00	1,245.60	25.76417286	-100.2605803
CAR WASH LASER WASH	20	173.00	3,114.00	25.785083	-100.246261
CAR WASH LAVADO Y ASPIRADO DE AUTOS	3	173.00	467.10	25.79524476	-100.3095713
CAR WASH LOS CORTEZ	3	173.00	467.10	25.8075761	-100.2563031
CAR WASH MASTER CLEAN	8	173.00	1,245.60	25.76484939	-100.3147214
CAR WASH LOS PRIMOS	8	173.00	1,245.60	25.77229861	-100.3136914
CAR WASH PERFECT WASH	3	173.00	467.10	25.76066236	-100.2630684
CAR WASH RINO	3	173.00	467.10	25.7844291	-100.2568506

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CAR WASH SIN NOMBRE	3	173.00	467.10	25.77872996	-100.2661124
CAR WASH ZONA CLEAN	3	173.00	467.10	25.78673919	-100.2585195
CARWASH CHECOS	3	173.00	467.10	25.77563265	-100.2514755
CARWASH JUNIOR	3	173.00	467.10	25.78712106	-100.2675758
CARWASH LOS COMPARES	3	173.00	467.10	25.807273	-100.254909
CLASIC AUTOLAVADO	3	173.00	467.10	25.78126659	-100.2907624
D LUXE CAR WASH	8	173.00	1,245.60	25.78042462	-100.3108782
DE LUXE CAR WASH	8	173.00	1,245.60	25.7678352	-100.2721602
GREEN-CAR CAR WASH	3	173.00	467.10	25.7902005	-100.2668947
RK CARWASH	20	173.00	3,114.00	25.78536474	-100.2671819
SERVICIOS SAN NICOLAS	3	173.00	467.10	25.76138297	-100.2879251
SHINE CAR WASH	20	173.00	3,114.00	25.76707777	-100.3157024
SYMA AUTOLAVADO	20	173.00	3,114.00	25.76791991	-100.290839
VAL RI CAR WASH	3	173.00	467.10	25.78152688	-100.3131371
TOTAL (m ³ /año)			30,828.60		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En la Tabla 5.30 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 220,020.00 m³/año (6.98 l/s).

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 2,540,262 m³/año (80.5 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 79,982,737 m³/año (2,536.3 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 77,442,475 m³/año (2,455.7 l/s).

Tabla 5.30 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR Norte

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CBTIS 258	Escuelas de educación media superior del sector público	175	114.00	9,975.00	25.7878516	-100.3293117
CECYTE N L	Escuelas de educación media superior del sector público	75	114.00	4,275.00	25.78475875	-100.2501559
CENTRO ACADEMICO NUEVOLEON	Escuelas de educación media superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.7911122	-100.2632397
CENTRO DE BACHILLERATO TECNOLÓGICO AGROPECUARIO CBTA 250	Escuelas de educación media superior del sector público	40	114.00	2,280.00	25.80406163	-100.3109347
CENTRO DE IDIOMAS	Escuelas de idiomas del sector público	20	114.00	1,140.00	25.76307386	-100.2996524
CENTRO EDUCATIVO INTERCONTINENTAL	Escuelas de educación media superior del sector privado	40	114.00	2,280.00	25.75449196	-100.2896857
ESCUELA SECUNDARIA DOCTOR ALBERT B SABIN	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.75892645	-100.2803569
ESCUELA SECUNDARIA DONATO ELIZONDO AYALA CCT 19DES0032G	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.8061145	-100.3243053
ESCUELA SECUNDARIA FEDERAL TECNICA 77	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79564696	-100.2918142
ESCUELA SECUNDARIA DONATO ELIZONDO AYALA CCT 19DES0032G	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.8061145	-100.3243053
ESCUELA SECUNDARIA GENERAL PROFESOR JULIO CUAUHTEMOC TREVIÑO TREVIÑO TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.76729531	-100.2555462
ESCUELA SECUNDARIA MIGUEL GUADIANA IBARRA T VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.77236211	-100.3206611

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ESCUELA SECUNDARIA GENERAL PROFESOR JULIO CUAUHTEMOC TREVIÑO TREVIÑO TURNO MATUTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.76729531	-100.2555462
ESCUELA SECUNDARIA NO 12 MIUEL GRANADOS CHAPA	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79599442	-100.2648794
ESCUELA SECUNDARIA NO 12 MIUEL GRANADOS CHAPA	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.79599442	-100.2648794
ESCUELA SECUNDARIA NOCTURNA PROFESOR PEDRO TEOFILO SALDIVAR	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.75917379	-100.2876579
ESCUELA SECUNDARIA MIGUEL GUADIANA IBARRA T MATUTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.77236211	-100.3206611
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR PEDRO TEOFILO SALDIVAR	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.75917379	-100.2876579
ESCUELA SECUNDARIA NUMERO 3 PROFESORA LILIA MALDONADO LEAL TURNO MATUTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.78381348	-100.2612023
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR CASIMIRO S GONZALEZ TECNICA 83	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.78301835	-100.2653027
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR NICOLAS CUEVAS SANCHEZ TM	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81652776	-100.2586905
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR PEDRO TEOFILO SALDIVAR	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.75917379	-100.2876579

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 50 TM	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.77930162	-100.2527966
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 58	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	75	114.00	4,275.00	25.7889639	-100.2527581
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 62 MARIANO AZUELA	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.78642734	-100.3090132
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 62 MARIANO AZUELA TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.78642734	-100.3090132
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR CASIMIRO S GONZALEZ TECNICA 83 TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.78301835	-100.2653027
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 87 MARIANO ARISTA	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.80662388	-100.267965
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 95 PROFESOR JOSE JUAN VILLAREAL	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79843996	-100.3359426
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 95 PROFESOR JOSE JUAN VILLAREAL	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.79843996	-100.3359426
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA NO 74 PROFESOR CARLOS TIJERINA TORRES TM	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79023681	-100.3318562
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA NO 74 PROFESOR CARLOS TIJERINA TORRES TV	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79023681	-100.3318562

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA NUMERO 28 JUAN DE DIOS PEZA TURNO VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	20	114.00	1,140.00	25.76183196	-100.2632872
ESCUELA SUPERIOR AERONAUTICA DE MONTERREY SA DE CV	Escuelas de educación técnica superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.76334297	-100.2937329
FACULTAD DE AGRONOMIA	Escuelas de educación superior del sector público	300	114.00	17,100.00	25.78463406	-100.2874192
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA	Escuelas de educación superior del sector público	175	114.00	9,975.00	25.78462427	-100.2874194
INSTITUTO DE FORMACION PROFECIONAL DE LA FISCALIA GENERAL DE JUSTICIA	Escuelas de educación superior del sector público	75	114.00	4,275.00	25.77093379	-100.2672426
INSTITUTO EDUCATIVO CONCORDIA	Escuelas de educación secundaria técnica del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.7849072	-100.2429672
INSUCO	Escuelas de computación del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.7762059	-100.3177067
CECyTE ESCOBEDO	Escuelas de educación media superior del sector público	40	114.00	2,280.00	25.78998406	-100.2926966
PREPARATORIA NO 25 UANL	Escuelas de educación media superior del sector público	175	114.00	9,975.00	25.78464346	-100.2874191
SECUNDARIA 24 MARGARITA DE GORTARI DE SALINAS TM	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.75738867	-100.3034839
SECUNDARIA 30 ROGELIO DE LEON GARZA	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.76632621	-100.2750753
SECUNDARIA 30 ROGELIO DE LEON GARZA	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.76632621	-100.2750753

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
SECUNDARIA 48 NUEVO REINO DE LEON TM	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.78672667	-100.3222403
SECUNDARIA 5 JOSEFA ORTIZ DE DOMINGUEZ	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.75555439	-100.2846246
SECUNDARIA 48 NUEVO REINO DE LEON TV	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.78672667	-100.3222403
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 50 TV	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.77930162	-100.2527966
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR NICOLAS CUEVAS SANCHEZ TV	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81652776	-100.2586905
SECUNDARIA MARIANO ESCOBEDO 47	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.80385519	-100.3016243
SECUNDARIA 24 MARGARITA DE GORTARI DE SALINAS TV	Escuelas de educación secundaria general del sector público	40	114.00	2,280.00	25.75738867	-100.3034839
SECUNDARIA TECNICA 28 JUAN DE DIOS PEZA	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.76183196	-100.2632872
SECUNDARIA TECNICA 37 TURNO MATUTINO Y VESPERTINO	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	175	114.00	9,975.00	25.79994975	-100.3213458
ESCUELA SECUNDARIA TECNICA 50 TM	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.77930162	-100.2527966
SECUNDARIA TECNICA 87 MARIANO ARISTA	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	20	114.00	1,140.00	25.80662388	-100.267965

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
SECUNDARIA TECNICA NUM 65 HUMBERTO BUENTELLO CHAPA TM 19DST0065Q	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81852567	-100.24446
SECUNDARIA TECNICA NUM 65 HUMBERTO BUENTELLO CHAPA TV 19DST0065Q	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.81852567	-100.24446
SECUNDARIA TECNICA PROFRA ELISA GARZA BERLANGA T MATUTINO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	75	114.00	4,275.00	25.79715897	-100.2429179
SECUNDARIA TECNICA PROFRA ELISA GARZA BERLANGA TV	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	40	114.00	2,280.00	25.79715897	-100.2429179
UNIDAD FUNDADORES	Escuelas de educación media superior del sector privado	75	114.00	4,275.00	25.77254651	-100.2949659
UNIVERSIDAD ALFONSO REYES	Escuelas de educación superior del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.78395468	-100.3202504
UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DEL NORTE	Escuelas de educación superior del sector privado	75	114.00	4,275.00	25.75899965	-100.2955836
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA GRAL MARIANO ESCOBEDO	Escuelas de educación superior del sector público	300	114.00	17,100.00	25.82897306	-100.2762101
YOSI EZ ENGLISH	Escuelas de idiomas del sector privado	20	114.00	1,140.00	25.769399	-100.275006
TOTAL (m ³ /año)				220,020.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

5.3.8 Demanda potencial de agua en la PTAR General Zuazua

En la Figura 5.3.14 se muestra una imagen de la PTAR General Zuazua. En la Figura 5.3.15 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.31 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 100% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 827.04 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 1,868,010.96 m³/año (59.2 l/s).



Figura 5.3.14 Imagen de la PTAR General Zuazua (Google s.f. j)

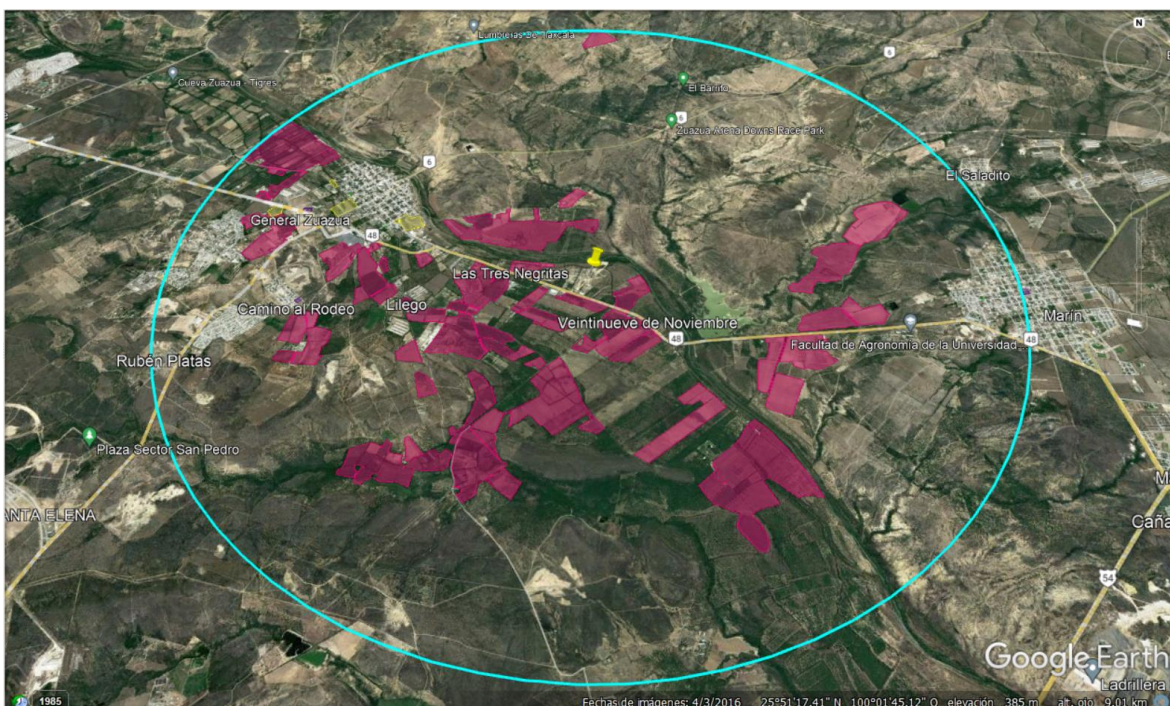


Figura 5.3.15 Ubicación de la PTAR General Zuazua con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

Tabla 5.31 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR General Zuazua

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Nopalitos	4.00	116.00	0.00	0.00	0.00
	Nuez	11.10	9.99	1,367.00	1,845.45	18,436.05
	Sorgo forrajero en verde	30.00	600.00	103.00	139.05	83,430.00
TOTAL		45.10				101,866.05
					Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)	2,258.67
					Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)	1,868,010.96

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En esta zona no se encontraron industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales con un número igual o mayor a 51 empleados.

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.32 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 103,807.18 m³/año (3.29 l/s).

Tabla 5.32 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR General Zuazua

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PARQUE PLACA PLAZA LA LOMA	6,103.39	912.50	4,177.01	25.8820509765566	-100.131522489583
PARQUE LA CAÑADA	53,167.31	912.50	36,386.38	25.8928306718728	-100.112285011198
PARQUE PLAZA INSURGENTES	2,438.26	912.50	1,668.68	25.8909017515836	-100.105097027568
PARQUE LA LOMA DEL TANQUE	62,461.10	912.50	42,746.82	25.8911283863594	-100.103877023082
PARQUE LA PUERTA DE HIERRO	7,574.40	912.50	5,183.73	25.897675645352976,	-100.114352141830
PARQUE RANCHO ZUAZUA	19,937.27	912.50	13,644.57	25.8926640997589	-100.120910328801
TOTAL (m ³ /año)			103,807.18		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.33 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 1,401.3 m³/año (0.04 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativo

En la Tabla 5.34 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 3,420.00 m³/año (0.11 l/s).

Tabla 5.33 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR General Zuazua

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AUTO LAVADO ZUAZUA	3	173.00	467.10	25.89535696	-100.11176008
LAVADO DE AUTOS CANTU	3	173.00	467.10	25.87873725	-100.03594703
SERVICIO EL GUERO	3	173.00	467.10	25.88995706	-100.10625631
TOTAL (m ³ /año)			1,401.30		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

Tabla 5.34 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR General Zuazua

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ESCUELA SECUNDARIA LIC LEOPOLDO ORTIZ LIEBICH CCT 19EES0243J	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.88	-100.03
ESCUELA SECUNDARIA NO 1 PROF ABELARDO GONZALEZ MARTINEZ 19EES0083M	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.89	-100.12
SECUNDARIA 120 JESUS ANGEL MARTINEZMARTINEZ	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.88	-100.12
TOTAL (m ³ /año)				3,420.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 1,976,639 m³/año (63 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 4,001,504 m³/año (126.9 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 2,024,864 m³/año (64.2 l/s).

5.3.9 Demanda potencial de agua en la PTAR Pesquería II

En la Figura 5.3.16 se muestra una imagen de la PTAR Pesquería II. En la Figura 5.3.17 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.



Figura 5.3.16 Imagen de la PTAR Pesquería II (Google s.f. k).

