



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS
ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

FORMULACIÓN DEL PROGRAMA DE SANEAMIENTO DE LA FRONTERA NORTE A NIVEL GRAN VISIÓN

CILA-JUA-LPN-6-2020

T E C A T E
B A J A C A L I F O R N I A

INFORME ESPECIAL

Agosto, 2021





CONTENIDO

Resumen	5
1 Diagnóstico del sistema de saneamiento.	8
1.1 Recopilación y análisis de la información.....	9
1.1.1 Sistema principal de alcantarillado.	10
1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales.	18
1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada.....	24
1.1.4 Generalidades	26
1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento.....	29
1.2.1 Estado actual de la infraestructura de saneamiento.	29
1.2.2 Pertinencia de los manuales y políticas de operación.	36
1.2.3 Situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra	37
1.2.4 Condiciones de los sitios de descarga y disposición final	37
1.2.5 Costos actuales de operación y mantenimiento.....	39
1.2.6 Capacidad financiera del organismo operador.	39
2 El déficit de saneamiento en la región.....	41
2.1 Comparación de capacidad de diseño contra demanda actual y futura.	41
2.1.1 2.1.1. Demanda actual de saneamiento de aguas residuales.	41
2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales	41
2.1.3 Comparación demanda actual y futura de colectores principales.....	43
2.1.4 Comparación demanda actual y futura de estaciones de bombeo principales.....	44
2.1.5 Comparación demanda actual y futura de Plantas de tratamiento.....	45
2.1.6 Comparación demanda actual y futura de agua de reúso.	46
2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento.....	47
2.2.1 Reemplazo de la infraestructura que ha rebasado su vida útil.....	47
2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada.....	49
2.2.3 Incremento de la capacidad de las plantas de bombeo y PTAR.....	49
2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general.....	50
2.2.5 Mejora en la calidad del efluente para cumplir con la normatividad aplicable y su manejo y disposición de lodos	51
2.2.6 Cambios en los programas de operación y mantenimiento de los sistemas de Saneamiento.	52
3 Alternativas para atender la demanda futura de saneamiento en la región.	56
3.1 Planteamiento de alternativas.	56



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.1.1	Alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.....	56
3.1.2	Alternativas para Plantas de bombeo principales.....	62
3.1.3	Alternativas para Plantas de tratamiento.....	63
3.1.4	Alternativas para infraestructura para el reúso de agua.....	63
3.1.5	Alternativas para infraestructura complementaria e Instrumentación.....	64
3.2	Dimensionamiento de alternativas usando criterios de resiliencia.....	64
3.2.1	Alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.....	65
3.2.2	Alternativas para Plantas de bombeo principales.....	67
3.2.3	Alternativas para Plantas de tratamiento.....	67
3.2.4	Alternativas para infraestructura para el reúso de agua.....	68
3.2.5	Alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación.....	69
3.3	Evaluación comparativa de costos de inversión, operación y mantenimiento de alternativas.....	70
3.3.1	Alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.....	70
3.3.2	Alternativas para Plantas de bombeo principales.....	75
3.3.3	Alternativas para Plantas de tratamiento.....	75
3.3.4	Alternativas para infraestructura para el reúso de agua.....	75
3.3.5	Alternativas para infraestructura para el reúso de agua.....	76
3.4	Selección de las alternativas más convenientes.....	77
3.5	Integración de la cartera de acciones y proyectos.....	79
3.5.1	Acciones y proyectos para colectores principales y obras de captación y conducción.....	79
3.5.2	Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales.....	79
3.5.3	Acciones y proyectos para plantas de tratamiento.....	80
3.5.4	Acciones y proyectos para infraestructura para el reúso de agua.....	80
3.5.5	Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación.....	80
4	Organización y alternativas de financiamiento.....	83
4.1	Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento.....	83
4.1.1	Planteamiento de opciones de organización para la realización de estudios y proyectos.....	83
4.1.2	Planteamiento de opciones de organización para la ejecución.....	85
4.1.3	Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento.....	86
4.2	Análisis de riesgos y formas de absorberlos o mitigarlos.....	86
4.2.1	Identificación de riesgos (Construcción de matriz).....	86
4.2.2	Evaluación de riesgos.....	87



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

4.2.3 Propuesta de mecanismos de mitigación.	88
Bibliografía	89
Acrónimos	91
Índice de tablas	92
Índice de ilustraciones.....	95



Resumen

En el marco de los acuerdos del Acta 294 de la Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos (CILA) que identifica la necesidad de atender los problemas de saneamiento de las comunidades fronterizas de México, mediante proyectos de infraestructura y tratamiento de aguas residuales se realiza este Programa de saneamiento de la frontera norte a nivel gran visión para Tecate, B. C.

La región Tijuana–Tecate, que junto con Playas de Rosarito, en el estado de Baja California constituyen la cuarta zona con mayor población del país, a pesar de los grandes esfuerzos para atender las demandas de servicios básicos que soportan el sano desarrollo de la población y garanticen el crecimiento de los sectores productivos, en los últimos diez años ha visto rebasada su capacidad de atender las necesidades prioritarias de saneamiento, que han originado inconformidad del gobierno estadounidense por la contaminación de la Cuenca binacional y de la costa del pacífico.

En ese contexto se realiza el *“Programa de Saneamiento de la Frontera Norte a nivel Gran Visión”* para Tecate BC, donde se realiza un diagnóstico pormenorizado de la situación que guarda el sistema de saneamiento, así mismo se revisa la capacidad de diseño para las necesidades actuales y futuras para determinar las necesidades de infraestructura con un horizonte al 2050. En el capítulo tres se presentan una serie de alternativas de cara a la demanda futura, que se evalúan y ponderan para obtener una cartera de acciones y proyectos viables. Para el éxito del programa se desarrolla el capítulo cuatro donde se proponen alternativas de financiamiento con el soporte de un marco jurídico robusto. Finalmente, en el capítulo cinco se integrará la documentación pertinente para el registro de este programa y sus acciones ante la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

El desarrollo de este programa en todas sus etapas, así como su implementación solo será posible con el probado liderazgo de la CILA, para hacer concurrir a todos los sectores involucrados en la problemática y solución del saneamiento fronterizo, tanto el sector público, el sector social y el sector académico.

El 69 % del Municipio de Tecate se localiza en la Cuenca del río Tijuana, representando el 42.41 % de la superficie total de la Cuenca (20.53% Tijuana, 9.84% Ensenada y 27% San Diego, Ca.), por lo que resulta relevante el conocimiento y gestión de los recursos hídricos en este municipio, ya que los efectos de las actividades humanas en la parte alta de dicha cuenca tienen impacto en la parte baja de la Cuenca.