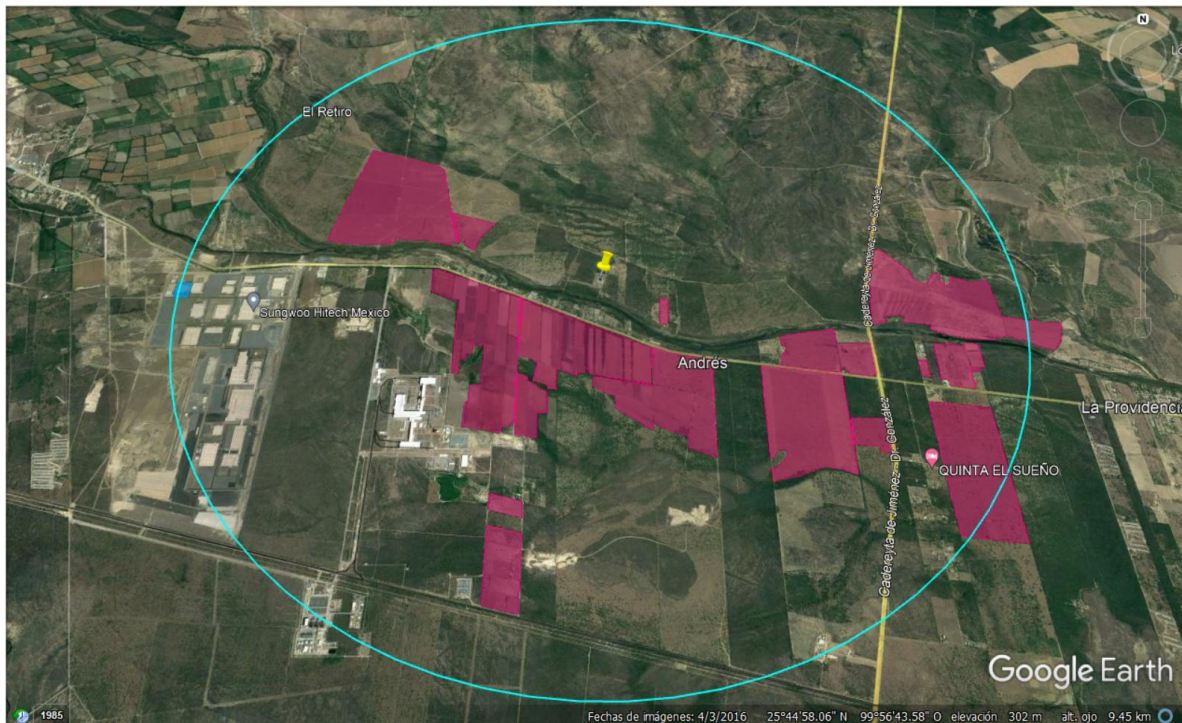


Figura 5.3.17 Ubicación de la PTAR Pesquería II con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.35 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 100% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 1,072.62 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 3,184,884.98 m³/año (101.0 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.36 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 817.25 m³/año (0.03 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En esta zona no se encontraron áreas verdes alrededor de la PTAR.

Tabla 5.35 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Pesquería II

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Maíz grano	5.00	9.00	81.00	109.35	984.15
	Sorgo forrajero en verde	15.00	420.00	103.00	139.05	58,401.00
TOTAL		20.00				59,385.15
				Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)		2,969.26
				Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)		3,184,884.98

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

Tabla 5.36 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Pesquería II

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
SEJONG MÉXICO S DE RL DE CV	336390	4.67	175	817.25	25.76133641	-99.99299113
TOTAL (m ³ /año)				817.25		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En esta zona no se encontraron autolavados identificados alrededor de la PTAR.

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En esta zona no se encontraron servicios educativos identificados alrededor de la PTAR.

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 3,185,702 m³/año (101 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 2,164,851 m³/año (68.6 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un déficit de agua tratada de 1,020,851 m³/año (-32.4 l/s).

5.3.10 Demanda potencial de agua en la PTAR Dulces Nombres

En la Figura 5.3.18 se muestra una imagen de la PTAR Dulces Nombres. En la Figura 5.3.19 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.37 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 99% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 1,490.1 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 804,657.91 m³/año (25.5 l/s).



Figura 5.3.18 Imagen de la PTAR Dulces Nombres (Google s.f. 1).

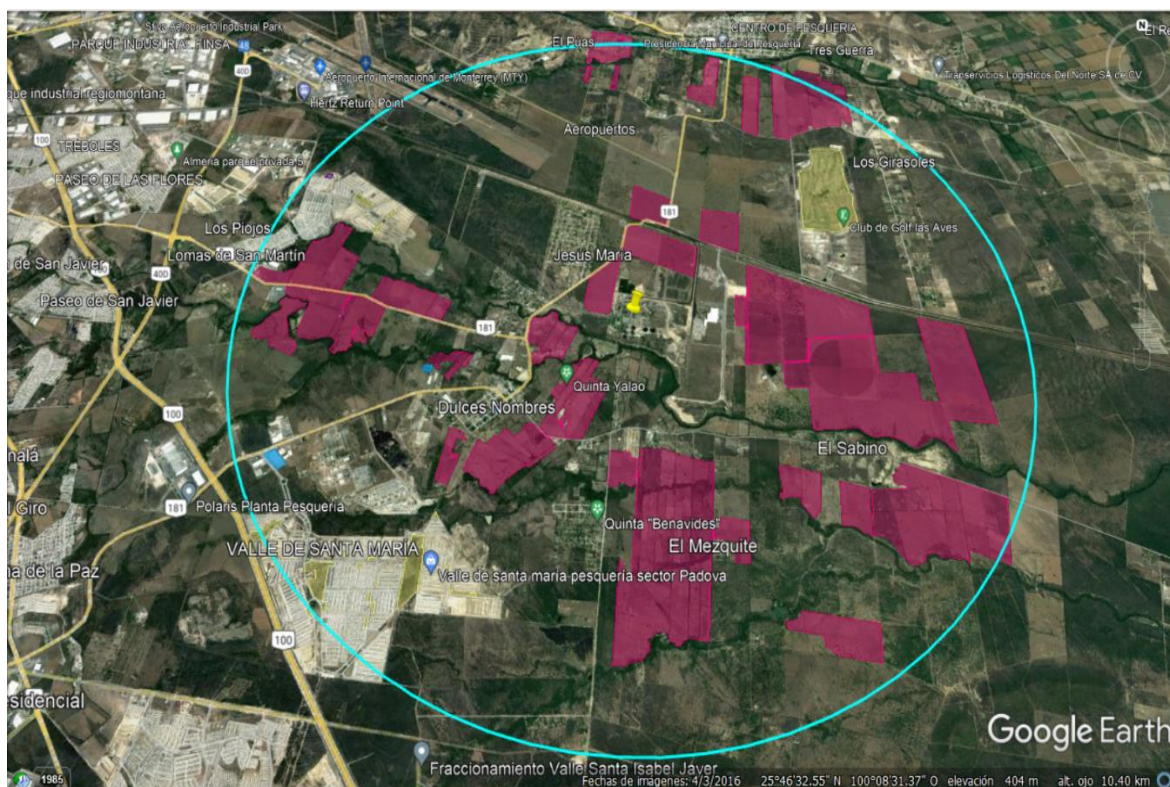


Figura 5.3.19 Ubicación de la PTAR Dulces Nombres con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestra las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

Tabla 5.37 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Dulces Nombres

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Frijol	106.00	53.00	125.00	168.75	8,943.75
	Maiz grano	560.00	1,480.00	81.00	109.35	161,838.00
	Nuez	6.90	6.69	1,367.00	1,845.45	12,346.06
	Sorgo forrajero en verde	105.00	1,925.20	103.00	139.05	267,699.06
	Sorgo grano	1,025.00	2,938.80	103.00	139.05	408,640.14
	Trigo grano	2,400.00	3,080.00	342.00	461.70	1,422,036.00
TOTAL		4,202.90				2,281,503.01
					Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)	542.84
					Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)	804,657.91

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.38 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 70,176.75 m³/año (2.23 l/s).

Tabla 5.38 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Dulces Nombres

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PRODUCTORA Y DISTRIBUIDORA DE ESPEJOS	327212	53.63	175	9,385.25	25.72777519	-100.08418590
MOLDANZ	331220	342.71	175	59,974.25	25.72983631	-100.09303220
TAEHWA MEXICO	336330	4.67	175	817.25	25.72082426	-100.10933727
TOTAL (m ³ /año)				70,176.75		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENEU (2020).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.39 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 859,406.79 m³/año (27.2 l/s).

Tabla 5.39 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR Dulces Nombres

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PARQUE SANTA MATILDE	1,663.98	912.50	1,138.79	25.7672025198821	-100.0307122819930
PARQUE CANTORA 2DO SECTOR	7,951.86	912.50	5,442.05	25.7520251872979	-100.1015327616090
PARQUE PLAZA PATINAJE 2DA. SECC.	6,039.52	912.50	4,133.30	25.7532775311932	-100.1005352265220
PARQUE CANTORAL	27,543.26	912.50	18,849.92	25.7558537478133	-100.1048461187130
PARQUE TOSCANA	3,485.21	912.50	2,385.19	25.7156081873707	-100.0900652936130
PARQUE SECTOR PADOVA	1,981.88	912.50	1,356.35	25.7103235400267	-100.0881930373720
PARQUE FIRENZE	31,158.52	912.50	21,324.11	25.7080902381934	-100.0868004613080
PARQUE SECTOR FLORENCIA	2,949.26	912.50	2,018.40	25.7062455416378	-100.1026492651200
PARQUE SECTOR CAPRI	5,562.56	912.50	3,806.88	25.7067341754134	-100.1010254429120
PARQUE SECTOR PALERMO	3,408.90	912.50	2,332.97	25.7051574217595	-100.0963984013820
PARQUE SECTOR LIVERNO	3,517.60	912.50	2,407.36	25.7065828671820	-100.0958257488830

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PARQUE SECTOR GENOVA	3,499.33	912.50	2,394.85	25.7076161188269	-100.0965014778750
PARQUE SECTOR MILÁN	2,451.10	912.50	1,677.47	25.7089352363670	-100.0959043237920
PARQUE SECTOR LAZIO	3,420.57	912.50	2,340.95	25.7112580968741	-100.0967870312550
PARQUE SECTOR NAPOLES	2,671.08	912.50	1,828.02	25.7107729695716	-100.0975503810600
PARQUE SECTOR SAN REMO	1,443.09	912.50	987.61	25.7116199668135	-100.0996469931950
PARQUE SECTOR BOLONIA	71,352.21	912.50	48,831.67	25.7108081935798	-100.1008789268100
PARQUE MADIBA	34,308.06	912.50	23,479.58	25.7145172863412	-100.1089329547850
CLUB DE GOLF LAS AVES	906,961.31	912.50	620,701.65	25.7530675924434	-100.0394734661540
PARQUE TOSCANA	134,384.92	912.50	91,969.68	25.7130354738937	-100.0916506106520
TOTAL (m ³ /año)			859,406.79		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En esta zona no se encontraron autolavados identificados alrededor de la PTAR.

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En la Tabla 5.40 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 1,140.00 m³/año (0.04 l/s).

Tabla 5.40 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR Dulces Nombres

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ESCUELA SECUNDARIA ROLANDO GUZMAN FLORES	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.75899800	-100.10948591
TOTAL (m ³ /año)				1,140.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 1,735,381 m³/año (55 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 214,153,029 m³/año (6,790.8 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 212,417,648 m³/año (6,735.8 l/s).

5.3.11 Demanda potencial de agua en la PTAR San Miguel Interpuerto

En la Figura 5.3.20 se muestra una imagen de la PTAR San Miguel Interpuerto. En la Figura 5.3.21 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.



Figura 5.3.20 Imagen de la PTAR San Miguel Interpuerto (Google s.f. m).



Figura 5.3.21 Ubicación de la PTAR San Miguel Interpuerto con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.41 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 71% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 167.4 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 295,621.75 m³/año (9.4 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.42 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 298,616.50 m³/año (9.47 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En la Tabla 5.43 se muestran las áreas verdes alrededor de la PTAR. Se estima para este caso un potencial de uso de agua tratada de 365,213.24 m³/año (11.6 l/s).

Tabla 5.41 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR San Miguel Interpuerto

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Calabacita	7.00	98.00	24.00	32.40	3,175.20
	Nuez	22.10	21.44	1,367.00	1,845.45	39,566.45
	Sorgo forrajero en verde	23.00	621.00	103.00	139.05	86,350.05
TOTAL		52.10				129,091.70
				Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)		2,477.77
				Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)		295,621.75

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

Tabla 5.42 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR San Miguel Interpuerto

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
COLOROBIA MÉXICO SA DE CV	325510	110.54	175	19,344.50	25.94483277	-100.23004526
FABRICA DE PAPEL SAN FRANCISCO	322122	91.39	175	15,993.25	25.88881767	-100.23331559
TORRECID MÉXICO	325510	110.54	175	19,344.50	25.88892977	-100.22282135
UREBLOCK	326150	3.99	175	698.25	25.89614571	-100.24058536
UREBLOCK RESORTES	326150	3.99	175	698.25	25.90358166	-100.23065434
DAEWON MEXICO	331220	342.71	175	59,974.25	25.90558004	-100.22728304
DONALDSON	336390	4.67	175	817.25	25.90279420	-100.23253104
HOLBERT DE MEXICO S.A. DE C.V.	336390	4.67	175	817.25	25.90353000	-100.26444139
JOHNSON CONTROLS ENTERPRISES MÉXICO	335910	0.54	175	94.50	25.88155677	-100.22220998
MYUNGHWA MÉXICO	336310	4.67	175	817.25	25.88772862	-100.23447750
OASIS LATINOAMERICA	335210	0.54	175	94.50	25.90480576	-100.23031466
TAMSA	331210	342.71	175	59,974.25	25.88270107	-100.22136571
ZINK POWER MONTERREY	331520	342.71	175	59,974.25	25.89589457	-100.23808198
HYDRO PRECISION TUBING MANUFACTURING MONTERREY	331310	342.71	175	59,974.25	25.90500648	-100.22666015
TOTAL (m ³ /año)				298,616.50		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENEUE (2020).

Tabla 5.43 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para áreas verdes. PTAR San Miguel Interpuerto

ÁREAS VERDES					
Nombre de la Unidad Económica	Área (m ²)	Demanda superficial promedio de agua para riego (l/m ² *año)	Potencial de agua tratada para riego de áreas verdes (m ³ /año)	Latitud	Longitud
PARQUE CPA	11,720.08	912.50	8,020.93	25.8754117304724	-100.2320196710630
CANCHAS CEDIS	97,184.45	912.50	66,510.61	25.8978745186836	-100.2610193247750
CANCHAS DE FÚTBOL SATELITE DEL NORTE	31,380.34	912.50	21,475.92	25.9161875524666	-100.2638273221370
PARQUE PILARES	62,279.16	912.50	42,622.30	25.9169829898555	-100.2570927301020
NUEVO BOSQUES DE CASTILLA	43,995.89	912.50	30,109.69	25.9161118215560	-100.2484002403740
PARQUE ANDALUCÍA	7,416.30	912.50	5,075.53	25.9217001638198	-100.2424908526330
PLAZA INDUSTRIAS DEL VIDRIO	3,090.03	912.50	2,114.74	25.9157424113288	-100.2377227986700
PARQUE DE JUEGOS DE CERRO PRIETO	3,922.64	912.50	2,684.56	25.9096699796639	-100.2454317771360
PARQUE RECREATIVO CASAS ARA	95,971.56	912.50	65,680.54	25.9071447975833	-100.2037203063510
SAN FRANCISCO II	176,684.47	912.50	120,918.43	25.9363325759389	-100.2115738841170
TOTAL (m ³ /año)			365,213.24		

Fuente: Elaboración propia con apoyo de INEGI-Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En esta zona no se encontraron autolavados identificados alrededor de la PTAR.

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos
- En la Tabla 5.44 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 1,140.00 m³/año (0.04 l/s). Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 960,591 m³/año (30.5 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 1,050,868 m³/año (33.3 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 90,277 m³/año (2.8 l/s).

Tabla 5.44 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR San Miguel Interpuerto

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
ESCUELA SECUNDARIA NO 2 1983 CINCUENTENARIO DE EDUCACION SECUNDARIA	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20	114.00	1,140.00	25.91536449	-100.26303652
TOTAL (m ³ /año)				1,140.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

5.3.12 Demanda potencial de agua en la PTAR Santiago

En la Figura 5.3.22 se muestra una imagen de la PTAR Santiago. En la Figura 5.3.23 se muestra su ubicación con una representación de las actividades económicas encontradas alrededor de la planta en un radio de 5 km.



Figura 5.3.22 Imagen de la PTAR Santiago (Google s.f. n).

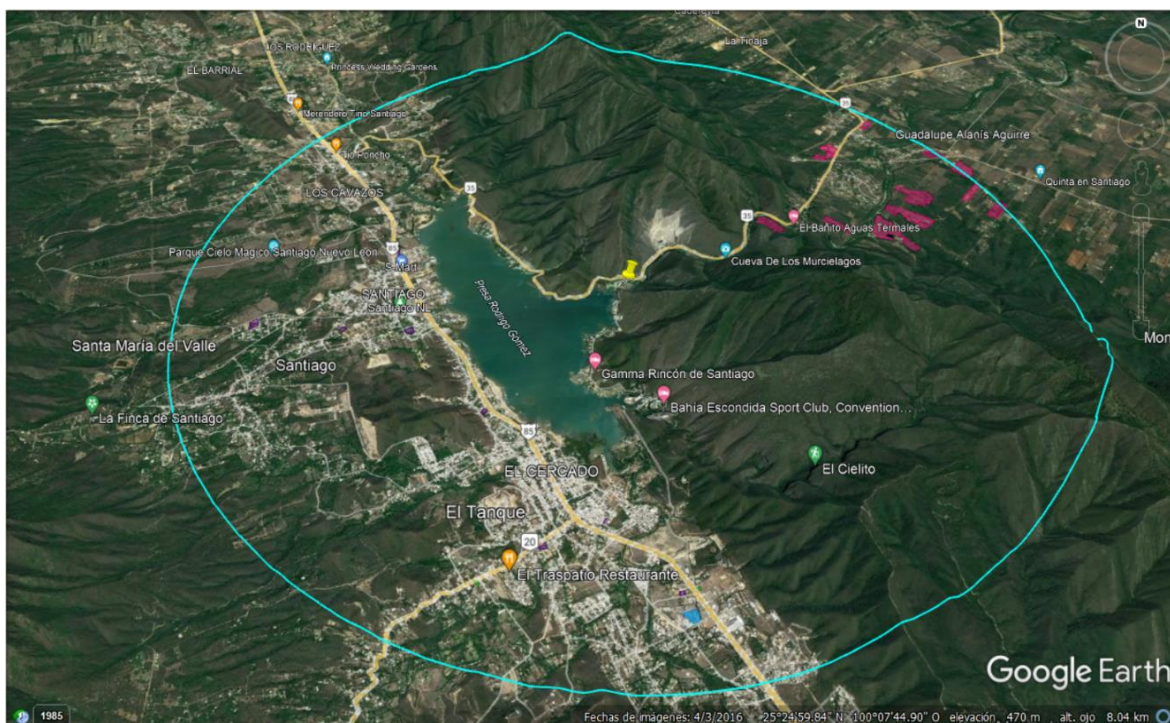


Figura 5.3.23 Ubicación de la PTAR Santiago con las actividades económicas encontradas en un radio de 5 km alrededor de la PTAR. De existir, en color magenta se muestran las zonas de riego agrícola, en amarillo las zonas de riego de áreas verdes, en azul las industrias manufactureras, en verde los autolavados y en violeta los centros educativos. Elaboración propia tomando como base la imagen de Google (s.f. c).

- Potencial de reúso de agua tratada en agricultura

En la Tabla 5.45 se muestra el tipo de cultivo reportado en el SIAP (2022) correspondiente a la región alrededor de la PTAR. Se especifica que es un 32% de cultivo de riego (no de temporal). El área de cultivo alrededor de la PTAR con un radio de 5 km resultó ser de 60.27 ha. Se calculó una demanda potencial de agua tratada para riego agrícola de 4,691.96 m³/año (0.15 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en la industria manufacturera

En la Tabla 5.46 se muestran las industrias manufactureras identificadas alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales. La demanda potencial de agua tratada asciende a 5,432.00 m³/año (0.17 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada para riego de áreas verdes

En esta zona no se encontraron áreas verdes alrededor de la PTAR.

Tabla 5.45 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la agricultura. PTAR Santiago

ZONAS AGRÍCOLAS						
Modalidad	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton/año)	HH azul global (m ³ /ton) internacional	HH azul global (m ³ /ton) en México (+35%)	Demanda de agua (m ³ /año)
Riego	Manzana	217.00	294.40	133.00	179.55	52,859.52
TOTAL		217.00				52,859.52
				Demanda de agua superficial (m ³ /ha/año)		243.59
				Demanda de agua para el radio de estudio (m ³ /año)		4,691.96

Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Estimación de Superficie Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y en Mekonnen y Hoekstra, (2011).

Tabla 5.46 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para la industria manufacturera. PTAR Santiago

INDUSTRIA MANUFACTURERA						
Nombre de la Unidad Económica	Código de la clase de actividad SCIAN	Demanda de agua residual tratada por industria (m ³ /empleado/año)	Personal ocupado (Número de empleados)	Potencial de agua tratada al año (m ³ /año)	Latitud	Longitud
MADERAS Y TARIMAS LA ESPERANZA	321920	31.04	175	5,432.00	25.38989164	-100.12050919
TOTAL (m ³ /año)				5,432.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Potencial de reúso en servicios de autolavados

En la Tabla 5.47 se muestran los autolavados identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 3,736.8 m³/año (0.12 l/s).

- Potencial de reúso de agua tratada en servicios educativos

En la Tabla 5.48 se muestran los servicios educativos identificados alrededor de la PTAR. Para esta actividad económica se calculó un potencial de reúso de agua tratada de 10,716.00 m³/año (0.34 l/s).

Tabla 5.47 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para autolavados. PTAR Santiago

LAVADO DE AUTOMÓVILES					
Nombre de la Unidad Económica	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua para lavado de coches (m ³ /empleados/año)	Potencial de agua tratada para auto lavado (m ³ /año)	Latitud	Longitud
AUTOLAVADO Y REFACCIONES	3	173.00	467.10	25.41706745	-100.14240572
CAR WASH EL CUERVO	3	173.00	467.10	25.39287209	-100.12043301
CAR WASH LAS HADAS	3	173.00	467.10	25.40436822	-100.13230681
LAVADO DE AUTOS	3	173.00	467.10	25.42055090	-100.15257164
LAVADO DE AUTOS CARLOS	3	173.00	467.10	25.41015814	-100.13789668
LAVADO DE AUTOS RAFA	3	173.00	467.10	25.40504668	-100.13907823
LAVADO OYERVIDEZ	3	173.00	467.10	25.39356320	-100.13921096
LAVADO Y ENGRASADO MECANICA AUTOMOTRIZ	3	173.00	467.10	25.40523773	-100.13372491
TOTAL (m ³ /año)			3,736.80		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE (2020).

Tabla 5.48 Cálculo del potencial de reúso de agua tratada para Servicios Educativos. PTAR Santiago

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
CARRUSEL DE SANTIAGO AC	Escuelas del sector público que combinan diversos niveles de educación	20.00	114.00	1,140.00	25.39224426	-100.12146312
CENTRO BACHILLERATO TECNOLÓGICO AGROPECUARIO 74	Escuelas de educación media superior del sector público	20.00	114.00	1,140.00	25.41171495	-100.14023651
COLEGIO SAN ANTONIO	Escuelas del sector público que combinan diversos niveles de educación	20.00	114.00	1,140.00	25.39894118	-100.12807664
ESCUELA SECUNDARIA JOSE MA MORELOS	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20.00	114.00	1,140.00	25.39707688	-100.13406361
ESCUELA SECUNDARIA PROFESOR ANTONIO MORENO	Escuelas de educación secundaria general del sector público	20.00	114.00	1,140.00	25.42194845	-100.14949000

SERVICIOS EDUCATIVOS						
Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado (Número de empleados)	Demanda de agua al año por cada empleado en un centro educativo (m ³ /año)	Potencial de agua tratada para un centro educativo (m ³ /año)	Latitud	Longitud
INSTITUTO PANAMERICANO	Escuelas del sector privado que combinan diversos niveles de educación	20.00	114.00	1,140.00	25.42196628	-100.15638427
PREPARATORIA NO 20	Escuelas de educación media superior del sector público	40.00	114.00	2,280.00	25.42291026	-100.16574199
SECUNDARIA COLEGIO RENACIMIENTO	Escuelas de educación secundaria general del sector privado	8.00	114.00	456.00	25.42436021	-100.15050257
UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DEL NORTE	Escuelas de educación superior del sector privado	20.00	114.00	1,140.00	25.43281912	-100.15221909
TOTAL (m ³ /año)				10,716.00		

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU (2020).

- Balance hídrico

El potencial de reúso de agua tratada total suma 24,577 m³/año (0.78 l/s). La planta de tratamiento de aguas residuales genera 5,573,072 m³/año (176.7 l/s) según lo reportado en las bases de datos oficiales, por lo que hay un superávit de agua tratada de 5,548,495 m³/año (175.9 l/s).

5.4 Balance hídrico general

5.4.1 Consideración de duplicidades en la demanda de agua tratada

Un análisis muy importante a efectuar es determinar las posibles repeticiones de información en cuanto a la demanda de agua de las actividades económicas en las plantas de tratamiento que, por el radio de influencia determinado alrededor de cada una de ellas, lleguen a presentar intersecciones. Se debe determinar cuáles y cuantas son las actividades económicas repetidas para cuantificarlas solamente una vez cuando se efectúe el balance general hídrico en la región.

En el caso de estudio, se identificaron dos conjuntos de PTAR que tienen intersección en sus radios de influencia; el primero abarca las PTAR Noreste, Santa Rosa y Norte y el segundo las plantas de Cadereyta y Cadereyta II. En la Figura 5.3.24 se da cuenta de ello.

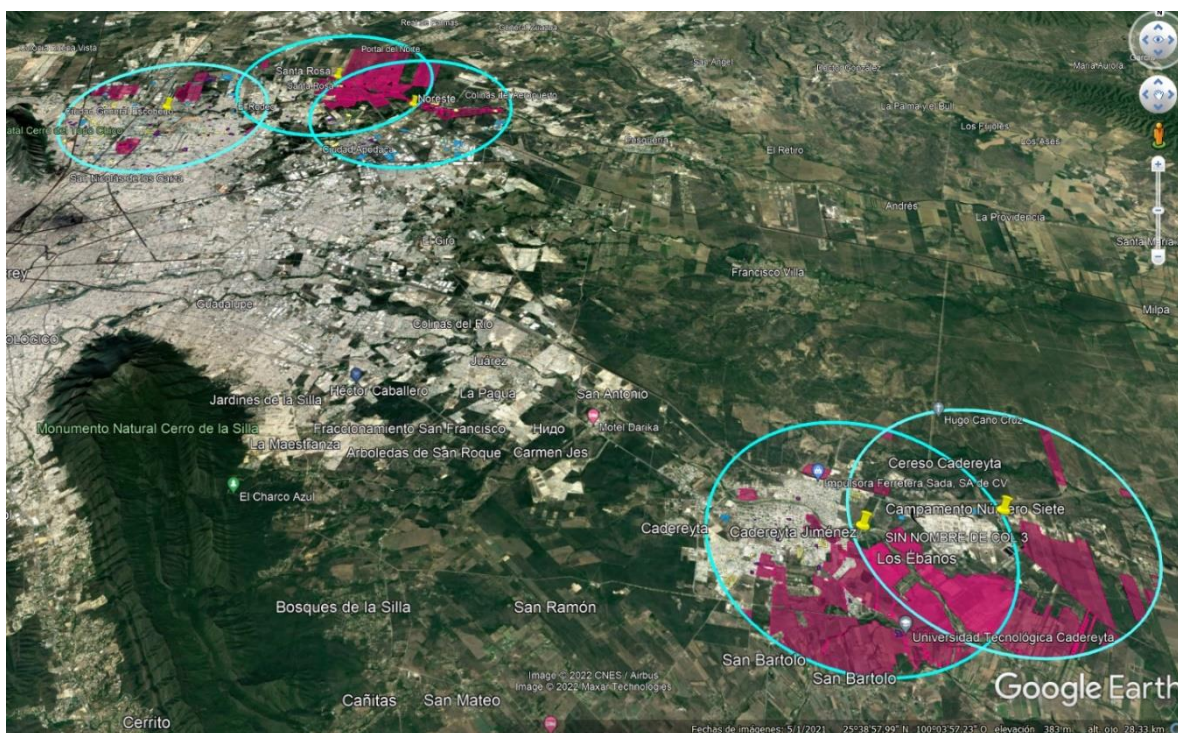


Figura 5.3.24 Se observan los dos conjuntos de PTAR que poseen intersecciones en sus radios de influencia. Conjunto 1: PTAR Noreste, Santa Rosa y Norte y Conjunto 2: Cadereyta y Cadereyta II (adaptado de Google s.f. c).

Para evitar la repetición de información y evitar sobreestimar la demanda potencial de agua, se asignaron, aleatoriamente, las actividades económicas repetidas a una u otra planta. En un análisis más profundo (no efectuado en este ejemplo) y con datos recabados en campo, sería posible discriminar con mayor fundamento y certeza, cuáles actividades económicas corresponden al área de influencia de cada planta.

5.4.2 Balance hídrico general

En la Tabla 5.49 se muestra el balance general considerando la generación de agua tratada de las PTAR tomadas en cuenta en el estudio, así como la demanda potencial de agua tratada en las distintas actividades económicas ubicadas en un radio de 5 km alrededor de cada una de

las plantas de tratamiento. Así mismo, en esta tabla se presenta el balance hídrico corregido sin duplicidades de información por planta de tratamiento.

En la Figura 5.3.25 se muestra en forma gráfica en porcentajes el superávit o déficit de agua, según sea el caso por planta de tratamiento de aguas residuales analizada. Por otra parte, en la Figura 5.3.26 se presenta en una gráfica el balance hídrico por planta de tratamiento.

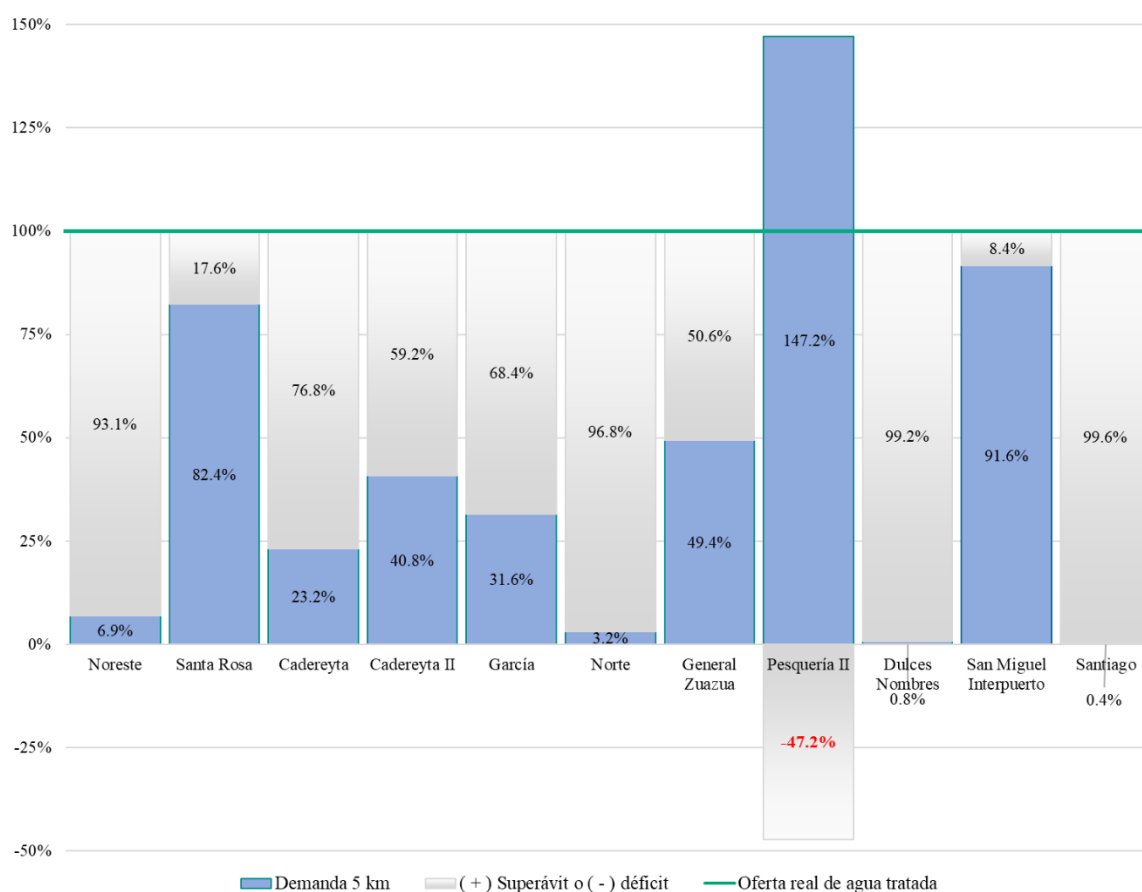


Figura 5.3.25 Porcentajes del superávit o déficit de agua, según sea el caso por planta de tratamiento de aguas residuales analizada