Aunado a la vecindad con California, EE. UU., el desarrollo del municipio de Tecate ha estado relacionado con la buena calidad y disponibilidad de agua en los acuíferos Tecate y Valle de las Palmas, caracterizados por las buenas condiciones de permeabilidad y el mejoramiento en la calidad del agua debido al tipo de suelo en su mayoría conformado por material de granito en descomposición. Esta disponibilidad y calidad de agua impulsó el crecimiento de la agricultura, así como de actividades industriales, destacando por su tamaño y relevancia internacional la Cervecería Tecate asentada desde 1954 y, a partir de ahí otras decenas de empresas industriales operan en la ciudad, siendo generadoras de empleos que han consolidado el crecimiento de la ciudad.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Este documento analiza los compromisos binacionales la situación del saneamiento en Tecate, los retos, capacidades e instrumentos con que cuenta para hacerles frente, teniendo como marco el Acta 320 de la CILA. En el primer capítulo se detalla la revisión bibliográfica que se realizó, de documentos, estudios, proyectos de todos los niveles, federales, estatales, municipales, de organizaciones de la sociedad civil y de entidades académicas relacionadas con el saneamiento de Tecate, como anexo se brinda el soporte de dicho material que sirvió de base para el desarrollo del presente programa.

A través del diagnóstico se identifican más de 45.5 kilómetros de redes principales de alcantarillado sanitario (colectores y subcolectores), compuesta por aproximadamente 25 líneas, de las cuales gran parte son de concreto y presentan algún tipo de desgaste severo y sus fallas recurrentes o extraordinarias pueden derivar en escurrimientos hacia el río Tecate; la zona rural está desprovista de esta infraestructura. El sistema de alcantarillado trabaja en su mayor parte por gravedad, con la excepción de las líneas de conducción de aguas residuales hacia los sitios de tratamiento, las cuales operan a través de 12 cárcamos de bombeo. La PTAR Tecate (200 l/s) no asegurara el cumplimiento de la norma de manera continua para disposición del efluente en el arroyo Tecate, tributario del río Tijuana.

En el segundo capítulo se analizan y contrastan la capacidad instalada y operativa y los requerimientos de ésta para atender la demanda actual y futura. Las dos PTAR del Municipio (Tecate y El Hongo) presentan un superávit de capacidad (64.5 l/s), sin embargo, presentan un deterioro considerable en su operación; a la vez que la demanda se origina en otras subcuencas que se encuentran deficitarias en este servicio. Uno de los colectores principales que tiene impacto directo de posibles escurrimientos hacia EE. UU. tiene graves problemas de desgaste.

En el tercer apartado se identifican alternativas para atender la demanda futura de saneamiento considerando las recomendaciones planteadas por la CILA, el organismo operador y entidades del gobierno de Baja California; en general las obras tienen en común evitar el impacto directo transfronterizo principalmente a través del río Tecate, afluente del río Tijuana. Posteriormente se dimensionan las alternativas atendiendo lo dispuesto por las normas vigentes en el país, incluyendo además criterios de resiliencia buscando que la infraestructura pueda soportar eventos extraordinarios.

A partir de los diseños conceptuales para resolver cada problema específico se plantean los ante presupuestos con base en precios índice a efecto de evaluar económicamente cada alternativa propuesta; en los análisis, además de los montos de inversión se consideran montos para la operación, mantenimiento y reposición de equipo, que es un tema del que han adolecido los sistemas en los últimos años, de forma tal, que se brinda una herramienta muy útil para la toma decisiones. Aunado a lo anterior, para la selección de las alternativas se propone considerar diversos aspectos (incluidos el técnico y económico) a través de una metodología para evaluar los proyectos, donde se considera la ejecución de la obra, la operación del proyecto, su impacto ambiental, el factor económico y su nivel de resiliencia.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

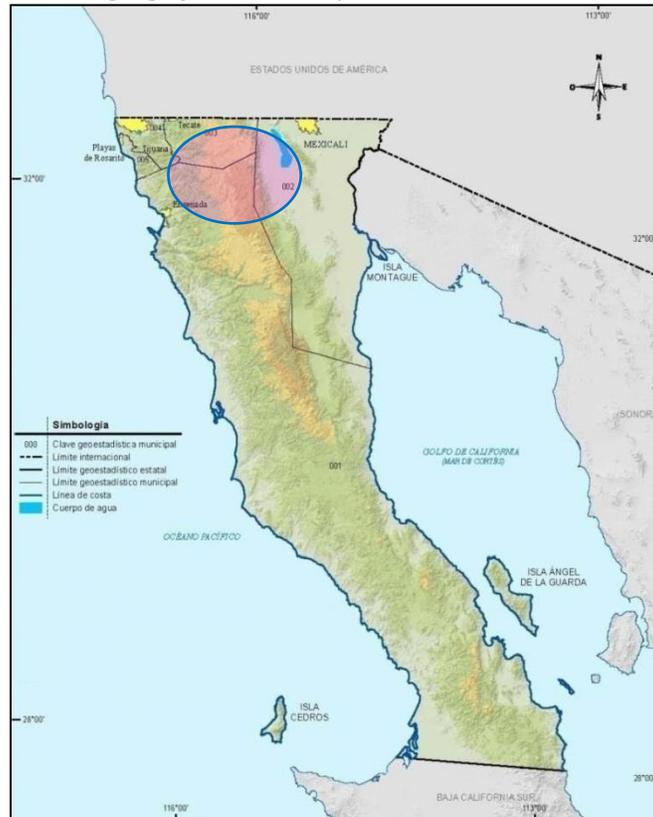
Tabla 1 Resumen problemática, solución e inversión, Tecate, BC.

<p>Problemática</p>	<p>La ciudad de Tecate tiene problemas típicos de saneamiento por la antigüedad de algunas líneas de alcantarillado y por la carencia de servicio en diferentes zonas. Se identifican más de 45.5 kilómetros de redes principales de alcantarillado sanitario (colectores y subcolectores), de las cuales gran parte son de concreto; sus fallas pueden derivar en escurrimientos hacia el río Tecate.</p> <p>La ineficiencia en la operación y mantenimiento del sistema contribuye al vertimiento de aguas residuales sobre los cañones y cauces naturales de la ciudad. Además, el limitado presupuesto dedicado a la rehabilitación y reposición de las tuberías ha ocasionado que el organismo operador no haya podido dar respuesta al déficit generado y la demanda que ha superado la capacidad de respuesta.</p> <p>Dos de los problemas más importantes asociados al funcionamiento de la red de alcantarillado de la ciudad son la corrosión de las alcantarillas e instalaciones complementarias y el control de las emanaciones de gases malolientes en las alcantarillas.</p> <p>La PTAR Tecate (200 l/s) no asegurara el cumplimiento de la norma de manera continua para disposición del efluente en el arroyo Tecate, tributario del río Tijuana.</p> <p>Las dos PTAR del Municipio (Tecate y El Hongo) presentan un superávit de capacidad (64.5 l/s), sin embargo, presentan un deterioro considerable en su operación; a la vez que la demanda se origina en otras subcuencas que se encuentran deficitarias en este servicio.</p> <p>Uno de los colectores principales que tiene impacto directo de posibles escurrimientos hacia EE. UU. tiene graves problemas de desgaste. El sistema de saneamiento en general requiere reforzamiento en obras de bombeo y conducción del agua negra hacia la PTAR; así como la ampliación de redes de recolección en la periferia.</p> <p>Los programas de operación y mantenimiento son muy limitados y antiguos.</p>
<p>Solución</p>	<p>Se requieren proyectos para el remplazo de infraestructura de redes de recolección de alcantarillado sanitario, colectores y rehabilitación de cárcamos de bombeo.</p> <p>La rehabilitación de las líneas de alcantarillado ayudará a reducir la infiltración potencial de aguas pluviales y/o freáticas al alcantarillado, reduciendo de forma importante los volúmenes de agua que recibe la PTAR, lo que permitirá ampliar el horizonte de la capacidad instalada.</p> <p>La rehabilitación de los cárcamos de bombeo particularmente en los sistemas de pretratamiento (rejillas y desarenadores) es necesario para la operación continua de las estaciones y asegurar que las aguas no salgan del sistema y puedan impactar la salud de la población.</p> <p>Para dar cumplimiento a la normatividad de límites máximos permisibles, las condiciones de la infraestructura de la PTAR actual no presentan seguridad en la prestación del servicio, se recomienda la construcción de una nueva PTAR.</p>
<p>Inversión</p>	<p>Se presenta una cartera de acciones y proyectos para atender la demanda de saneamiento en Tecate al 2050 por un total de 894 mdp para llevar a cabo 99 acciones de los cuales 5 atenderán la problemática de colectores y emisores con una inversión de 96 mdp, 12 acciones para atender plantas de bombeo y rebombeo con una inversión de 31 mdp, 1 acción para plantas de tratamiento de aguas residuales con una inversión de 164 mdp, 1 para sistema de reúso con una inversión de 3 mdp y 80 acciones que serán destinados para infraestructura complementaria con una inversión de 600 mdp.</p>