Tabla 5.49 Balance general Hídrico para las PTAR en la ZMM

Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación en la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León														
#	Municipio	Localidad	Nombre de la Planta	Proceso	Caudal Tratado (l/s)	Demanda potencial de agua tratada (l/s)							Demanda potencial de agua tratada sin duplicidad de datos (l/s)	
						Agricultura	Industria	Áreas verdes	Autolavados	Servicios Educativos	Total	Balance Hídrico (l/s)	Total	Balance hídrico sin duplicidad de datos (l/s)
1	Apodaca	Agua Fría	Noreste	Lodos Activados	1,222.20	120.60	8.72	8.48	0.24	1.29	139.33	1,082.87	84.71	1,137.49
2	Apodaca	Santa Rosa	Santa Rosa	Lodos Activados	143.49	154.30	1.13	4.70	0.25	0.50	160.88	-17.39	118.25	25.24
3	Cadereyta Jiménez	Cadereyta Jiménez	Cadereyta	Lodos Activados	191.70	44.80	2.70	6.50	0.38	1.19	55.57	136.13	44.49	147.21
4	Cadereyta Jiménez	Cadereyta Jiménez	Cadereyta II	Lodos Activados	82.50	37.70	0.62	1.20	0.03	0.00	39.55	42.95	33.67	48.83
5	García	García	García	Lodos Activados	85.00	16.60	3.13	5.35	0.09	1.67	26.84	58.16	26.84	58.16
6	Gral. Escobedo	Ciudad General Escobedo	Norte	Lodos Activados	2,536.00	52.40	1.37	18.83	0.98	6.98	80.56	2,455.44	80.30	2,455.70
7	Gral. Zuazua	General Zuazua	General Zuazua	Lodos Activados	126.80	59.20	0.00	3.29	0.04	0.11	62.64	64.16	62.64	64.16
8	Marín	El Retiro	Pesquería II	Lodos Activados	68.64	101.00	0.01	0.00	0.00	0.00	101.01	-32.37	101.01	-32.37
9	Pesquería	Dulces Nombres	Dulces Nombres	Lodos Activados	6,790.80	25.50	2.23	27.20	0.00	0.04	54.97	6,735.83	54.97	6,735.83
10	Salinas Victoria	San Miguel	San Miguel Interpuerto	Lodos Activados	33.30	9.40	9.47	11.60	0.00	0.04	30.51	2.79	30.51	2.79
11	Santiago	Santiago	Santiago	Lodos Activados	176.72	0.15	0.17	0.00	0.12	0.34	0.78	175.94	0.78	175.94
Total					11,457.15	621.65	29.55	87.15	2.13	12.16	752.64	10,704.51	638.18	10,818.97

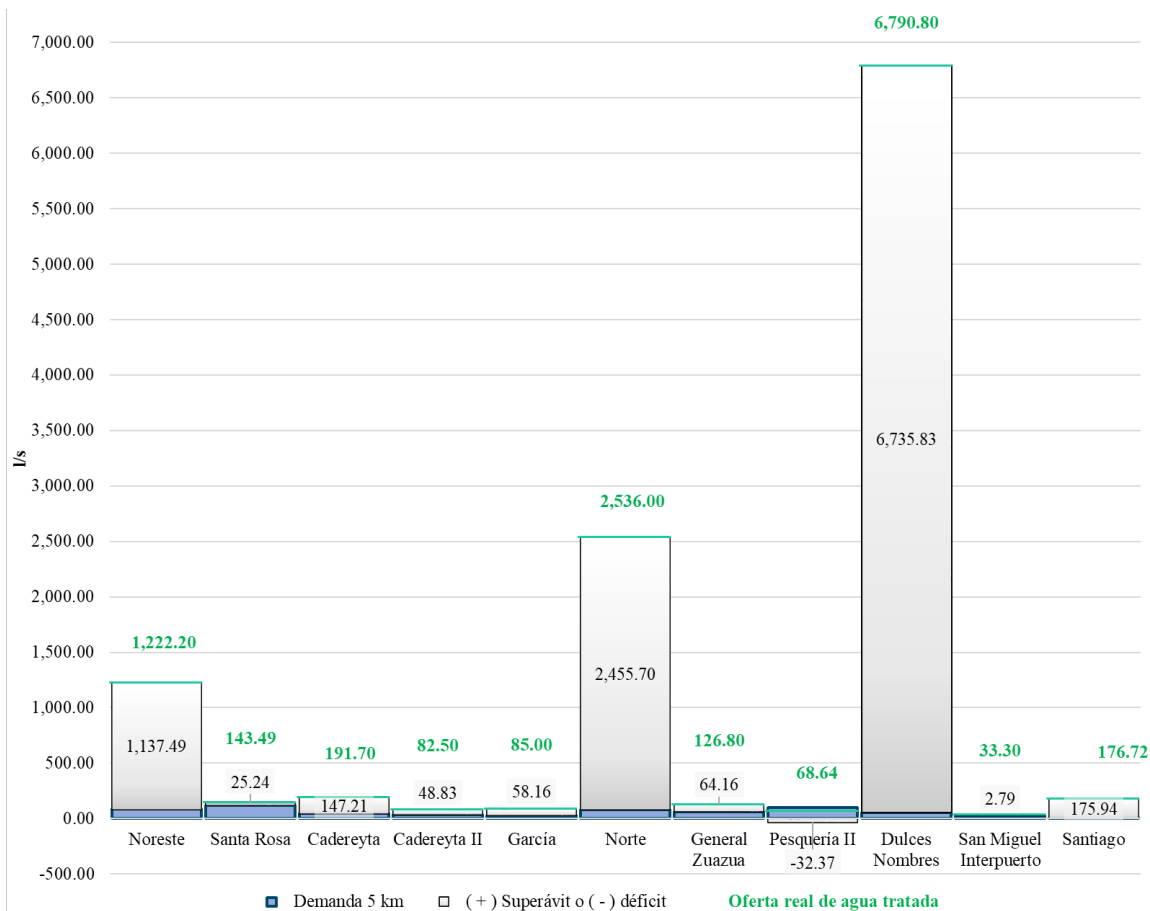


Figura 5.3.26 Balance hídrico por planta de tratamiento de aguas residuales

El caudal tratado por las PTAR asciende a 11,457 l/s. Según reporta el Gobierno del Estado de Nuevo León, en la actualidad se dispone de un flujo de agua de 13 m³/s suministrado básicamente por el sistema de presas en el estado. Es decir, el agua tratada de las PTAR representaría un incremento al caudal ya disponible en el Estado del orden del 90%.

Como es posible observar, todas las PTAR tiene un superávit de agua tratada a excepción de las plantas de tratamiento Santa Rosa y Pesquería II con un déficit de agua de 17 y 32 l/s respectivamente. Al redistribuir aleatoriamente las actividades económicas en los radios de influencia de cada PTAR con intersecciones en sus radios de influencia, para evitar las duplicidades de información, se logra transformar el déficit reportado en la PTAR Santa Rosa en un superávit de agua de 25.24 l/s. La duplicidad de información, representaba una

sobreestimación de demanda de agua tratada de 114.46 l/s, es decir, un 15.2% del total de agua demandada calculada inicialmente.

Como se mencionó anteriormente, en México, aproximadamente el 76% del agua se utiliza en la agricultura; 14%, en el abastecimiento público; 6%, en las termoeléctricas y 4%, en la industria (iAgua, 2018). Para el caso del análisis efectuado, la demanda potencial de agua en la agricultura y en la industria representa el 82.6% y 3.93% del total, respectivamente, valores que no están alejados de lo que se reporta a nivel nacional para agua de primer uso.

Un punto muy importante a considerar es el uso de agua en la agricultura, pues es donde mayor demanda existe. Ello se debe efectuar utilizando técnicas modernas enfocadas al ahorro del agua.

Las soluciones innovadoras más recientes en este aspecto incorporan la digitalización en los sistemas agrícolas. Hoy en día, algunas empresas pueden capacitar a los agricultores para que tomen decisiones basadas en datos y reduzcan su consumo de agua hasta en un 30% gracias a los sensores de humedad del suelo (*www.Kerlink.com. Kerlink and Sensoterra Smart-Farm Solution Targets 30 Percent Reduction in Water Consumption*). En este mismo sentido, en regiones áridas o semiáridas, algunas de las soluciones más económicas y prácticas para ahorrar agua son los sistemas de riego por goteo, que utilizan riego frecuente en cantidades pequeñas y específicas. Estos sistemas consisten en enterrar tuberías bajo la tierra o simplemente colocarlas sobre la superficie y abrir pequeños orificios en ellas cerca de las raíces de las plantas, lo que minimiza la pérdida de agua por evaporación. Estas tuberías conducen el agua con frecuencia de intervalos de tiempo cortos para proporcionar agua a las plantas justo donde la necesitan. Israel, con un 60% de territorio desértico, muestra que es posible una mejor gestión del agua a través de estos sistemas innovadores: el país ha revolucionado su sistema de reciclaje de agua para abastecer el 25% de su uso agrícola. En la actualidad, casi el 90% de sus aguas residuales se tratan con este fin, alrededor de cuatro veces más que en cualquier otro país del mundo (Watergy, 2007).

Como es posible observar en la Tabla 5.49, el peso específico en cuanto al consumo de agua por parte del sector industrial en la ZMM es tan sólo del 4%, aproximadamente. Está claro que hay que promover el reúso de agua en el sector industrial, sin embargo, no es ello

el factor de cambio para asegurar el suministro de agua en la región; lo que sí es la tecnificación del riego agrícola.

Otro aspecto que resalta en la Tabla 5.49 es el alto consumo de agua en parques y jardines, ello es la segunda actividad con mayor demanda de agua con un 11.6%. Existe la oportunidad de disminuir la demanda de agua en el riego de áreas verdes si se selecciona vegetación con menor requerimiento de agua. Ésta es un área de oportunidad relevante a considerarse en la ciudad; ello implica la transformación de parques y jardines en donde se ofrezca un área recreativa con vegetación propia de la zona que demande menor cantidad de agua tratada para riego lo cual liberaría agua para otras áreas de reúso. En algunos sitios se podrían sembrar cactáceas o arbustos, las cuales pueden necesitar significativamente menos agua.

Las otras actividades económicas como son los autolavados y el reúso en servicios educativos, no alcanzan el 2% de demanda de agua. Sin embargo, se ha observado que en México como en otros países con cobertura de agua mayor al 90% y donde la población se concentra en zonas urbanas, el crecimiento de la población pierde relevancia para determinar el aumento de la demanda de agua. La evidencia internacional señala que el aumento en el ingreso de la población se asocia en general a una mayor demanda de agua por habitante (Salazar y Lutz-Ley, 2015).

Es claro que el futuro a mediano plazo en cuanto al tratamiento del agua residual y el reúso deberá estar enfocado a la infiltración y recarga de cuerpos de agua (para potabilización indirecta) y a la potabilización directa del agua residual con el objeto de poder incrementar sustancialmente el suministro de agua potable a la ZMM. Ambos reúsos requerirían de una reconversión tecnológica en las plantas de tratamiento de aguas residuales que aseguren la calidad del agua y una operación continua con altos estándares de eficacia y eficiencia en su operación. Se debe asegurar no solamente el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, que establece los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, que refiere a la salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, sino también avanzar en la remoción de contaminantes emergentes y prioritarios. Como un ejemplo de ello, en

Windhoke, Namibia, en la planta de tratamiento de Daspoort, el agua tratada ha sido utilizada para consumo humano, previa su dilución con agua de primer uso a la entrada de la potabilizadora en una relación de 1 a 2. En este caso los estándares de potabilización fueron modificados considerando que el agua proviene de fuentes contaminadas y no de primer uso (Jiménez, 2001).

Es preciso también, referido al comentario anterior, revisar la restricción en cuanto a que el agua de los sistemas de abastecimiento no debe tener como fuente de abastecimiento agua residual tratada establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, como ya fue comentado con anterioridad.

6 Conclusiones

Se propuso una metodología para estimar el potencial de reúso de agua tratada en una región sustentado ello con información de acceso público en cuanto a la demanda de agua tratada en la agricultura, riego de áreas verdes, en la industria, en el lavado de automóviles y en las escuelas, entre otras actividades. Un aspecto valioso de la metodología propuesta es que prescinde de la necesidad de recopilar información en campo en cuanto al consumo de agua en las industrias; información que muy a menudo las empresas no están dispuestas a proporcionar.

Así mismo, se propusieron cuestionarios para efectuar el levantamiento en campo de las plantas de tratamiento de aguas residuales y en especial las técnicas de evaluación de cada una de ellas en cuanto a su operatividad e impactos ambientales y sociales mediante matrices de factores ponderados. Esta técnica hace la evaluación más objetiva.

La metodología posee un grado de exactitud y asertividad alta que permite, en primera instancia, visualizar el potencial de reúso en una región y establecer las bases para dar paso a un estudio más detallado y profundo si así se requiere.

Se desarrolló, a manera de ejemplo, el caso de la estimación del potencial de reúso de agua tratada en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), con una selección de 11 PTAR pertenecientes a la región. Un punto muy importante a considerar, como resultado de este ejemplo, fue el uso de agua en la agricultura, pues es donde mayor demanda existió (82.6%). Así, mismo, el peso específico en cuanto al consumo de agua por parte del sector industrial en la ZMM es tan sólo del 4%, aproximadamente. Está claro que hay que promover el reúso de agua en el sector industrial, sin embargo, no es ello el factor de cambio para asegurar el suministro de agua en la región; lo que sí es la tecnificación del riego agrícola utilizando técnicas modernas enfocadas al ahorro del agua.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

7 Referencias

- AgroDer (2012). *The Water Footprint of Mexico in the context of North America*. WWF México and AgroDer. México, DF.
- Aguilar, M. F. & Cagua, S. Y. (2018). *Impacto ambiental y económico del uso de tecnologías de lavado en los autolavados de la comuna sur oriental del municipio de Fusagasugá*. Universidad de Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 23 de junio del 2022 de: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1157/IMPACTO%20AMBIENTAL%20Y%20ECON%20MICO%20DEL%20USO%20DE%20TECNOLOGIAS%20EN%20LOS%20AUTOLAVADOS%20DE%20LA%20COMUNA%20SUR%20ORIENTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguirre, R. (2022) *Breve historia del agua en Monterrey (II)*. Periódico Excelsior. Recuperado el 19 de junio del 2022 de: <https://www.excelsior.com.mx/opinion/ramon-aguirre/breve-historia-del-agua-en-monterrey-ii/1526917?fbclid=IwAR0HO5TncS9uFRI971PM2UD5ue43wTjfh6kqnJZZQOP5Yket6vRsqcle82U#>
- ANEAS, Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (2018). Consideraciones sectoriales para el tratamiento sustentable de aguas residuales. *Agua y Saneamiento*, 79, 32–35. Recuperado el 27 de junio del 2022 de: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/7329215360909786870090022018/original/ArticuloNolascoRodriguezSaltielrevistaaguaysaneamientoago2018.pdf>
- Badillo, D. & Garcin, M. (2022). *Monterrey espera que la solución a la crisis del agua le caiga del cielo*. Artículo periodístico. El Economista, 19 de junio del 2022. Recuperado el 15 de junio del 2022 de: <https://www.economista.com.mx/politica/Monterrey-espera-que-la-solucion-a-la-crisis-del-agua-le-caiga-del-cielo-20220617-0075.html>
- Baquero, M. T. (2013). Water saving and reuse in the building in the city of Cuenca, Ecuador. *Estoa*, 002(003), 71–81. <https://doi.org/10.18537/est.v002.n003.06>
- Cerda, U. A. (2003). *Empresa, Competitividad y Medio Ambiente*. Panorama Socioeconómico, ISSN: 0716-1921, 26, mayo, Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Comisión Nacional de Riego (2000). Estimación de la demanda de agua en los cultivos. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 26. Recuperado el 18 de julio del 2022 de: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9851/CNR-0244.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2019). *¿Cuánta Agua necesita mi Jardín?*. Recuperado el 23 de junio del 2022 de <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=480>

- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2018). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*, 25(1). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 23 de mayo del 2022 de: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2019). *Estadísticas del agua en México*. Recuperado el 23 de mayo del 2021 de: https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2019.pdf
- CONAPO, Consejo Nacional de Población (2021) *Índice de Marginación Social*. Recuperado el 01 de julio del 2021 de: <https://www.gob.mx/conapo>.
- CONEVAL, Consejo Nacional de Evaluación Política de Desarrollo Social (2021). Recuperado el 23 de junio del 2021 de: <https://www.coneval.org.mx/Paginas/principal.aspx>)
- Corona, A. E. (2011). México es pionero en el reúso de agua: Blanca Jiménez. *Revista Digital Universitaria*. 12(2). ISSN 1067-6079. Recuperado el 30 de julio del 2022 de: <https://www.revista.unam.mx/vol.12/num2/art11/art11.pdf>
- De Anda, J. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*, 14, 119–143. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i14.1770>
- DENUE, Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, DENUE (2020). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI. Recuperado el 25 de mayo del 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Diario Oficial de la Federación, DOF (1997). NOM- 003- ECOL- 1997. PROFEPA. Recuperado el 10 de abril del 2022 de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69207.pdf>
- El Mundo (2022). *Reino Unido pide a la ciudadanía ser "menos aprensiva" para beber agua de origen residual*. Artículo periodístico El Mundo, 30 de agosto, Londres. Recuperado el 26 de julio del 2022 de: <https://www.elmundo.es/economia/2022/08/30/630de9c9e4d4d8887c8b45b6.html>
- ENOE, Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, ENOE (2020). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI. Recuperado el 26 de abril del 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas>
- European Commission. (2015). *Optimising water reuse in the EU. Final Report, part I*. Luxembourg: Deloitte, ICF-DHK, Cranfield University. Recuperado el 03 de agosto del 2022 de: https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO_IA%20on%20water%20reuse_Final%20Part%20I.pdf
- European Commission. (2018). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse*. Brussels: Commission staff working document. Belgium.
- Exall, K., Jiménez, B., Marsalek, J., & Schaefer, K. (2008). *Water reuse in the United States and Canadá*. En T. Asano, y B. Jiménez (Ed.), *Water Reuse. An International Survey of current practice, issues and needs*. (pp. 71-98). Londres, Inglaterra: IWA Publishing. ISBN: 13: 9781843390893

- Faria, A. A. D., Obraczka, M., Silva-Junior, L. C. S. D., Muricy, B., Oliveira, K. & Monteiro, A. C. (2021). Avaliação do potencial de reuso de água para indústrias na região metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista Internacional de Ciências*, 11(2), 276–295. <https://doi.org/10.12957/ric.2021.55692>
- Flores, B., Pulido, L., Valverde, F., & Carrera, O. (2009). *The Future of Water Availability and Demand in the Metropolitan Area of Monterrey Mexico*. Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública. EGAP, Tecnológico de Monterrey, EGAP-PE-09-01. Recuperado el 30 de mayo del 2022 de <https://es.scribd.com/document/240419443/The-future-o-water-availability-and-demand-in-the-Metropolitan-Area-of-Monterrey-Mexico-2009>
- Gobierno Federal, Directorio de Escuelas (2020). Recuperado el 04 de agosto del 2022 de: https://www2.aefcm.gob.mx/directorio_escuelas
- Google. (s.f. a). Recuperado el 22 de mayo del 2021 de <https://www.google.com/intl/es-419/earth>
- Google. (s.f. b). [Sistema de Presas de Monterrey]. Recuperado el 25 de junio del 2022 de: <https://elpais.com/mexico/2022-06-11/monterrey-descubre-la-escasez-de-agua-huele-todo-a-drenaje.html>
- Google (s.f. c). [Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona Metropolitana de Monterrey]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://earth.google.com/web>
- Google (s.f. d). [Imagen de la PTAR Noreste]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de https://web.sadm.gob.mx/SADM/index.jsp?id_html=saneamiento
- Google (s.f. e). [Imagen de la PTAR Santa Rosa]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de https://web.sadm.gob.mx/SADM/index.jsp?id_html=saneamiento
- Google (s.f. f). [Imagen de la PTAR Cadereyta]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://earth.google.com/web>
- Google (s.f. g). [Imagen de la PTAR Cadereyta II]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://earth.google.com/web>
- Google (s.f. h). [Imagen de la PTAR García]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://earth.google.com/web>
- Google (s.f. i). [Imagen de la PTAR Norte]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://issasa.com.mx/portfolio/proyecto-ptar-norte-escobedo-n-1>
- Google (s.f. j). [Imagen de la PTAR Zuazua]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://earth.google.com/web>
- Google (s.f. k). [Imagen de la PTAR Pesquería II]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://www.google.com.mx/maps/place/PTAR+PESQUERIA+II/@25.7605315,99.9446639,3a,75y,90t/data=!3m8!1e2!3m6!1sAF1QipPLAsKe2Ssbzz5dgNtEFUreRh4ct4avt7AmgSb!2e10!3e12!6shttps:%2F%2F5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipPLAsKe2S-sbzz5dgNtEFUreRh4ct4avt7AmgSb%3Dw86-h114-k-no!7i2448!8i3264!4m9!1m2!2m1!1sptar+Cadereyta+nuevo+leon!3m5!1s0x8662e1a7bec951f9:0x33baad2d58825920!8m2!3d25.760553!4d-99.944658!1sChlwdGFyIENhZGVyZlI0YSBudWV2byBsZW9ukgEQY29ycG9yYXRlX29mZmljZeABAA>
- Google (s.f. l). [Imagen de la PTAR Dulces Nombres]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de https://web.sadm.gob.mx/SADM/index.jsp?id_html=saneamiento
- Google (s.f. m). [Imagen de la PTAR San Miguel Interpuerto]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://earth.google.com/web>
- Google (s.f. n). [Imagen de la PTAR Santiago]. Recuperado el 24 de junio del 2022 de <https://earth.google.com/web>

- González, J. C. (2011). Sistema de autolavado ecoamigable para autolavados no automatizados del país. 1(1). Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial. Recuperado de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2936/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAlloved=y
- González, R. J. (2012). *Mercados potenciales y beneficios del uso de agua residual tratada en la ciudad de Tijuana, Baja California* (Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente). Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, BC, México. Recuperado el 05 de septiembre del 2022 de: <https://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1014/411/1/TEISIS%20-%20Gonz%C3%A1lez%20Sol%C3%ADs%20Rebeca%20Judith.pdf>
- Hoekstra, A. Y. & Hung, P. Q. (2002). *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Reporte de investigación Serie No. 11. Recuperado el 06 de marzo del 2021 de: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>
- iAgua. (2018). *La reutilización del agua en México*. México. Recuperado el 23 de mayo del 2022 de: <https://www.iagua.es/especiales/reutilizacion-agua-mexico>
- IMTA; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2022). *La actualización de la norma sobre agua potable*. Recuperado el 03 de noviembre del 2022 de: <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-actualizacion-de-la-norma-sobre-agua-potable>
- Instituto Nacional de Estadística (2013) *Uso del agua en la industria manufacturera (2007-2010)*. Madrid, España. Recuperado el 4 de junio del 2022 de https://www.ine.es/daco/daco42/ambiente/aguaindu/uso_agua_indu0710.pdf
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Anuario estadístico y geográfico*. Recuperado el 5 de junio del 2022 de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AEGPEF_2018/702825107017.pdf
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2020a) *Censo de Población y Vivienda*. Recuperado el 06 de marzo del 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2020b). *Directorio Estadístico de Unidades Económicas*. Recuperado el 17 de abril del 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2021) *Estadísticas Oficiales de la Matriz-Insumo-Producto*. Recuperado el 10 de junio del 2021 de (<https://www.inegi.org.mx/temas/mip>).
- INEE, Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (2017). *Principales cifras nacionales. Educación básica y media superior. Inicio del ciclo escolar 2016-2017*. México. Recuperado el 15 de junio del 2022 de <https://historico.mejoredu.gob.mx/publicaciones/principales-cifras-educacion-basica-y-media-superior-inicio-del-ciclo-escolar-2017-2018>
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Editorial Limusa
- Lara, I. (2022). *¿Cómo usar agua residual en la industria? Somos Industria*. Recuperado el 05 de mayo del 2021 de: <https://www.somosindustria.com/articulo/como-usar-agua-residual-en-la-industria>

- Manco-Silva, D., Guerrero-Eraza, J., & Morales-Pinzón, T. (2017). Estimación de la demanda de agua en centros educativos: caso de estudio Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. *Luna Azul*, 44, 153–164. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.9>
- Marston, L., Ao, Y., Konar, M., Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2018). *High Resolution Water Footprints of production of teh United States*. *Water Resources Research*. 10.1002/2017WR021923. American Geophysical Union. Recuperado el 03 de febrero del 2021 de: <https://waterfootprint.org/en/resources/waterstat/wf-production-united-states>
- Mars, A. (2008). Lavar el coche con manguera consume más de 500 litros de agua. *El País*. Recuperado el 08 de junio del 2021 de: https://elpais.com/diario/2008/04/09/catalunya/1207703242_850215.html
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Menchaca, A. (2022). *La crisis de agua en Nuevo León es el inicio de un problema grave en México*. *The Washington Post*, 7 de julio. Recuperado el 23 de noviembre del 2022 de: <https://www.washingtonpost.com/es/post-opinion/2022/07/07/por-que-no-hay-agua-monterrey-sequia-crisis-nuevo-leon-samuel-garcia>
- Ministerio del Medio Ambiente y Agua de Bolivia, MMAyA (2018). Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura, La Paz, Bolivia. Editorial P. d. Alemania.
- Montesillo, J. L. (2017). Drinking water supply in Mexico: Beyond the population growth. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 8(1), 21-23. Recuperado el 17 de junio del 2022 de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200724222017000100021#f3
- Morgan-Sagastume J.M. (2022). Retos y áreas de oportunidad ante la publicación de la nueva norma NOM-001-SEMARNAT-2021 que limita la descarga de aguas residuales ¿Qué debemos y podemos hacer? *Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM*. 154, mayo-junio. Recuperado el 23 de noviembre del 2022 de: http://www.ii.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/Gaceta_Mayo_Junio_2022/Paginas/default.aspx
- Morgan-Sagastume, J.M, Castro-Martínez, M., & Noyola, A. (2022). *Tecnologías para el desarrollo de un esquema integral de tratamiento de aguas residuales en la Península de Yucatán*. Cancún, México. Editado por Amigos de Sian KAAN. Recuperado el 23 de julio del 2022 de: <https://www.amigosdesiankaan.org/guias-y-manuales>
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M. & Güereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería.
- Noyola, A., Padilla, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, L., & Hernández, F. (2012). Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. *Clean-Soil-Air-Water*. 40(9), 926-932. <https://doi.org/10.1002/clen.201100707>

- Noyola, A., Paredes, M., Morgan-Sagastume, J. M., & Güereca, P. (2016). Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Municipal Wastewater Treatment in Mexico Based on Technology Selection. *Clean Soil, Air, Water*, 44(9), 1091-1098. [https://doi.org/10.1002\(clen.201500084](https://doi.org/10.1002(clen.201500084)
- O'Neill, M., & Dobrowolski, I. (2011). Water and agriculture in changing climate. *Hort Science*, 46(2), 46-155. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.2.155>
- UANL - Observatorio de Sustentabilidad de Nuevo León (2022). Agua, elemento necesario para la vida y el desarrollo. Recuperado el 24 de junio del 2022 de: <http://observatorio.iinso.uanl.mx/index.php/diagnostico/diagnostico-01/diagnostico-0101?showall=1&limitstart=>
- PROFECO, Procuraduría Federal del Consumidor (2016). *Lavados de autos. limpieza sobre ruedas*. Ciudad de México, México. Recuperado el 25 de agosto del 2022 de: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/lavados-de-autos-limpieza-sobre-ruedas?state=published#:~:text=Respecto%20al%20tiempo%20estimado%20de,dos%20horas%20para%20una%20camioneta>
- Ramírez, E. (2022). *Nuevo León: 12 multinacionales y 34 personas físicas acaparan el agua*. Artículo periodístico. *Contralínea*, 13 de junio del 2022. Recuperado el 22 de noviembre del 2022 de: <https://contralinea.com.mx/interno/semana/nuevo-leon-12-multinacionales-y-34-personas-fisicas-acaparan-el-agua>
- Ranade, V. & Bhandari, V. (2014). *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Reino Unido: Butterworth- Heinemann
- REPDA, Registro Público de Derechos de Agua (2022). *Situación del Agua en Nuevo León*. Recuperado el 25 de junio del 2022 de <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- Salazar, A., & Lutz-Ley, A. N. (2015). Factores asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México. *Región y Sociedad*, 27(62), 5-26. versión On-line ISSN 2448-4849 versión impresa ISSN 1870-3925. Recuperado el 01 de noviembre del 2022 de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252015000100001
- SCIANT, Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (2018). Instituto nacional de Geografía e Informática, INEGI. Recuperado 23 de mayo del 2021 de: <https://www.inegi.org.mx/app/scian>
- SEP, Secretaría de Educación Pública (2022). Calendario Escolar para el 2022. Recuperado el 30 de junio del 2022 de: <https://educacionbasica.sep.gob.mx/multimedia/RSC/BASICA/Documento/201905/201905-RSC-lb9DGIxLl6-calendarioescolar.pdf>.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020a). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado el 23 de febrero del 2021 de: <https://www.gob.mx/siap>; <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020b). *Estimación de Superficie Agrícola*. Recuperado el 25 de marzo del 2021 de: <https://www.gob.mx/siap>; <http://cmgs.gob.mx/siapdsg/apps/webappviewer/index.html?id=f2a0fc332f24421095d11cfe6ffc2824>
- Sistema de Cuentas Nacionales de México, (2020). Gobierno de México. Recuperado el 28 de abril del 2021 de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/sistema-de-cuentas-nacionales-de-mexico-producto-interno-bruto-pib/resource/b2085383-75b4-4ad8-af15-562143530dbb>

- SIAPA, Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (2014). *Cap. I criterios básicos de diseño. En lineamientos técnicos para factibilidades*. SIAPA, 2–25. Recuperado el 23 de marzo del 2021 de: <https://www.siapa.gob.mx/transparencia/criterios-y-lineamientos-tecnicos-para-factibilidades-en-la-zmg>
- SINA, Sistema Nacional de Información del Agua (2022). *Plantas de tratamiento de agua residual nacional*. Recuperado el 26 de junio del 2022 de: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento>
- U.S. Environmental Protection Agency, EPA (2012). *Guidelines for water reuse*. Cincinnati, Ohio: EPA, USAID, CMSmith. Recuperado el 23 de abril del 2021 de: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>
- Watergy (2007). *Tratamientos de Aguas Residuales*. Recuperado el 15 de noviembre del 2022 de: <http://www.watergymex.org/tdaresiduales.htm>

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

8 Anexos

8.1 Anexo 1. Formato para el levantamiento de información técnica en campo para plantas de tratamiento de aguas residuales

LOGO		Nombre del proyecto		Dirección de la institución responsable del levantamiento en campo	
FORMATO-REPORTE DEL LEVANTAMIENTO EN CAMPO POR PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL					
1. INFORMACIÓN GENERAL					
Visitador:			Fecha de visita:	Hora de inicio:	
Nombre:					
Cargo:					
Responsable de la PTAR:					
Nombre:			Empresa o institución:		
Cargo:			Teléfono:		
Correo electrónico:			Empresa operadora:		
Responsable empresa operadora:					
1.1. UBICACIÓN					
Cuenca Hidrológica:			Alcaldía:		
Organismo de Cuenca:			Población a la que da servicio (habs.):		
Dirección local de la PTAR:			Ubicación geográfica	Longitud:	
				Latitud:	
1.2. ALCANTARILLADO					
Cobertura (%):			Longitud (km)		
Estado de Conservación:	Red:	Bueno	<input type="checkbox"/>	Requerimientos para su mejora	
		Malo	<input type="checkbox"/>		
		Regular	<input type="checkbox"/>		
	Colectores:	Bueno	<input type="checkbox"/>		
		Malo	<input type="checkbox"/>		
		Regular	<input type="checkbox"/>		
Emisores:	Bueno	<input type="checkbox"/>			
	Malo	<input type="checkbox"/>			
	Regular	<input type="checkbox"/>			

1.3. DESCRIPCIÓN BÁSICA							
Nombre de la PTAR:					No. de PTAR		
Año de inicio de operación:	Tipo de modificación:	Rehabilitación	<input type="checkbox"/>	Reconversión	<input type="checkbox"/>		
Año de modificación:		Ampliación	<input type="checkbox"/>	Cambio de equipos	<input type="checkbox"/>		
		Rehabilitación-Ampliación	<input type="checkbox"/>	Ninguno	<input type="checkbox"/>		
Capacidad Instalada Oficial (l/s):			Capacidad Instalada Real (l/s):				
Caudal Tratado Oficial (l/s):			Caudal Tratado Real (l/s):				
Subutilización Oficial (%):			Subutilización Real (%):				
Motivo de Subutilización Real:	Falta o falla de alcantarillado		<input type="checkbox"/>				
	Falta o falla de emisiones	<input type="checkbox"/>	Falta o falla de colectores	<input type="checkbox"/>			
	Desvíos ilegales	<input type="checkbox"/>	Otros (indicar)	<input type="checkbox"/>			
Normatividad a cumplir por diseño:	NOM-001-SEMARNAT-2021		<input type="checkbox"/>	Ríos	<input type="checkbox"/>		
				Embalses	<input type="checkbox"/>		
				Agua costera	<input type="checkbox"/>		
	NOM-003-SEMARNAT-1997		<input type="checkbox"/>	Contacto directo	<input type="checkbox"/>		
			Cto. indirecto u ocasional	<input type="checkbox"/>			
		OTRO	<input type="checkbox"/>				
Uso del efluente tratado:	Descarga	<input type="checkbox"/>	Descarga. Indicar cuerpo receptor	Caudal (l/s)			
	Reúso	<input type="checkbox"/>	Reúso	Caudal (l/s)			
	Mixto	<input type="checkbox"/>	Agrícola <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Riego de áreas verdes <input type="checkbox"/>	Caudal (l/s)			
	Otro	<input type="checkbox"/>	Otro. Indicar	Caudal (l/s)			
Control de Olores:	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>			
Operaciones y procesos unitarios							
Preliminar	Rejillas gruesas limpieza manual		<input type="checkbox"/>	Rejillas gruesas limpieza automática			
	Rejillas medianas limpieza manual		<input type="checkbox"/>	Rejillas medianas limpieza automática			
	Rejillas finas limpieza manual		<input type="checkbox"/>	Rejillas finas limpieza automática			
	Criba estática		<input type="checkbox"/>	Canal desarenador			
	Tamiz fino para cribado		<input type="checkbox"/>	Desarenador ciclónico vertical			
	Canal de medición parshall		<input type="checkbox"/>	Desarenador ciclónico horizontal			
	Triturador		<input type="checkbox"/>	Desarenador mecanizado			
	Planta compacta		<input type="checkbox"/>	Otro			
Tratamiento primario	Sedimentador primario		<input type="checkbox"/>	Trampa de Grasas y Sedimentador Primario			
	Tanque Imhoff		<input type="checkbox"/>	Desengrasador aireado			
	Sistema de Flotación por Aire Disuelto		<input type="checkbox"/>	Otro			
	Trampa de grasas		<input type="checkbox"/>	Inexistente			
Tratamiento secundario	Tratamiento aerobio		Lagunas aireadas			<input type="checkbox"/>	
			Filtro percolador			<input type="checkbox"/>	
			Filtro sumergido			<input type="checkbox"/>	
			Biodiscos			<input type="checkbox"/>	
			Lodos activados			MBR	<input type="checkbox"/>
						MBBR	<input type="checkbox"/>
						Contacto estabilización	<input type="checkbox"/>
						Aireación extendida	<input type="checkbox"/>
	Tratamiento anaerobio		Tipo I-Tanque Imhoff			<input type="checkbox"/>	
			Tipo I-Laguna anaerobia			<input type="checkbox"/>	
			Tipo II-Reactores UASB			<input type="checkbox"/>	
			Tipo II-Filtro anaerobio			<input type="checkbox"/>	
			Tipo II-Reactores RAFA			<input type="checkbox"/>	
			Tipo II-Reactores anaerobios con mamparas			<input type="checkbox"/>	
			Sistemas lagunares (facultativa/maduración)			<input type="checkbox"/>	
			Sistemas lagunares (anaerobia/facultativa/maduración)			<input type="checkbox"/>	
Sistemas naturales		Wetland			<input type="checkbox"/>		
		Lagunas con plantas acuáticas			<input type="checkbox"/>		