1 Diagnóstico del sistema de saneamiento.

El municipio de Tecate se localiza al centro norte del estado de Baja California, cuenta con una extensión de 3,578.45 km², que representa el 4.5% de la superficie estatal. Se ubica entre las coordenadas geográficas: latitud norte 32° 34' y entre longitud oeste 116° 38'.

Ilustración 1. Localización geográfica del municipio de Tecate



Fuente: Instituto Nacional de estadística y geografía, 2020.

Hidrológicamente la zona de Tecate se ubica dentro de la Región RH-1 Baja California Noroeste (Ensenada), en la cuenca del río Tijuana-Arroyo de Maneadero. De acuerdo con la regionalización Hidrológico-Administrativa de la CONAGUA, este municipio pertenece a la Región Administrativa I, denominada península de Baja California.

La cuenca del río Tijuana abarca un área de 4,430 km², de la cual aproximadamente dos tercios se encuentran en Baja California, México y un tercio en California, Estados Unidos. La porción mexicana de la cuenca está en su mayoría en los municipios de Tecate y Tijuana y una pequeña parte en el municipio de Ensenada; en el lado estadounidense, gran parte se encuentra bajo la jurisdicción del Condado de San Diego y el resto en San Ysidro e Imperial Beach.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 2. Regiones Hidrológico-Administrativas



Fuente: Comisión Nacional del Agua.

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate (CESPTE) se encarga de la operación y gestión de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento de su municipio. Tecate presenta una cobertura de agua potable del 95.16% y de alcantarillado sanitario del 82.92 %. Los principales indicadores de gestión del sistema operador se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Indicadores de gestión de Tecate, BC.

Indicador	Total
Población	119,743
Número de cuentas domésticas de agua potable	39,704
Población beneficiada con el servicio de agua potable	113,945
Cobertura del servicio de agua potable (%)	95.16
Número de descargas domésticas de alcantarillado sanitario	31,262
Población beneficiada con alcantarillado sanitario	99,292
Cobertura del alcantarillado sanitario (%)	82.92

Fuente: CESPTE, mayo de 2020.

1.1 Recopilación y análisis de la información.

Este informe, como parte de la Formulación del Programa de Saneamiento de las Frontera Norte a Nivel de Gran Visión, contiene información que fue recopilada y analizada de los documentos que se enlistan a continuación:

Nacionales (Gobierno de la República, SEMARNAT y CONAGUA).

- Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.
- Programa Nacional Hídrico 2020-2025.
- Programa Hídrico Regional Visión 2030 de la Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California.
- Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento 2019.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (CILA).

- Informe de Diagnóstico del Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de las Poblaciones Mexicanas en la Frontera Mex/EUA 2017. CILA.
- Actas 222, 270, 283, 294, 298 y 320 de la CILA.

Gobierno del Estado de Baja California.

- Programa Hídrico del Estado de Baja California visión 2035.
- Plan Estatal de Desarrollo de Baja California 2020-2024.
- Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Baja California - Publicado en el Periódico Oficial No. 26, Tomo CI, Sección I, de fecha 24 de junio de 1994 (Última reforma P. O. No. 67, Secc. VIII, 31-Dic-2019).
- Ley que reglamenta el servicio de agua potable en el estado de Baja California - Publicada en Periódico Oficial No. 4, Número Especial, de fecha 19 de enero de 2017, Tomo CXXIV (Última Reforma P.O. No. 25, NÚMERO ESPECIAL, 12-May-2020).

1.1.1 Sistema principal de alcantarillado.

Estos sistemas son los encargados de recolectar las aguas residuales originadas por la actividad de la población, para ser conducidas y tratadas y evitar efectos negativos en el medio ambiente y la salud pública. Generalmente se clasifican en redes de atarjeas, subcolectores, colectores, plantas de bombeo, emisores y plantas de tratamiento.

1.1.1.1 Cobertura de drenaje sanitario.

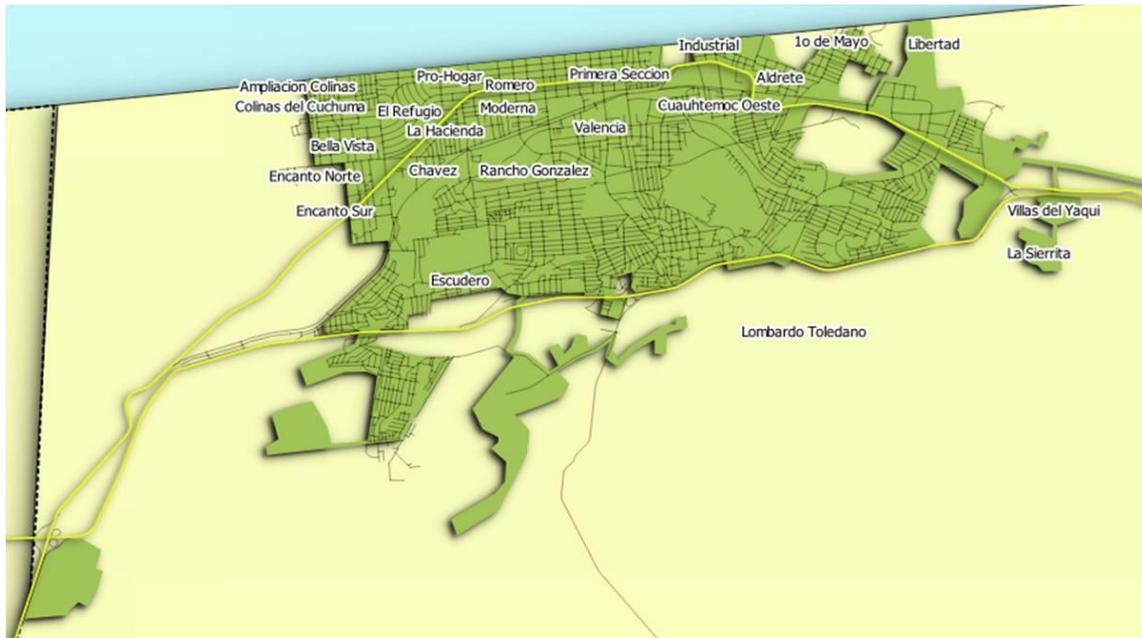
La cuenca de la ciudad de Tecate está constituida por 7 subcuencas: en la subcuenca Arroyo Tecate se genera el mayor volumen de agua residual, que drena al río del mismo nombre y, de forma natural confluye al estuario del río Tijuana y los EE. UU.; sin embargo, existen varias obras que permiten la intercepción de los flujos de aguas residuales en territorio mexicano para su posterior conducción al mar a 9 kilómetros al sur de la línea fronteriza. La tabla siguiente muestra las subcuencas de aportación dentro del municipio de Tecate.

Tabla 3. Subcuencas de aportación al sistema de alcantarillado

No. de la subcuenca	Nombre de la subcuenca
1	Arroyo Tecate
2	Carrizo
3	Valle de las Palmas parte baja
4	Valle de las Palmas parte alta
5	Rumorosa norte
6	Rumorosa
7	Rumorosa este

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 3. Plano de cobertura del sistema de alcantarillado sanitario



Fuente: Elaboración propia, 2020.

El sistema de alcantarillado sanitario tiene una longitud aproximada de 317 kilómetros, con diámetros que varían de 20 hasta 76 centímetros. A partir de los noventa se empezó a utilizar tuberías de PVC, sin embargo, las redes construidas previamente, de concreto, presentan serios problemas de corrosión y azolve por rebasar su vida útil, particularmente en la zona central de Tecate, donde algunas redes tienen más de 30 años de uso.

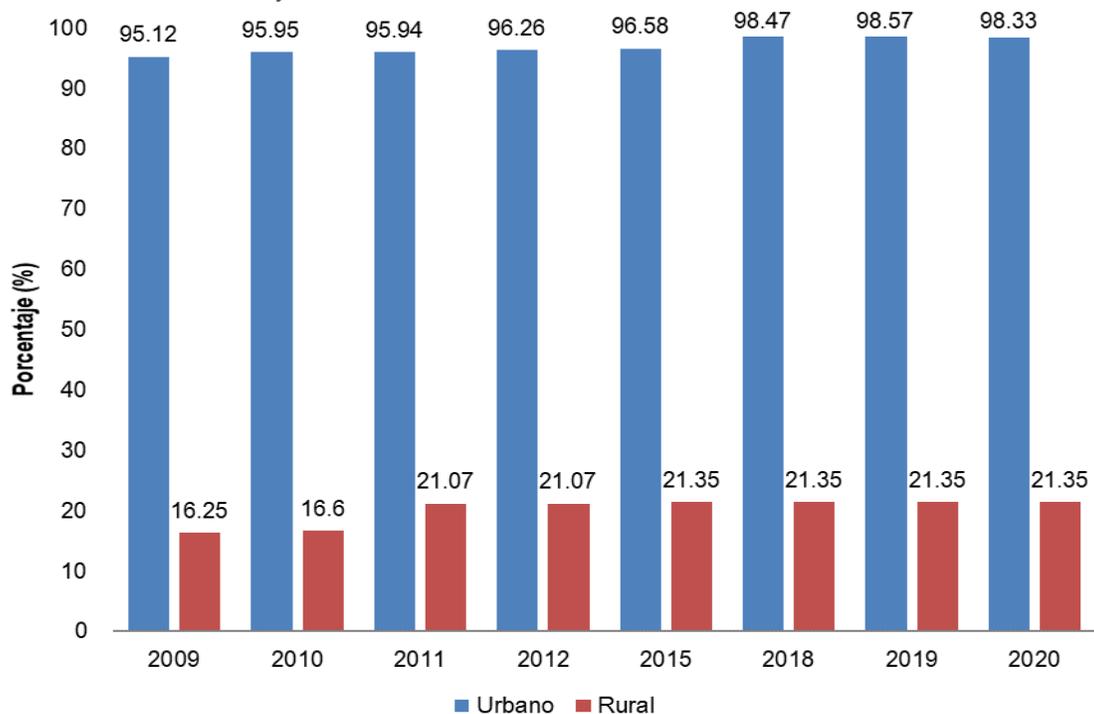
La existencia de tubería que ha rebasado su vida útil representa el problema más serio del alcantarillado sanitario, ya que constituye un riesgo de salud pública al ocasionar fugas y derrames que contaminan el agua, el suelo y el medio ambiente.

La expansión urbana no se ha visto acompañada por un crecimiento igual en la dotación de servicios básicos como agua potable y alcantarillado sanitario; así mismo, la urbanización ha reducido las áreas naturales de infiltración, que repercute en los tiempos de concentración de los escurrimientos que generan las lluvias mayores, debido al incremento de las superficies ocupadas por construcciones y vialidades pavimentadas, ocasionando avenidas de tránsito rápido, que descienden súbitamente por las cuestas lisas de las vialidades, ocasionando acumulaciones excesivas de agua en las partes bajas. La cobertura de alcantarillado en el municipio de Tecate ha permanecido constante en los últimos años, en la siguiente tabla se muestra el comportamiento de la población servida.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 4. Porcentaje de cobertura de alcantarillado sanitario en Tecate



Fuente: Indicadores gerenciales, CESPT 2020.

1.1.1.2 Red primaria de alcantarillado (Colectores y subcolectores principales).

La red de colectores y subcolectores que conforman el sistema de alcantarillado tiene una longitud de más de 45.5 kilómetros, con diámetros que varían de 30 hasta 76 cm está constituida por tuberías de concreto simple, concreto reforzado, polietileno y PVC, con diámetros que van desde 25 hasta 76 centímetros.

Una de las razones de los derrames que llegan a los cauces, son los taponamientos en los subcolectores y colectores, causados en parte por los colapsos que obstaculizan el flujo de agua y derivan en derrames por los pozos de visita; situación que se agudiza en la infraestructura que ha rebasado su vida útil.

Tabla 4. Principales colectores y subcolectores.

Colector	Longitud (m)	Área de influencia
Colector Escorial	1,500	Escorial, Ecochumá
Subcolector Bella Vista	876	Bella Vista, Lomitas del Cuchumá
Colector Bella Vista	1,153	Chávez, Chávez (Palmillas), Solidaridad, Ampliación Colinas del Cuchumá, Colias del Norte
Colector Norte	2,297	Downey, Federal, Romero, Zorrilla, Infonavit Hacienda, Moderna, Rancho González, Espinoza, Prohogar, La Viñita
Colector Nopalera	5,782	Ampliación Descanso, El Jardín Este, Valle Verde, Flores Magón, Santa Fe, Militar, Emiliano Zapata, Mirador I
Colector Sur	4,080	Encanto Norte, Encanto Sur, Plaza Encino, XII Ayuntamiento, Valencia
Subcolector Hidalgo	1,769	Esteban Cantú, Pliego, Primera Sección, Infonavit Industrial
Subcolector Santana	541	
Colector Descanso	4,185	Descanso, La Nopalera, Jardines del Río, Fundadores, Luis Donald Colosio, Terrazas del Río, Andalucía, San José
Colector Cuauhtémoc I	1,184	Cuauhtémoc
Colector Cuauhtémoc II	897	