		Reactor anaerobio + Lagunas (facultativa/pulimento)	<input type="checkbox"/>
		Reactor anaerobio + Filtro percolador	<input type="checkbox"/>
		Filtro percolador + (Lodos activados (aireación extendida)	<input type="checkbox"/>
		Filtro percolador + (Lodos activados (completamente mezclado)	<input type="checkbox"/>
	Tratamiento combinado	Reactor anaerobio (UASB) + Lodos activados (aireación extendida)	<input type="checkbox"/>
		Reactor anaerobio (RAFA) + Lodos activados (aireación extendida)	<input type="checkbox"/>
		Reactor anaerobio (UASB) + Lodos activados (completamente mezclado)	<input type="checkbox"/>
		Reactor anaerobio (RAFA) + Lodos activados (completamente mezclado)	<input type="checkbox"/>
		Filtro anaerobio + Lodos activados (completamente mezclado)	<input type="checkbox"/>
		Filtro anaerobio + Lodos activados (aireación extendida)	<input type="checkbox"/>

		Remoción de nitrógeno	<input type="checkbox"/>
		Remoción de nutrientes N y P	<input type="checkbox"/>
		Remoción de nutrientes y filtración grava y arena	<input type="checkbox"/>
		Remoción de nutrientes, filtración grava y arena y carbón activado	<input type="checkbox"/>
		Remoción de nutrientes, filtración grava y arena y desinfección	<input type="checkbox"/>
		Remoción de nutrientes, filtración grava y arena, carbón activado y desinfección	<input type="checkbox"/>
		Filtración grava y arena	<input type="checkbox"/>
		Filtración grava y arena y carbón activado	<input type="checkbox"/>
		Filtración grava y arena y desinfección	<input type="checkbox"/>
		Filtración grava y arena, carbón activado y desinfección	<input type="checkbox"/>
		Desinfección	<input type="checkbox"/>
		Membranas y desinfección	<input type="checkbox"/>
		Membranas	<input type="checkbox"/>
		Ninguno	<input type="checkbox"/>
		Desinfección	<input type="checkbox"/>
		Cloro gas	<input type="checkbox"/>
		Hipoclorito de sodio/calcio	<input type="checkbox"/>
		Dióxido de cloro	<input type="checkbox"/>
		Luz ultravioleta	<input type="checkbox"/>
		Ozono	<input type="checkbox"/>

Manejo de lodos

¿Se le da un tratamiento a los lodos?	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Disposición final	Si <input type="checkbox"/>	¿Dónde?	Relleno sanitario	<input type="checkbox"/>
	Se tratan en otra PTAR <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		Reutilización	<input type="checkbox"/>
	Si se tratan en otra PTAR, ¿Dónde?					Lodo se regresa o se dispone en el cuerpo de agua donde se descarga el agua trata	<input type="checkbox"/>
Si el lodo se reutiliza, ¿Qué tipo de lodo es de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002?						A	<input type="checkbox"/>
						B	<input type="checkbox"/>
						C	<input type="checkbox"/>
						No sabe	<input type="checkbox"/>
Si el lodo se reutiliza, Los biosólidos obtenidos ¿Pasa la prueba CRETIB?						Si	<input type="checkbox"/>
						No	<input type="checkbox"/>
						No sabe	<input type="checkbox"/>

1.2. ESTADO GENERAL DE LAS INSTALACIONES

Estructuras civiles de concreto	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>	Canalizaciones eléctricas	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>
	Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>		Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>
	Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
Estructuras civiles mecánicas	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>	Tableros o botoneras de control	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>
	Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>		Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>
	Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
Tuberías y sus soportes	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>	Edificios (oficina, laboratorio, etc.)	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>
	Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>		Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>
	Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
Equipo de bombeo	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>	Equipo de laboratorio	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>
	Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>		Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>
	Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
Equipo de aireación	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>	Seguridad (extintores, salvavidas, arneses, etc.)	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>
	Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>		Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>
	Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
Limpieza de áreas	Excelente <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>			
	Bueno <input type="checkbox"/>	Pésimo <input type="checkbox"/>			
	Regular <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>			

2. DATOS DE OPERACIÓN					
Altitud (msnm):		Temperatura media anual min (°C):		Temperatura media anual máx. (°C):	
Precipitación media anual (mm):		Superficie de terreno PTAR (m ²):			
¿Cómo llega el AR a la PTAR?:	Por bombeo <input type="checkbox"/> Ambos <input type="checkbox"/>	A gravedad <input type="checkbox"/> Bombeo (%) <input type="checkbox"/>	Gravedad (%) <input type="checkbox"/>		
Personal operativo por turno	Matutino:		Vespertino:		
	Nocturno:		Mixto:		
2.1. CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE					
Caudal (l/s):		DQO (mg/l):		DBO (mg/l):	NTK (mg/l)
P total (mg/l):		SST (mg/l):		Grasas y aceites (mg/l):	
Coliformes fecales (NMP/100 ml)				Huevos de helminto (NMP/100 ml)	
2.2. CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE					
Caudal (l/s):		DQO (mg/l):		DBO (mg/l):	NTK (mg/l)
P total (mg/l):		SST (mg/l):		Grasas y aceites (mg/l):	
Coliformes fecales (NMP/100 ml)				Huevos de helminto (h/l)	
2.3. FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR					
Pre-tratamiento	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/> Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>			
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:			
Tratamiento primario	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/> Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>			
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:			
Tratamiento secundario	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/> Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>			
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:			
Tratamiento avanzado	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/> Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>			
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:			
Desinfección	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/> Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>			
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:			
Filtración	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/> Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>			
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:			

Tratamiento de lodos	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/>
		Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:
Análisis de muestras	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/>
		Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:
Otros (especifique):	Adecuado <input type="checkbox"/>	Insuficiente: <input type="checkbox"/>
		Equipo dañado <input type="checkbox"/> Personal insuficiente <input type="checkbox"/> Ausencia de equipos <input type="checkbox"/> Instrumentación insuficiente <input type="checkbox"/> Falta de capacitación <input type="checkbox"/>
	No aplica <input type="checkbox"/>	Comentarios:

3. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Procedencia	Generación					
	Flujo másico (Kg/d -base seca-)	Flujo (m ³ /h)	Concentración (%SST)			
Pre-tratamiento						
Lodo primario						
Lodo secundario						
Otro (espec.)						
3.1. TRATAMIENTO PREVIO A DISPOSICIÓN FINAL						
Tipo de biosólido	Espesamiento	Estabilización	Acondicionamiento	Desinfección	Secado	Reducción Térmica
Lodo primario	Tambor rotatorio <input type="checkbox"/>	Cloración <input type="checkbox"/>	Químico <input type="checkbox"/>	Pasteurización <input type="checkbox"/>	Filtro al vacío <input type="checkbox"/>	Combustión <input type="checkbox"/>
	Gravedad <input type="checkbox"/>	Est. Con cal <input type="checkbox"/>	Elutriación <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>	Filtro prens <input type="checkbox"/>	Incineración <input type="checkbox"/>
	Flotación <input type="checkbox"/>	Térmico <input type="checkbox"/>	Térmico <input type="checkbox"/>		Filtro banda <input type="checkbox"/>	Oxidación <input type="checkbox"/>
	Centrifugación <input type="checkbox"/>	Digestión aerobia <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Centrífuga <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
	Gravedad band <input type="checkbox"/>	Digestión anaerobia <input type="checkbox"/>			Lechos de secado <input type="checkbox"/>	
	Inexistente <input type="checkbox"/>	Composteo <input type="checkbox"/>			Tornillo prensa <input type="checkbox"/>	
Lodo secundario	Tambor rotatori <input type="checkbox"/>	Cloración <input type="checkbox"/>	Químico <input type="checkbox"/>	Pasteurización <input type="checkbox"/>	Filtro al vacío <input type="checkbox"/>	Combustión <input type="checkbox"/>
	Gravedad <input type="checkbox"/>	Est. Con cal <input type="checkbox"/>	Elutriación <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>	Filtro prens <input type="checkbox"/>	Incineración <input type="checkbox"/>
	Flotación <input type="checkbox"/>	Térmico <input type="checkbox"/>	Térmico <input type="checkbox"/>		Filtro banda <input type="checkbox"/>	Oxidación <input type="checkbox"/>
	Centrifugación <input type="checkbox"/>	Digestión aerobia <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Centrífuga <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
	Gravedad band <input type="checkbox"/>	Digestión anaerobia <input type="checkbox"/>			Lechos de secado <input type="checkbox"/>	
	Inexistente <input type="checkbox"/>	Composteo <input type="checkbox"/>			Tornillo prensa <input type="checkbox"/>	
	Inexistente <input type="checkbox"/>			Inexistente <input type="checkbox"/>		

Otro (espec.)	Tambor rotatorio <input type="checkbox"/>	Cloración <input type="checkbox"/>	Químico <input type="checkbox"/>	Pasteurización <input type="checkbox"/>	Filtro al vacío <input type="checkbox"/>	Combustión <input type="checkbox"/>
	Gravedad <input type="checkbox"/>	Est. Con cal <input type="checkbox"/>	Elutriación <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>	Filtro prens <input type="checkbox"/>	Incineración <input type="checkbox"/>
	Flotación <input type="checkbox"/>	Térmico <input type="checkbox"/>	Térmico <input type="checkbox"/>		Filtro banda <input type="checkbox"/>	Oxidación <input type="checkbox"/>
	Centrifugación <input type="checkbox"/>	Digestión aerobia <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>		Centrifuga <input type="checkbox"/>	Inexistente <input type="checkbox"/>
	Gravedad band <input type="checkbox"/>	Digestión anaerobia <input type="checkbox"/>			Lechos de secado <input type="checkbox"/>	
	Inexistente <input type="checkbox"/>	Composteo <input type="checkbox"/>			Tornillo prensa <input type="checkbox"/>	
	Inexistente <input type="checkbox"/>			Inexistente <input type="checkbox"/>		
Procedencia	Disposición final					
	Relleno sanitario (kg/d)	Aplicación en suelo (kg/d)	Incineración (kg/d)	No. de camiones (No. cam/d)	Capacidad vehículo (Ton.)	Distancia a destino final (km)
Pre-tratamiento						
Lodo primario						
Lodo secundario						
Otro (espec.)						
3.2. CARACTERÍSTICAS EFLUENTES DE LOS BIOSÓLIDOS						
Metales pesados (mg/kg en base seca). Indicar el metal pesado:			Coliformes fecales (NMP/g en base seca):			
Salmonella (NMP/g):			Huevos de helminto (h/g):			
¿Cumple con la NOM-004-SEMARNAT-2002?	Si <input type="checkbox"/>		¿Por qué?			
	No <input type="checkbox"/>					
	No sabe <input type="checkbox"/>					
4. EMISIONES A LA ATMÓSFERA						
Producción de biogás (m³)					Composición del biogás	
Disposición final y uso del biogás. Si existen equipos de combustión, indicar cuál:	Venteo a la atmósfera <input type="checkbox"/>	Quemado controlado <input type="checkbox"/>	Equipos de combustión <input type="checkbox"/>		Metano (%)	
	Calderas <input type="checkbox"/>	Cogenerador eléctrico <input type="checkbox"/>	Generador eléctrico <input type="checkbox"/>		CO ₂ (%)	
		Incinerador <input type="checkbox"/>			H ₂ S (%)	
					N ₂ (%)	
Si es generador o cogenerador eléctrico, indicar kW/h					H ₂ (%)	
Si se tienen equipos de combustión, ¿Se cumple con la NOM-085-SEMARNAT-2011?	Si <input type="checkbox"/>		¿Por qué?			
	No <input type="checkbox"/>					
	No sabe <input type="checkbox"/>					
¿Hay presencia de malos olores?	Si <input type="checkbox"/>	Origen	Cárcamos de bombeo <input type="checkbox"/>	Tratamiento anaerobio <input type="checkbox"/>		
	No <input type="checkbox"/>		Línea de lodos <input type="checkbox"/>	Área de tratamiento de lodo <input type="checkbox"/>		
¿Quejas por malos olores?	Si <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>			
Manejo de olores	Ninguno <input type="checkbox"/>					
	Físicoquímico	Absorción <input type="checkbox"/>	Oxidación catalítica <input type="checkbox"/>			
		Adsorción <input type="checkbox"/>	Centrifugación <input type="checkbox"/>			
		Oxidación térmica <input type="checkbox"/>	Filtración <input type="checkbox"/>			
		Oxidación química <input type="checkbox"/>	Electrofiltración <input type="checkbox"/>			
		Fragancias <input type="checkbox"/>				
	Biológico	Biofiltración <input type="checkbox"/>	Biofiltros percoladores <input type="checkbox"/>			
		Biolavadores <input type="checkbox"/>				

6. REACTORES, TANQUES Y EQUIPOS NO MECANIZADOS							
REACTORES Y TANQUES							
Reactor o tanque	Cantidad	Volumen total (m ³)	Volumen útil (m ³)	Largo interior (m)	Ancho interior (m)	Profundidad interior (m)	Diámetro interior (m)
DESARENADORES							
Equipo	Cantidad	Capacidad (l/s)	Dimensiones (Largo x Ancho x Altura útil, en m)	Manual	Mecánica (Potencia en kW)	Material	Comentarios
REJAS Y CRIBAS							
Equipo	Cantidad	Capacidad (l/s)	Apertura de paso (mm)	Manual	Mecánica (Potencia en kW)	Material	Comentarios
7. ENSAYOS DE LABORATORIO							
¿Se efectúan análisis de laboratorio?		Si <input type="checkbox"/>		¿Por qué?			
		No <input type="checkbox"/>					
¿Se efectúan análisis en laboratorios externos?		Si <input type="checkbox"/>		¿Dónde?			
		No <input type="checkbox"/>					
Análisis y muestreos							
Muestra/Parámetro	Sitio de recolección (pretratamiento, tratamiento primario, secundario, avanzado, desinfección, filtración, tratamiento de lodos).		Muestra colectada (ml)	Frecuencia de muestreo (veces/d)	Frecuencia de análisis (veces/d)	Tipo de medición (in situ <input type="checkbox"/> lab <input type="checkbox"/>	
						in situ <input type="checkbox"/> lab <input type="checkbox"/>	
						in situ <input type="checkbox"/> lab <input type="checkbox"/>	
						in situ <input type="checkbox"/> lab <input type="checkbox"/>	
						in situ <input type="checkbox"/> lab <input type="checkbox"/>	
						in situ <input type="checkbox"/> lab <input type="checkbox"/>	
						in situ <input type="checkbox"/> lab <input type="checkbox"/>	
8. COSTOS GENERALES DE OPERACIÓN							
Esquema tarifario:							
8.1. ENERGÍA Y COMBUSTIBLES							
	Energía eléctrica	Gasolina	Diesel	Gas LP	Otro (esp)	Otro (esp)	
Costo/ unidad	(\$/KW-h)	(\$/L)	(\$/L)	(\$/L)			
Consumo	(KW-h/año)	(L/mes)	(L/mes)	(L/mes)			
8.2. REACTIVOS							
	Ácido	Álcali	Coagulante	Floculante	Desinfectante	Otro (esp)	
Tipo							
Costo/ unidad (indicar -\$/kg o \$/l-)							
Consumo (indicar -kg/mes o l/mes-)							
8.3. DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS							
Residuo	Pretratamiento		Grasas		Biosólidos		
Disposición	Relleno sanitario <input type="checkbox"/>		Relleno sanitario <input type="checkbox"/>		Relleno sanitario <input type="checkbox"/>		
	Aplicación en suelo <input type="checkbox"/>		Aplicación en suelo <input type="checkbox"/>		Aplicación en suelo <input type="checkbox"/>		
	No aplica <input type="checkbox"/>		No aplica <input type="checkbox"/>		No aplica <input type="checkbox"/>		
Costo (\$/unidad/mes)							