Colector	Longitud (m)	Área de influencia
Colector Aeropuerto	3,539	Escudero, Moctezuma, La Bondad, Membrillos, Tanama, Granjas Garzón
Colector Santa Anita	1,362	Santa Anita PA y PB, Tepeyac, Piedra Angular
Subcolector Maclovio Herrera	1,197	Maclovio Herrera, El Mirador II
Colector 1ro de Mayo	1,196	Subcolector Industrial
Subcolector Paraíso	901	Infonavit Paraíso, Francisco Villa, Infonavit San Jorge
Colector Benito Juárez	798	Benito Juárez
Subcolector Loma Alta	682	Braulio Maldonado
Subcolector Loma Alta II	314	Loma Alta, Infonavit Loma Alta
Subcolector Morelos	1,292	Morelos, Emiliano Zapata II, Emiliano Zapata, Pedregal, Rincón del Paraíso
Colector Lázaro Cárdenas	1,669	Lázaro Cárdenas, Miguel Alemán, Burócratas, Guajardo, Lázaro Cárdenas PB
Subcolector Industrial	1,614	Aldrete, Industrial, Arroyo, Parque Industrial Tecate, 1ro de Mayo, Libertad
Colector San Pablo	5,814	San Pablo, La Sierra de Tecate, Laderas de Tecate, Villas del Yaqui, Hacienda Tecate
Subcolector El Yaqui	477	Villas del Yaqui
Subcolector Mayab	474	Mayab

Fuente: CESPTE, 2020.

Ilustración 5. Plano de la red primaria de alcantarillado sanitario.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

1.1.1.3 Sitios de descarga y disposición final.

Los puntos de las descargas de las aguas residuales tratadas se ubican normalmente aguas abajo del sistema de tratamiento de cada una de las PTAR, salvo algunas excepciones, para el caso de la PTAR de Tecate, el cuerpo receptor final, es el río del mismo nombre y para la PTAR El CERESO, es un arroyo innominado que se ubica aguas abajo de dicha instalación, esta PTAR y su descarga se encuentran en una cuenca que no tiene un impacto trasfronterizo, atendiendo exclusivamente al Centro de Readaptación (CERESO). En la siguiente tabla se muestran las coordenadas de descarga que se encuentran autorizados por la CONAGUA.

Tabla 5. Relación de permisos de descargas de las PTAR otorgados a la CESPTE

PTAR	Título	Fecha de registro	Cuerpo receptor	Gasto autorizado l/s	Coordenadas	
					Latitud	Longitud
Tecate	01BCA100303/01HSDA14	07-mar-96	Arroyo Tecate	250	32°33'20.0000"	-116°39'00.0000"
CERESO	01BCA150164/01ERDA17	25-feb-13	Arroyo Coplamar	27.5	32°29'12.1000"	-116°14'54.1000"

Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA.

1.1.1.4 Sistemas de bombeo principales.

El sistema de alcantarillado sanitario trabaja en su mayor parte por gravedad, con la excepción de algunas zonas que por su orografía requiere de sistemas de bombeo para conducir el agua residual hacia un colector principal o a la planta de tratamiento, en la siguiente tabla se muestran los principales cárcamos que opera la CESPTE.

Tabla 6. Cárcamos de bombeo de aguas residuales en operación

No.	Nombre	Colonia	Tipo	Elev (m)	Cap (hp)
1	Cárcamo Escudero	Rancho La Rinconada	Enterrado	493.32	44.5
2	Cárcamo Rincón	Rincón Tecate	Enterrado	486.32	20
3	Cárcamo La Joya	La Joya	Enterrado	499.00	15
4	Cárcamo El Bajío	Parque Industrial El Bajío	Enterrado	442.00	50
5	Cárcamo Colosio	Luis Donald Colosio	Enterrado	544.32	3
6	Cárcamo Libertad	Libertad	Enterrado	618.94	15
7	Cárcamo M. Herrera	Maclovio Herrera	Enterrado	599.23	15
8	Cárcamo La Sierrita	La Sierrita	Enterrado	645.00	25
9	Cárcamo San José (Rosales)	San José	Enterrado	546.85	0.5
10	Cárcamo Solidaridad (Colinas)	Ampliación Colinas	Enterrado	556.54	7.5
11	Cárcamo Mirador	El Mirador	Enterrado	530.21	44.5
12	Cárcamo Santa Fe	Santa Fe	Enterrado	618.99	1

Fuente: Elaboración propia con información de CESPTE, 2020.

Ilustración 6 Cárcamo Bajío



Fuente: Propia, 2020.

La fotografía anterior, muestra parte del cárcamo El Bajío, siendo éste el cárcamo más grande que opera la CESPTE, y es el único que cuenta con planta de emergencia y lavador de gases. Este cárcamo



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

da servicios exclusivamente al Parque Industrial del mismo nombre, siendo también el único que se encuentra fuera de la subcuenca que drena al arroyo Tecate.

Ilustración 7. Cárcamo Libertad



Fuente: Propia, 2020.

Ilustración 8. Cárcamo Colosio



Fuente: Propia, 2020.

Ilustración 9 Cárcamo Escudero.



Fuente: Propia, 2020.

Ilustración 10 Cárcamo La Joya.



Fuente: Propia, 2020.

Ilustración 11 Cárcamo El Rincón



Fuente: Propia, 2020.

Ilustración 12 Ubicación de los cárcamos de bombeo



Fuente: Elaboración propia, 2020.

1.1.1.5 Volúmenes y tipo de aportaciones de aguas residuales

La principal aportación de agua residual a la PTAR Tecate es de origen doméstico, sin embargo, existen grandes empresas que pueden afectar el sistema de tratamiento, ya sea por carga orgánica



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

o por algún otro parámetro fuera de norma como es el potencial de Hidrogeno (pH) además, se cuenta con descargas puntuales de pipas con altas posibilidades de impactar negativamente el proceso de tratamiento biológico por el alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, grasas y aceites entre otros. El agua residual generada desglosada por el tipo de usuario se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 7. Volumen generado de agua residual por tipo de usuario

Tipo de usuario	2018	2019
	l/s	
Doméstico	110	109
Comercial	16	15
Industrial	17	17
Gobierno	5	5
Total anual	149	146

Fuente: Elaboración propia con Indicadores gerenciales, CESPTE.

1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales.

Como se ha mencionado, la topografía de la zona ocasiona que la mayor parte del agua residual fluya hacia el arroyo Tecate; el sistema de alejamiento está compuesto por las líneas de impulsión de cada uno de los cárcamos de bombeo. Para el caso del efluente de la PTAR Tecate, la descarga es directamente en el arroyo Tecate con el que colinda.

En la siguiente ilustración se muestra un esquema del sistema de alejamiento de aguas residuales, esta es recolectada por una serie de colectores y subcolectores que convergen en el arroyo Tecate hasta llegar a la planta de tratamiento, ubicada al este de la ciudad, en su recorrido existen varios cárcamos de bombeo que envían el agua hacia al sistema de alcantarillado sanitario o directamente a la planta de tratamiento. Toda el agua residual es captada en la planta Tecate, una parte del efluente es bombeado al sistema de reúso mientras la mayoría del flujo es descargado en el arroyo Tecate; dicho arroyo cruza a Estados Unidos y posteriormente vuelve a ingresar a territorio mexicano llegando a Tijuana por el arroyo Alamar.

Ilustración 13. Esquema del sistema de alejamiento de aguas residuales



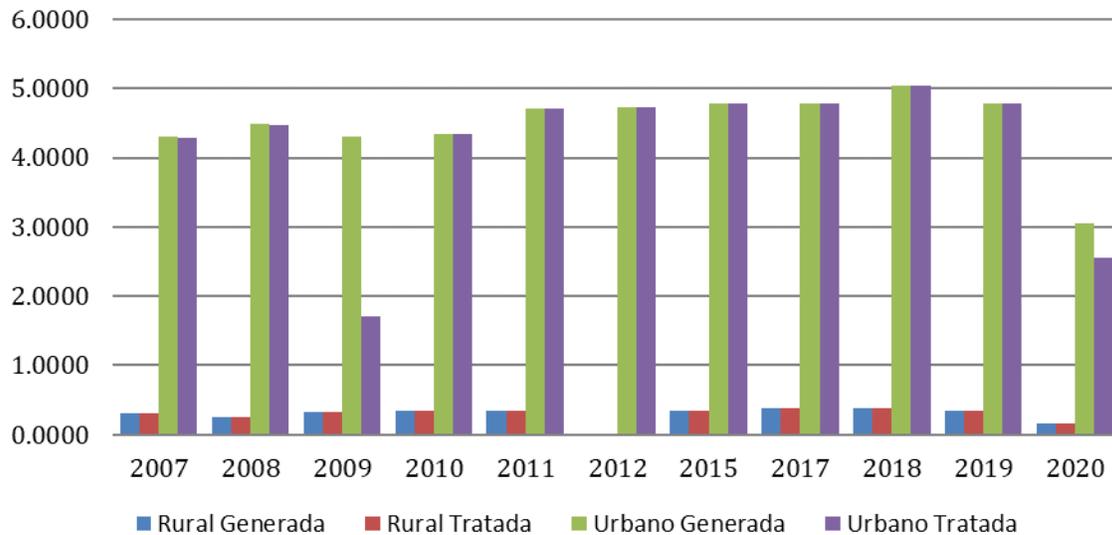
Fuente: Elaboración propia, 2020.

1.1.2.1 Cobertura de tratamiento de aguas residuales

La topografía de Tecate orienta que la ciudad drene de manera natural hacia el arroyo Tecate y, posteriormente hacia los Estados Unidos; sin embargo, existen diversas obras que permiten la captación de los flujos de agua en territorio mexicano para su conducción hasta la costa del océano pacífico a 9 kilómetros al sur de la frontera con los EE.UU.

En el municipio de Tecate se trata el 85.74% del agua generada, donde el mayor volumen tratado pertenece a la zona urbana del municipio.

Ilustración 14. Volumen de agua residual generada y tratada (millones de m³).



Fuente: Indicadores gerenciales, CESPT 2020. El año 2020 es hasta el mes de junio.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

El volumen de la zona rural corresponde a los afluentes tratados en el CERESO El Hongo exclusivamente. Todos los poblados rurales carecen del servicio de alcantarillado sanitario, por lo que en realidad la cobertura de servicio en la zona rural es nula. El reto para este municipio es incrementar la cobertura de alcantarillado sanitario en zona rural mediante la construcción y ampliación de redes de alcantarillado, así como la construcción de otra planta de tratamiento de aguas.

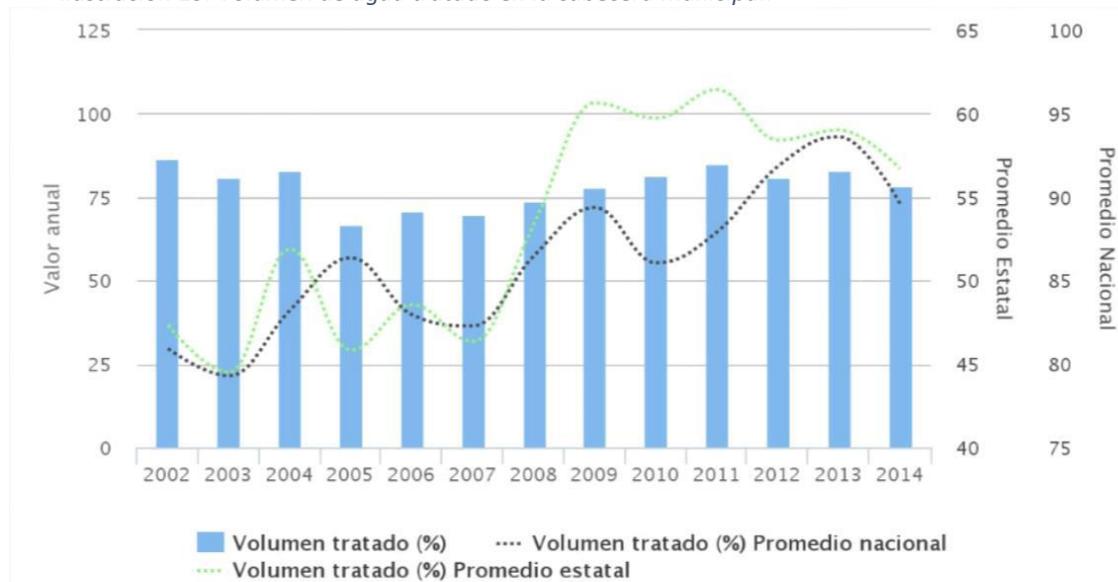
Tabla 8. Principales indicadores de Tecate

Indicadores	Población (habitantes)	Consumo (m ³)	Facturación (m ³)	Eficiencia física (%)	Población beneficiada (habitantes)	Agua residual tratada (m ³)	Agua tratada (%)
Urbano	95,685	3,437,091	2,569,239	74.75	95,437	2,142,831	84.99
Rural	24,058	545,872	463,827	84.97	18,508	132,310	100.00
Total	119,743	4,265,613	3,033,066	71.11	113,945	2,275,141	85.74

Fuente: Indicadores gerenciales, CESPTM mayo de 2020.

En lo que va del año 2020 el volumen total de agua tratada en el municipio de Tecate ascendió a 2.28 Mm³ la mayoría de ese volumen, 84.99%, es tratado en el ámbito urbano. A continuación, se muestra una gráfica de la evolución del volumen tratado en la zona urbana de Tecate.

Ilustración 15. Volumen de agua tratado en la cabecera municipal.



Fuente: Programa Hídrico del Estado de Baja California, Visión 2035.

Como puede observarse en la ilustración anterior, el volumen tratado en el ámbito urbano del municipio de Tecate desde 2008, se encuentra por debajo de la media estatal. El reto para este municipio es incrementar la cobertura de alcantarillado sanitario en zona rural mediante la construcción y ampliación de redes de alcantarillado, así como la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Tecate III, en la zona de “Agua Fría”, con una capacidad de 50 l/s (COPLADE).

1.1.2.2 Ubicación de las PTAR y áreas de aportación.

En Tecate se proporciona el servicio de saneamiento a través de dos PTAR, una localizada en la ciudad de Tecate y la otra en el Centro de Rehabilitación y Reinserción Social (CERESO) el Hongo.