9. IMPACTOS SOCIALES							
Trabajadores:	Hombres:		Mujeres:		Rango de edad empleados (años):	20-25 <input type="checkbox"/>	35-40 <input type="checkbox"/>
						25-30 <input type="checkbox"/>	40-45 <input type="checkbox"/>
						30-35 <input type="checkbox"/>	45 o más <input type="checkbox"/>
Escolaridad (anotar número de empleados en cada nivel):	Primaria		Técnico		Carrera trunca		
	Secundaria		Técnico superior universitario		Carrera titulada		
	Bachillerato						
Recibe capacitación	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	¿De qué tipo?				
¿Existen quejas con respecto a la operación?	Si <input type="checkbox"/>	¿Cuáles?	Malos olores	<input type="checkbox"/>	Ruido	<input type="checkbox"/>	
	No <input type="checkbox"/>		Basura	<input type="checkbox"/>	Vectores (plagas)	<input type="checkbox"/>	
¿Existen recursos suficientes para su operación?	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	¿Por qué?				
¿Quién debe ser el responsable de la operación?	Estado <input type="checkbox"/>	Municipio <input type="checkbox"/>	¿Por qué?				
	Localidad <input type="checkbox"/>						
¿Existe contacto con la sociedad?	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	¿De qué tipo?	Visitas	<input type="checkbox"/>		
				Información	<input type="checkbox"/>		
				Otro (especifique)	<input type="checkbox"/>		
Beneficios directos a la sociedad:				Incidencia de enfermedades (casos/año):			
Cadenas de valor en la localidad							
Mantenimiento	Combustibles		Transporte		Otro		
¿Hay alguna empresa de la comunidad que preste servicios de mantenimiento civil ?	¿Existe alguna gasolinera en la comunidad que provea el combustible?		¿Existe alguna empresa en la comunidad que proporcione el servicio de transporte de lodo ?		¿Existe alguna empresa que proporcione servicio de limpieza/aseo en la planta?		
Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
¿Hay alguna empresa de la comunidad que preste servicios de mantenimiento eléctrico ?	¿Existe alguna empresa en la comunidad que provea diesel?		¿Existe alguna empresa en la comunidad que proporcione el servicio de transporte de agua ?		¿Existe una empresa que preste algún otro servicio a la PTAR? (Especifique qué servicio)		
Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
¿Hay alguna empresa de la comunidad que preste servicios de mantenimiento mecánico ?	¿Existe alguna empresa en la comunidad que provea gas lp?		¿Existe alguna empresa en la comunidad que proporcione el servicio de transporte de residuos ?		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
¿Hay alguna empresa de la comunidad que preste servicios de mantenimiento hidráulico ?	¿Existe alguna empresa en la comunidad que provea reactivos?		¿Existe alguna empresa en la comunidad que proporcione el servicio de transporte de personal ?		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				

10. INFORMACIÓN ENTREGADA POR USUARIO						
¿Qué información fue entregada durante la visita?	Manual de operación		Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
	Resumen de bitácora de eventos		Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
	Resumen de bitácora de laboratorio		Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
	Diagrama de flujo de proceso		Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
	Diagrama de tubería e instrumentación		Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
	Arreglo en planta		Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
Lista de equipos		Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	
11. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS EN CAMPO						
Caudal (l/s):				Método empleado en la determinación de caudal:		
Temperatura ambiental(*)						
Infuente						
DQO (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l) *correlacionado con la turbidez	pH	Temperatura °C	Conductividad (mS/cm)	Observaciones para la determinación de los parámetros
Efluente						
DQO (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l) *correlacionado con la turbidez	pH	Temperatura °C	Conductividad (mS/cm)	Observaciones para la determinación de los parámetros
Procesos biológicos aerobios						
Oxígeno disuelto (mg/l)	Potencial óxido - reducción(mV)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Lugar y condiciones bajo las cuales se tomaron los parámetros			
Procesos biológicos anaerobios						
Potencial óxido - reducción(mV)	Altura de la cama de lodos (m)	Velocidad de sedimentación (cm/s)	Lugar y condiciones bajo las cuales se tomaron los parámetros.			
			Observaciones generales de la determinación de la altura de la cama de			
			Características visuales de la prueba de medición de la velocidad de sedimentación de lodos anaerobios.			
Toma de datos para el cálculo de la velocidad de sedimentación del lodo para Procesos anaerobios						
1 min	10 s	20 s	30 s	40 s	50 s	60 s
Altura (cm)						
2 min	70 s	80 s	90 s	100 s	110 s	120 s
Altura (cm)						
3 min	130 s	140 s	150 s	160 s	170 s	180 s
Altura (cm)						
4 min	210 s			240 s		
Altura (cm)						
5 min	270 s			300 s		
Altura (cm)						
6 min	330 s			360 s		
Altura (cm)						

12. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PTAR						
13. ESTADO GENERAL PTAR POR INSPECCIÓN VISUAL						
Instalaciones civiles						
Instalaciones mecánicas y de tubería						
Instalaciones eléctricas						
Instalaciones de instrumentos y de control						
14. COMENTARIOS GENERALES						
15. FIRMAS						
Responsable de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales						
		Nombre completo				
		Firma				
Visitador						
		Nombre completo				
		Firma				

8.2 Anexo 2. Cuestionario a operadores

Cuestionario para operadores

Nombre: _____

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales: _____

Fecha: ____/____/____

A. Indique con una "X" si es falsa (F) o verdadera (V) cada una de las siguientes aseveraciones (1 punto por reactivo):

1 Las aguas residuales son producto de la utilización de agua potable por el ser humano, para diferentes usos de la vida diaria, tanto en hogares o a nivel industrial, lo que produce que esta sufra alteraciones en su composición produciendo contaminación.

2 El tratamiento de aguas residuales es aquel que consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como finalidad eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.

3 La DBO_5 es la cantidad de oxígeno consumido expresado en $mg\ O_2/l$ tras la incubación durante 5 días a $20^\circ C$ y en oscuridad por los microorganismos presentes en el agua para su degradación biológica.

4 La DBO_5 es un parámetro que mide la conductividad y los Sólidos Disueltos Totales (SDT).

La DQO es la cantidad de oxígeno consumido expresado en $mg\ O_2/l$ en la oxidación total de las sustancias reductoras presentes en el agua mediante el uso de oxidantes químicos.

6 ¿Cómo se calcula el tiempo de retención hidráulica?

7 El lodo estabilizado puede ser utilizado como mejorador de suelos.

B. Enumere del 1 al 4 el orden como se llevan a cabo las diferentes etapas en el proceso de tratamiento de aguas residuales (1 punto):

() Tratamiento primario

() Tratamiento avanzado o terciario

() Tratamiento biológico o secundario

() Pretratamiento

C. Encierre en un círculo la opción que corresponde a cada una de las preguntas que se indican a continuación (1 punto por reactivo):

1. ¿Es lo mismo el tiempo de retención hidráulica y el tiempo de retención celular?
 - a. Sí, es lo mismo.
 - b. El tiempo de retención celular es también llamado edad del lodo y no tiene nada que ver con el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).
 - c. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.
2. En un reactor biológico aerobio los lodos en exceso son función de:
 - a. El volumen del tanque de aireación
 - b. De los kilogramos de DBO_5 en el influente
 - c. De la cantidad de grasas
3. La NOM-003-SEMARNAT-1997:
 - a. Prohíbe el reúso del agua tratada
 - b. Regula las emisiones de los malos olores de una PTAR
 - c. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen
4. Durante el desaguado de lodos, estos aumentan su concentración de sólidos totales a:
 - a. 1.0 - 2.0% ST
 - b. 18 - 25% ST
 - c. 80 - 95% ST

D. Instrucciones: Lea y responda las preguntas (1 punto por reactivo):

1. ¿Cuáles son las operaciones unitarias con las que cuenta su planta?
2. Describa el tren de tratamiento que tiene su PTAR
3. Mencione los parámetros que se tienen que medir en el influente a la PTAR y por qué son importantes
4. ¿Qué tipo de reactores tiene el tratamiento biológico de su PTAR?
5. ¿A qué se refieren los términos anaerobio y aerobio?
6. ¿Por qué es importante mantener la aireación en el reactor aerobio y qué parámetro principal de control se tiene que medir?

7. ¿Por qué es importante desinfectar el agua residual tratada?
8. Mencione el tipo de tratamiento terciario con el que cuenta su PTAR, y qué se debe de hacer para mantener su funcionamiento adecuado.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

No. de puntos (total 20): _____

Calificación final (sobre 10): _____

Nombre y firma del participante: _____

Nombre y firma del evaluador: _____

8.3 Anexo 3. Matriz para la evaluación técnica de plantas de tratamiento de aguas residuales

La técnica de evaluación propuesta para evaluar en términos generales una planta de tratamiento de aguas residuales se basa en una matriz de decisión con factores ponderados. Esta matriz correlaciona los distintos aspectos que pueden ser evaluados a un proceso de tratamiento de agua bajo una determinada circunstancia de aplicación mediante la asignación de calificaciones en diversos rubros según los criterios del o los evaluadores. Los rubros reciben una ponderación o peso específico según su importancia bajo el contexto de un proyecto. Las calificaciones estarán sustentadas con el levantamiento en campo efectuado (ver Anexo 1).

Esta técnica permite que una evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva para todos los involucrados, además de que asegura que mientras más capacitados y expertos sean los participantes en fijar los valores de ponderación y las calificaciones de los procesos, más confiable será la decisión tomada a través de la matriz.

8.3.1 Operación de la matriz

La matriz consta de 5 columnas (Figura A.3.1).

En la columna 1 (ponderación por rubro) se presentan los valores de ponderación para los diversos factores a evaluar del proyecto (columna 2) los cuales serán evaluados para cada planta de tratamiento de aguas residuales con una calificación en la columna 3 (Calificación de 1 a 5).

La suma de los valores ponderados en la columna 1 debe sumar 100. Los valores de la columna A deben ser fijados considerando la importancia que tiene cada factor dentro de las condiciones específicas de cada proyecto o PTAR y deberán permanecer constantes para cada caso, independientemente de qué sistema de tratamiento de aguas se esté evaluando para efectos de comparación.

En la columna 3 se evalúa cada factor y subfactor de la columna 2 al otorgar un valor de cero cuando el aspecto evaluado no aplique, 1 cuando el factor cumpla con el aspecto en

forma deficiente, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada y 5 cuando el factor cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena o excelente.

En la columna 4 (Calificación promedio del rubro), la calificación asignada a cada rubro (columna 3) se divide entre la calificación máxima que pueden obtener, es decir 5. Para el caso donde existan subfactores, se determina un promedio y es este valor el que se divide entre 5.

En la columna 5 se multiplica el valor de cada renglón de la columna 4 por el valor ponderado de la columna 1 y finalmente se suman todos los renglones de la columna 5 para obtener la calificación global.

La PTAR o proyecto que obtenga la mayor calificación será considerado el mejor.

La matriz propuesta se muestra en la Figura A.3.1 en la cual se han manejado números solamente como un ejemplo operativo de la matriz. Estos números, evidentemente, deberán ser propuestos y ajustados en función del proyecto, de la importancia de cada factor ponderado en la evaluación y en función del levantamiento en campo efectuado en la planta que sustenten las calificaciones asignadas a los rubros.

8.3.2 Factores ponderados considerados en la matriz

Los factores ponderados en la matriz abarcan tres temas generales; es decir, el estado de mantenimiento de la infraestructura, la operación de la planta que tiene que ver con el cumplimiento de la normatividad vigente y el manejo de residuos y subproductos de la misma. Así mismo, se le da peso al impacto social que pudiera tener la planta. La información obtenida que puede ser adquirida en forma visual y/o mediante entrevista con el personal operador o directivo. Así mismo, debe ser sustentada con el levantamiento técnico en campo mediante el llenado del formato propuesto en el Anexo 1.

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE PLANTAS				
Número de PTAR:	Nombre de PTAR			
Ponderación por rubro	Rubro calificado	Calificación (1 a 5). (Dejar en blanco si no)	Calificación Promedio del rubro	Calificación ponderada del rubro
Estado del alcantarillado				
5	Red	2	0.47	2.33
	Colectores	3		
	Emisores	2		
Estado General de las Instalaciones				
30	Estructuras civiles	2	0.47	14.18
	Estructuras mecánicas	2		
	Tuberías y soportes	2		
	Equipos de bombeo	2		
	Equipos de aireación	2		
	Limpieza de áreas	2		
	Canalizaciones eléctricas	2		
	Tableros o botoneras de control	3		
	Edificios	3		
	Equipo de laboratorio	3		
	Seguridad en el trabajo	3		
Funcionamiento general de la PTAR				
10	Pretratamiento	2	0.56	5.56
	Tratamiento primario	3		
	Tratamiento secundario	2		
	Tratamiento avanzado	3		
	Desinfección	3		
	Filtración	3		
	Tratamiento de lodos	3		
	Análisis de muestras	3		
Estado de instrumentos	3			
Normatividad				
20	Cumplimiento de la Normas Oficiales Mexicanas	2	0.40	8.00
Control de la PTAR				
5	Control de la PTAR mediante análisis rutinarios	2	0.40	2.00
Residuos sólidos				
5	Manejo de los residuos sólidos	2	0.40	2.00
Emisiones a la atmósfera				
5	Manejo de emisiones a la atmósfera	2	0.40	2.00
Impactos sociales				
5	Capacitación del operador	2	0.47	2.33
	Interacción con la sociedad	3		
	Incidencia de enfermedades	2		
Cadenas de valor				
5	Cadenas de valor generadas	2	0.40	2.00
Suministro de información				
5	Suministro adecuado de información	2	0.40	2.00
Atención e interés durante la visita				
5	Atención e interés del personal responsable de la PTAR durante la visita. Organización del organismo operador.	2	0.40	2.00
100	Calificación:			44.40

Figura A.3.1 Matriz para la evaluación técnica de PTAR. Los números asignados son solamente un ejemplo de cómo operar la matriz

8.4 Anexo 4. Matriz para la evaluación preliminar del impacto social de una planta de tratamiento de aguas residuales

La técnica de evaluación propuesta para evaluar en términos generales el impacto social de una planta de tratamiento de aguas residuales se basa en una matriz de decisión con factores ponderados. Esta matriz correlaciona los distintos aspectos que pueden ser evaluados a un proceso de tratamiento de agua bajo una determinada circunstancia de aplicación mediante la asignación de calificaciones en diversos rubros según los criterios del o los evaluadores. Los rubros reciben una ponderación o peso específico según su importancia bajo el contexto de un proyecto.

Esta técnica permite que una evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva para todos los involucrados, además de que asegura que mientras más capacitados y expertos sean los participantes en fijar los valores de ponderación y las calificaciones de los procesos, más confiable será la decisión tomada a través de la matriz.

8.4.1 Operación de la matriz

La matriz consta de 5 columnas (Figura A.4.1).

En la columna 1 (ponderación por rubro) se presentan los valores de ponderación para los diversos factores a evaluar del proyecto (columna 2) los cuales serán evaluados para cada planta de tratamiento de aguas residuales con una calificación en la columna 3 (Calificación de 1 a 5).

La suma de los valores ponderados en la columna 1 debe sumar 100. Los valores de la columna A deben ser fijados considerando la importancia que tiene cada factor dentro de las condiciones específicas de cada proyecto o PTAR y deberán permanecer constantes para cada caso, independientemente de qué sistema de tratamiento de aguas se esté evaluando para efectos de comparación.

En la columna 3 se evalúa cada factor y subfactor de la columna 2 al otorgar un valor de cero cuando el aspecto evaluado no aplique, 1 cuando el factor cumpla con el aspecto en forma deficiente, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada y 5 cuando el factor cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena o excelente.

En la columna 4 (Calificación promedio del rubro), la calificación asignada a cada rubro (columna 3) se divide entre la calificación máxima que pueden obtener, es decir 5. Para el caso donde existan subfactores, se determina un promedio y es este valor el que se divide entre 5.

En la columna 5 se multiplica el valor de cada renglón de la columna 4 por el valor ponderado de la columna 1 y finalmente se suman todos los renglones de la columna 5 para obtener la calificación global.

La PTAR o proyecto que obtenga la mayor calificación será considerado el mejor.

La matriz propuesta se muestra en la Figura A.4.1 en la cual se han manejado números solamente como un ejemplo operativo de la matriz. Estos números, evidentemente, deberán ser propuestos y ajustados en función del proyecto, de la importancia de cada factor ponderado en la evaluación y en función del levantamiento en campo efectuado en la planta que sustenten las calificaciones asignadas a los rubros.

8.4.2 Factores ponderados considerados en la matriz

Una planta de tratamiento de aguas residuales puede tener un impacto social alrededor de la misma tanto positivo como negativo, ello en función de su diseño, ubicación, capacidad de tratamiento y gestión administrativa, entre otros factores.