Tabla 9. Plantas de tratamiento del municipio de Tecate

Planta	Dirección	Coordenadas	Tipo Tratamiento	Capacidad (l/s)	Flujo Tratado 2020 (l/s)
CERESO El Hongo	Carretera libre Tecate-Mexicali s/n, Ejido Baja California, Tecate	570,554 m E 3,594,613 m N	Lodos activados	27.5	14
Tecate	Bvd. Encinos # 510, Colonia XIII Ayuntamiento, Tecate	532,872 m E 3,601,986 m N	Filtros biológicos o rociadores o percoladores	200	152

Fuente: Programa Hídrico del Estado de Baja California, Visión 2035.

Ilustración 16 Plano de ubicación de la planta de tratamiento Tecate y área de influencia.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 17 Plano de ubicación de PTAR CERESO El Hongo y área de influencia.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

1.1.2.3 Proceso y normas que cumplen las PTAR

El municipio de Tecate cuenta con 2 PTAR, la principal con un proceso de filtros percoladores y otra con un proceso de lodos activados, en la tabla siguiente se muestran las capacidades y normas para las cuales fueron diseñadas.



Tabla 10. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por CESPTE

Nombre de la planta	Inicio de operación	Capacidad de tratamiento (l/s)	Norma de diseño	Norma que debe Cumplir
Tecate	1975	200.0	NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-001-SEMARNAT-1996
CERESO El Hongo	2002	27.5	NOM-003-SEMARNAT-1996	NOM-001-SEMARNAT-1996

Fuente: CESPTE, 2020.

La planta de tratamiento de aguas residuales más importante es la de la ciudad de Tecate, por sus dimensiones y población atendida con tratamiento biológico a base de filtros percoladores, la cual cuenta con los siguientes elementos.

Pretratamiento o desbaste

La primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento es la operación de desbaste misma que está integrada principalmente por rejillas y desarenadores. Una rejilla es un elemento con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener sólidos existentes en el agua residual. El desarenado se proyecta para la separación de arenas, término que engloba a las arenas, gravas cenizas y cualquier otro material pesado cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea considerablemente superior al de los sólidos putrescibles presentes en el agua residual.

Sedimentadores primarios

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente.

Tanque Imhoff el proceso de eliminación de sólidos sedimentables y de digestión anaerobia de los mismos en un tanque Imhoff es similar al proceso que se produce en una fosa séptica. La diferencia radica en que el tanque Imhoff consiste en un tanque de dos pisos en el que la sedimentación se produce en el compartimento superior y la digestión de los sólidos en el inferior

Filtro percolador

Un filtro percolador o filtro rociador consiste en una estructura de material granular o material de soporte a través del cual se hace pasar un efluente de aguas residuales previamente clarificadas, mediante un tratamiento primario, los filtros percoladores, al igual que otros tratamientos secundarios, constan de tres elementos básicos, medio filtrante, sistema de distribución y sistema de bajo dren. Para el caso de la planta de Tecate el medio filtrante origen estaba constituido por rocas, en la actualidad cuenta con medio filtrante plástico. La materia orgánica presente en el agua residual se degrada por la acción de la población de microorganismos adherida al medio, la materia orgánica del líquido es adsorbida en la película biológica.

Sedimentación secundaria

Sedimentador secundario es una estructura donde los lodos generados (DBO_5 insoluble) se precipitarán por gravedad, el agua clarificada fluirá sobre vertedores dentados en forma de "V" (acero inoxidable), que se encontrarán en el punto más alejado del clarificador, hacia un canal de



recolección, el lodo sedimentado es enviado a tanques espesadores para luego ser enviados al sistema de manejo de lodos cuya función es, facilitar con ello su posterior deshidratación y disposición final.

Desinfección

El sistema de desinfección es la etapa final, previa a la descarga del agua tratada a un cuerpo receptor. La desinfección se puede realizar utilizando cloro-gas, dióxido de cloro o solución concentrada de hipoclorito de sodio por medio de luz ultravioleta (UV) como agente desinfectante, para el caso de la planta de Tecate la desinfección se realiza mediante la adición de cloro gas. El agua procedente del clarificador secundario pasa a un tanque de contacto de cloro, cuyo objetivo principal es poner en contacto a los microorganismos patógenos con el cloro.

Manejo de lodos

La planta cuenta con un sistema de manejo de lodos consistente en un equipo de espesado los que hacen la función de concentrar los sedimentos facilitando el manejo. Con la adición de polímero y el paso por el equipo se pueden llegar a concentraciones de hasta el 80% de humedad. Al no contar con un sistema de digestión (aerobio o anaerobio) los lodos producidos por el sistema (primarios y secundarios) no están estabilizados lo que desincentiva al reúso como mejorador de suelos, por ello que se ha contratado el servicio de disposición por medio de una empresa privada (GEN).

Calidad de las aguas residuales tratadas

Como parte del control para que la PTAR cumplan con los parámetros que establecen las normas (NOM-001-SEMARNAT-1996), continuamente se monitorea (2 muestreos al mes) la calidad del agua residual, tanto del afluente como el efluente de cada una de las PTAR. En las siguientes tablas se presenta la información de la calidad promedio para el 2019 del efluente de las PTAR del área de estudio.

Tabla 11. Calidad de agua del efluente de las PTAR de Tecate (promedio 2019)

PTAR	SST (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)
Tecate	25	57	153	16.0
El Hongo	20	20	80	5.44

Fuente: CESPTE, 2020.

1.1.2.4 Capacidad instalada y operación actual.

En el área de estudio existen dos PTAR de diferente capacidad. Una trata las aguas generadas por la cabecera municipal de Tecate, mientras la otra es exclusiva para las aguas residuales generadas por el Centro de Readaptación Social ubicado en el poblado El Hongo (Cereso El Hongo).

Tabla 12. PTAR que operan en Tecate

Nombre de la PTAR	Gasto de diseño (l/s)	Gasto de operación (l/s)
Tecate	200.0	152
Cereso El Hongo	27.5	11
TOTAL	227.5	163

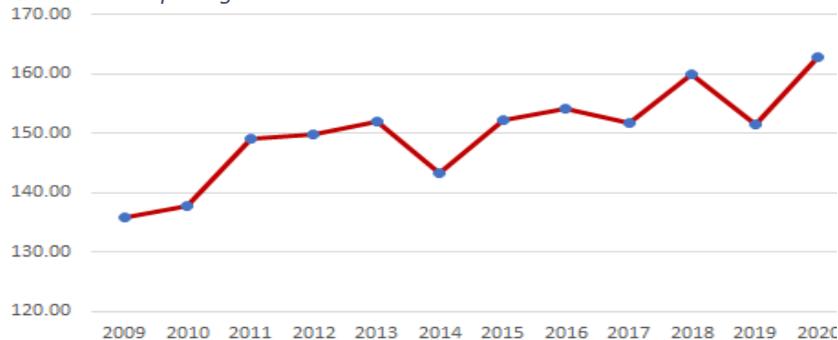
Fuente: CESPTE, 2020



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

El caudal que ingresa a la PTAR Tecate ha tenido aumentos graduales durante los últimos años, esto se debe principalmente al crecimiento en los sistemas de recolección, a continuación, se presenta la gráfica de caudales que ingresan a la PTAR del 2009 al 2020.