En la matriz se le da importancia a la equidad de género que, para este caso, se evalúa la oportunidad laboral que puede tener una mujer dentro de la operación y/o dirección de la planta. Se debe cuantificar en la planta la cantidad de mujeres que laboran en proporción a los hombres.

Así mismo se le da importancia a la oportunidad laboral a adultos mayores, donde se debe determinar la cantidad de ellos dentro de la totalidad de trabajadores en la planta.

El rubro de estado y control de documentos que considera la existencia o no de bitácoras de operación y mantenimiento y la existencia de documentos de ingeniería que soporten el diseño de la planta, es un punto importante para poder evaluarla cuando existan impactos negativos a la sociedad; como pueden ser, la generación de malos olores, ruido, mala calidad del agua tratada, bajo caudal de agua a tratar, etc. La información técnica

proporcionada es la base para efectuar el análisis y poder determinar el origen y solución a los posibles problemas que se presenten.

Se sugiere también ponderar la capacitación del personal operador; es decir, si han recibido capacitación en cuanto a la operación, seguridad en el trabajo, fundamentos teóricos, entre otros, bajo esquemas planeados y rutinarios.

Muchas plantas de tratamiento de aguas residuales contemplan la posibilidad de hacer visitas guiadas dentro de sus instalaciones, reciben a alumnos de escuelas de todo tipo, a profesionales e inclusive a otros colegas de otras plantas de tratamiento. Ello es una extraordinaria práctica que refleja el interés en dar a conocer la infraestructura, su importancia y conlleva, implícitamente, capacitación, y una operación y mantenimiento adecuado de las instalaciones.

El rubro de cadenas de valor se refiere a la posibilidad de que las labores de mantenimiento y operación de la planta sean apoyadas por los habitantes de la localidad a la que da servicio la planta; es decir, contratar operadores de la región, plomeros, mecánicos y servicios en general proporcionados por la población.

La incidencia de enfermedades es un rubro importante a considerar, pues los trabajadores están expuestos a enfermedades, sobre todo de tipo gastrointestinal. Una baja incidencia de enfermedades denota capacitación y cuidado e interés en la seguridad de los trabajadores.

Los impactos ambientales directos que percibe una población circundante a las instalaciones de la PTAR son el mal olor, ruido y atracción de vectores. Una planta de tratamiento bien diseñada y, sobre todo, bien operada minimiza estos impactos.

Al efectuar el levantamiento en campo de una planta de tratamiento es evidente si el personal operativo o directivo de la planta muestra interés en proporcionar información (si es que existe) y en atender a los visitantes. Un adecuado interés en la visita y atención a los visitantes es indicio de conocimiento, capacitación e interés en mostrar, lo que al final de cuentas, son los resultados de su trabajo.

MATRIZ PARA LA CALIFICACIÓN DE IMPACTO SOCIAL PONDERADA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				
Número de PTAR:	Nombre de PTAR:			
Ponderación por rubro	Rubro calificado	Calificación (1 a 5). (Dejar en blanco si no aplica)	Calificación Promedio del rubro	Calificación ponderada del rubro
Equidad de género				
3	Oportunidad laboral independientemente del género	2	0.40	1.20
Operadores adultos				
5	Oportunidad laboral independientemente de la edad	2	0.40	2.00
Estado y control de documentos				
5	Bitácora de control de la operación	2	0.47	2.33
	Bitácora de mantenimiento	3		
	Existencia de documentos de ingeniería	2		
Capacitación				
20	Capacitación del personal operador	2	0.40	8.00
Visitas				
5	Visitas guiadas a la PTAR	2	0.40	2.00
Cadenas de valor				
17	Generación de cadenas de valor en la localidad	2	0.40	6.80
Incidencias de enfermedades				
5	No reporte de incidencia de enfermedades en los operadores o en la localidad	2	0.40	2.00
Impactos ambientales que afecten a la población circundante				
20	No Ruido	2	0.47	9.33
	No Olores	3		
	No Vectores	2		
Suministro de información				
5	Suministro adecuado de información en el momento de la visita	2	0.40	2.00
Atención e interés del personal				
15	Atención e interés del personal responsable de la PTAR durante la visita. Organización del organismo operador	2	0.40	6.00
100	Calificación:			41.67

Figura A.4.1 Matriz para la evaluación del impacto social de una PTAR. Los números asignados son solamente un ejemplo de cómo operar la matriz

8.5 Anexo 5. Matriz para la evaluación preliminar del potencial de reúso alrededor de una planta de tratamiento de aguas residuales

La técnica de evaluación propuesta para evaluar en términos generales el potencial de uso de agua tratada en los alrededores de una planta de tratamiento de aguas residuales se basa en una matriz de decisión con factores ponderados. Esta matriz correlaciona los distintos aspectos que pueden ser evaluados a un proceso de tratamiento de agua bajo una determinada circunstancia de aplicación mediante la asignación de calificaciones en diversos rubros según los criterios del o los evaluadores. Los rubros reciben una ponderación o peso específico según su importancia bajo el contexto de un proyecto.

Esta técnica permite que una evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva para todos los involucrados, además de que asegura que mientras más capacitados y expertos sean los participantes en fijar los valores de ponderación y las calificaciones de los procesos, más confiable será la decisión tomada a través de la matriz.

8.5.1 Operación de la matriz

La matriz consta de 5 columnas (Figura A.5.1).

En la columna 1 (ponderación por rubro) se presentan los valores de ponderación para los diversos factores a evaluar del proyecto (columna 2) los cuales serán evaluados para cada planta de tratamiento de aguas residuales con una calificación en la columna 3 (Calificación de 1 a 5).

La suma de los valores ponderados en la columna 1 debe sumar 100. Los valores de la columna A deben ser fijados considerando la importancia que tiene cada factor dentro de las condiciones específicas de cada proyecto o PTAR y deberán permanecer constantes para cada caso, independientemente de qué sistema de tratamiento de aguas se esté evaluando para efectos de comparación.

En la columna 3 se evalúa cada factor y subfactor de la columna 2 al otorgar un valor de cero cuando el aspecto evaluado no aplique, 1 cuando el factor cumpla con el aspecto en forma deficiente, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada y 5 cuando el factor cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena o excelente.

MATRIZ DE FACTORES PONDERADOS PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL DE USO DE AGUA TRATADA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES					
Número de PTAR:		Nombre de PTAR:			
Ponderación por rubro	Rubro calificado	Calificación (1 a 5). (Dejar en blanco si no aplica)	Calificación Promedio del Rubro	Calificación Ponderada del Rubro	
15	Nivel de caudal de diseño (PTAR chica = 1-15 L/s, mediana = 16-100 L/s o grande = 101 o más L/s)	2	0.40	6.00	
15	Rendimiento de la PTAR (Gasto tratado actual/Gasto de diseño). Bajo 1-50%, mediano 51-75, alto 76-100% o mayor	2	0.40	6.00	
3	Continuidad y baja variación en el suministro de agua residual	2	0.40	1.20	
15	Posibilidad de incrementar el caudal de tratamiento	2	0.40	6.00	
2	Corta longitud de drenajes que alimentan a la PTAR (emisión de GEI y costos)	2	0.40	0.80	
Estado general de la PTAR					
15	Estado general de las instalaciones	2	0.45	6.75	
	Estado operativo de la PTAR	3			
	La PTAR opera las 24 horas	2			
	Alta posibilidad de reconversión del proceso a uno más sustentable	2			
Calidad del agua					
10	Agua residual alimentada típicamente municipal (no con aporte de agua industrial)	2	0.47	4.67	
	Baja concentración de ácidos, sales y metales tóxicos en el agua residual	3			
	Cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997	2			
Líneas Moradas-Infraestructura					
10	Existencia de líneas moradas	2	0.50	5.00	
	Estado general de la infraestructura	2			
	Corta longitud de líneas de suministro de agua tratada existentes o potenciales	2			
	Bajo gasto energético por bombeo	3			
	Baja dificultad en el trazo y construcción de las líneas de suministro de agua tratada	3			
	Posibilidad de financiamiento para su construcción o ampliación	3			
Líneas Moradas-Servicio					
15	Suministro potencial de agua tratada en un área con alto estrés hídrico	2	0.48	7.20	
	Posibilidad de ingresos por venta de agua tratada	3			
	Alta Relación de (área servida/área potencial a servir)	3			
	Potencial de uso de subproductos de la PTAR en la zona de influencia (lodos y biogás)	2			
	Importancia relativa del tipo de reúso (agrícola>Industrial>Áreas verdes>Lavado autos)	2			
100				43.62	

Figura A.5.1 Imagen de la matriz para la evaluación preliminar del potencial de reúso de agua tratada de una PTAR. Los números asignados son solamente un ejemplo de cómo operar la matriz

En la columna 4 (Calificación promedio del rubro), la calificación asignada a cada rubro (columna 3) se divide entre la calificación máxima que pueden obtener, es decir 5. Para el caso donde existan subfactores, se determina un promedio y es este valor el que se divide entre 5.

En la columna 5 se multiplica el valor de cada renglón de la columna 4 por el valor ponderado de la columna 1 y finalmente se suman todos los renglones de la columna 5 para obtener la calificación global.

La PTAR o proyecto que obtenga la mayor calificación será considerado el mejor.

La matriz propuesta se muestra en la figura 5.5.1 en la cual se han manejado números solamente como un ejemplo operativo de la matriz. Estos números, evidentemente, deberán ser propuestos y ajustados en función del proyecto, de la importancia de cada factor ponderado en la evaluación y en función del levantamiento en campo efectuado en la planta que sustenten las calificaciones asignadas a los rubros.

8.5.2 Factores ponderados considerados en la matriz

- Nivel de caudal de diseño (PTAR chica = 1-15 l/s, mediana = 16-100 l/s o grande = 101 o más l/s)

Este factor es de suma importancia para determinar el potencial de uso de agua tratada alrededor de la planta de tratamiento derivado a que de ello depende la cantidad de agua que puede ser destinada a reúso. Mientras más grande sea el caudal tratado destinado al reúso, mayor calificación tendrá. Los recursos destinados a la rehabilitación de plantas y líneas moradas deberán ser orientados en mayor medida a las plantas de tratamiento grandes.

- Rendimiento de la PTAR (Gasto tratado actual/Gasto de diseño). Bajo 1-50%, mediano 51-75%, alto 76-100%.

Aunque una PTAR considere un caudal de diseño con la cual fue proyectada, ello no implica que opere con ello. Es generalizado que las PTAR operen con caudales menores al de diseño debido a problemas con la operación y mantenimiento o con el suministro del agua residual. Las PTAR que traten agua residual con valores cercanos al caudal de diseño o mayores (plantas sobrealimentadas) serán favorecidas con una alta calificación.

- Continuidad y baja variación en el suministro de agua residual

Este factor se refiere a la constancia y baja variación en el caudal en la que la PTAR recibe agua residual y, por lo tanto, en esa misma medida, es capaz de generar agua tratada para reúso. Se favorece con una alta calificación el hecho de tener continuidad y baja variación en el suministro de agua residual.

- Posibilidad de incrementar el caudal de tratamiento

Este factor se refiere a la posibilidad de que la PTAR pueda ser rehabilitada y/o se mejoren las condiciones operativas y de mantenimiento para lograr el incremento del caudal tratado. Así mismo, este factor puede depender de las condiciones de suministro de agua residual que son ajenas a la operación de la PTAR (estado de drenajes, extracción de agua residual del drenaje, restricciones al suministro de agua potable a la población, disminución de la población, etc.). Recibirá una mayor calificación en la medida de que este potencial se incremente.

- Corta longitud de drenajes que alimentan a la PTAR (emisión de Metano-H₂S y costos)

La conducción de las aguas residuales a la PTAR a través del sistema de drenaje implica, entre otras cosas, emisiones de gases de efecto invernadero, malos olores, desgaste y mantenimiento, fugas y, en algunos casos, bombeo. Lo más conveniente es, para minimizar estos efectos, contar con drenajes con longitud corta por lo que este factor será evaluado con una calificación mayor conforme más corta sea la longitud del drenaje que alimenta de agua residual a la PTAR.

- Estado general de la PTAR

Para este factor se ha considerado el estado general de las instalaciones, el estado operativo de la planta, si la PTAR opera las 24 horas del día y la posibilidad de que el proceso que usa la planta sea reconvertido a uno más sustentable en un proyecto a futuro.

- Calidad del agua

Para este factor se ha considerado ponderar si el agua residual alimentada es típicamente municipal (no con aporte de agua residual industrial) y si la misma contiene una baja concentración de ácidos, sales y metales tóxicos. Esto se ha considerado importante pues puede llegar a determinar si la calidad de agua generada es apta para ciertos tipos de reúsos

y deriva también en el cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997. El aporte de aguas residuales industriales al agua residual municipal altera el tipo y concentración de contaminantes, así como el caudal y es posible que la planta de tratamiento, que ha sido diseñada bajo criterios para tratar agua residual municipal, no esté en condiciones de operar adecuadamente bajo esta situación.

Si el agua residual contiene alta concentración de sales y metales tóxicos, el potencial de reúso de agua tratada se vería seriamente limitado.

Se califica con un alto valor aquella agua residual que pueda ser considerada como típicamente municipal.

- Líneas para la conducción de agua tratada (conocidas como líneas moradas)-
Infraestructura

Este factor considera la ponderación de la existencia de líneas moradas asociadas a la PTAR, el estado general de esa infraestructura, la longitud de líneas de conducción de agua tratada existentes o potenciales a los sitios de uso de agua tratada y con ello el gasto energético asociado al bombeo si es que existe. Se ha considerado también la dificultad en el trazo y construcción de las líneas de suministro de agua tratada que dependerá de las condiciones mecánicas del suelo y topográficas, así como del orden en cuanto al crecimiento urbano de la población alrededor de la PTAR. En este factor se pondera también la posibilidad de contar con algún tipo de financiamiento para su construcción o ampliación.

- Líneas Moradas-Servicio

Este factor considera el suministro potencial de agua tratada en un área con alto estrés hídrico. Este factor se refiere al potencial de uso de agua tratada provisto por la PTAR en una región considerada con estrés hídrico por la falta de suministro de agua potable o fuentes para la extracción de agua para primer uso. Ello implica que el suministro de agua tratada para reúso libera agua para primer uso lo cual sería evaluado con una alta calificación en un ambiente con alto estrés hídrico. En una población o ciudad grande pueden existir zonas diferenciadas en cuanto al estrés hídrico que poseen.

Otro factor a considerar es la posibilidad de ingresos por venta de agua tratada lo cual podría autofinanciar en parte los requerimientos operativos tanto de la PTAR como de las líneas moradas.

Se pondera con una alta calificación una alta relación de área servida con agua tratada en relación al potencial de área por servir, es decir, que tanto es la cobertura real o potencial del servicio de agua tratada en relación con la demanda en el área de influencia de la PTAR.

Por otra parte, también se pondera el posible uso de otros productos de la PTAR como puede ser el de lodos de purga como mejoradores de suelo o de biogás como fuente alterna de energía. Ello dependerá de la actividad económica preponderante en los alrededores de las PTAR.

El último factor incluido en la ponderación es el hecho de dar valor relativo al tipo de reúso contemplado en la evaluación. Se considera de mayor importancia la agricultura por la producción de alimentos que un reúso industrial y a su vez este sería de mayor importancia que el riego de áreas verdes quedando al último el lavado de automóviles.

Las Series del Instituto de Ingeniería describen los resultados de algunas de las investigaciones más relevantes de esta institución. Con frecuencia son trabajos in extenso de artículos que se publican en revistas especializadas, memorias de congresos, etc.

Cada número de estas Series se edita con la aprobación técnica del Comité Editorial del Instituto, basada en la evaluación de árbitros competentes en el tema, adscritos a instituciones del país y/o el extranjero.

Actualmente hay tres diferentes Series del Instituto de Ingeniería:

SERIE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Incluye trabajos originales sobre investigación y/o desarrollo tecnológico. Es continuación de la Serie Azul u Ordinaria, publicada por el Instituto de Ingeniería desde 1956, la cual actualmente tiene nueva presentación y admite textos en español e inglés.

SERIE DOCENCIA

Está dedicada a temas especializados de cursos universitarios para facilitar a estudiantes y profesores una mejor comprensión de ciertos temas importantes de los programas de estudio.

SERIE MANUALES

Abarca manuales útiles para resolver problemas asociados con la práctica profesional o textos que describen y explican el estado del arte o el estado de la práctica en ciertos temas. Incluye normas, manuales de diseño y de laboratorio, reglamentos, comentarios a normas y bases de datos.

Las Series del Instituto de Ingeniería pueden consultarse gratuitamente desde la dirección electrónica del Instituto <http://www.ii.unam.mx> (<http://aplicaciones.iingen.unam.mx/ConsultasSPII/Buscpublicacion.aspx>) y pueden grabarse o imprimirse en formato PDF desde cualquier computadora.