Ilustración 18 Caudales que ingresan a la PTAR Tecate



Fuente: CESPTE, información a junio de 2020.

En la ilustración anterior se observa que el año que mayor caudal ingresó a la PTAR fue el 2018, comparando este año con el 2009, solo se tuvo un incremento de 24 l/s, es decir, en los últimos 10 años únicamente se ha incrementado el 17% el caudal tratado por dicho sistema. Sin embargo a junio de 2020 se observa nuevamente un pico atípico, el cual deberá ser observado al cierre del año y en caso necesario ajustar en un futuro la proyección de caudales de aguas residuales.

1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada.

Uno de los mayores retos para las grandes ciudades fronterizas como Tecate es garantizar el suministro de agua potable para la demanda actual y prever la del futuro. El crecimiento natural de Tecate y la carencia de fuentes locales de agua dulce, ha originado el trasvase del líquido con la construcción de obras como el acueducto río Colorado-Tijuana.

Sin duda una de las principales estrategias para el manejo sustentable del agua en cualquier ciudad con estas características, es el reúso de las aguas residuales tratadas en aquellas actividades donde por su naturaleza no requieran de calidad potable, permitiendo reducir significativamente las tendencias de crecimiento de la demandas de agua de primer uso, sin poner en riesgo el crecimiento socioeconómico de Tecate, ni deteriorar el medio ambiente y su capacidad de regeneración; se busca pues que, a través de acciones como el reúso, el componente ambiental sea un factor importante en el aprovechamiento sustentable del recurso.

1.1.3.1 Cobertura de red de reúso.

En la ciudad de Tecate se está aprovechando parte del efluente de las aguas residuales tratadas de la PTAR Tecate para ser utilizado en el reúso ecológico en el arroyo Tecate (línea morada). Esta infraestructura de reúso está compuesta por una línea de conducción que inicia en la planta de tratamiento hasta el fraccionamiento Andalucía, la cual conduce 20 l/s, donde una parte se infiltra, y el otro escurre por el arroyo, de igual manera se reúsa un volumen significativo en el mantenimiento de los humedales que se ubican a un costado de la misma PTAR. A continuación, se muestra los volúmenes reusados en el periodo del 2011 al 2019.

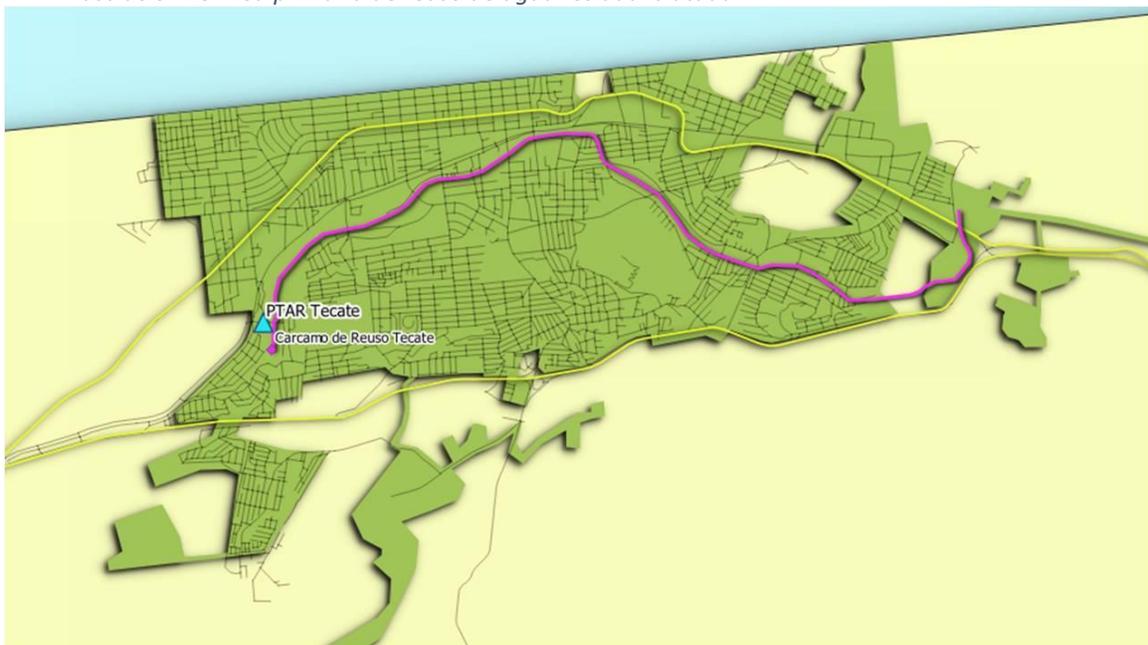
Tabla 13. Volúmenes de agua reusados en el municipio de Tecate (l/s)

Origen	Tipos de reúso	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PTAR Tecate	Riego áreas verdes	1.2	1.1	1.1	1.4	1.1	1.3	1.3	2.2	2.2
PTAR Tecate	Camión cisterna	0.2	0.6	0.4	0.4	0.6	0.9	0.3	0.4	0.1
PTAR Cereso	Camión cisterna	2.8	2.6	0.2	4	0.4	0	0	0.7	0
PTAR Tecate (Línea morada)	Uso ambiental	0	0	0	0	0	0	0	17.4	23.5
PTARA Tecate	Humedales	35.7	36.5	37.5	38.2	44.1	45.3	49.2	43.3	42.4
Porcentaje de reúso										
PTAR Tecate	Riego áreas verdes	0.9%	0.8%	0.7%	0.9%	0.7%	0.9%	0.9%	1.4%	1.5%
PTAR Tecate	Camión cisterna	0.1%	0.4%	0.3%	0.3%	0.4%	0.6%	0.2%	0.3%	0.1%
PTAR Cereso	Camión cisterna	29.2%	28.6%	1.9%	39.7%	4.2%	0.0%	0.0%	5.8%	0.0%
PTAR Tecate (Línea morada)	Uso ambiental	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.9%	15.5%
PTARA Tecate	Humedales	26.3%	26.5%	25.2%	25.4%	29.0%	31.7%	32.4%	27.1%	28.0%
Total		56.5%	56.3%	28.1%	66.3%	34.3%	33.2%	33.5%	45.5%	45.1%

Fuente: Indicadores gerenciales, CESPT 2020.

Como se puede observar, una buena parte del volumen reusado es destinado al mantenimiento de humedales, así como para la restauración del arroyo Tecate. En la siguiente ilustración se muestra el trazo de la línea morada que descarga en la parte alta del arroyo Tecate.

Ilustración 19. Red primaria de reúso de agua residual tratada



Fuente: Elaboración propia, 2020.

1.1.3.2 Calidad y uso de los efluentes.

Las plantas de tratamiento con que cuenta el municipio de Tecate tienen sistemas de tratamiento diferentes por lo que las calidades de sus efluentes difieren por la naturaleza de los procesos. La planta de tratamiento Tecate a base de filtros percoladores está diseñada para dar cumplimiento a la NOM 001 SEMARNAT-1996 (agua para disponer a un arroyo), la planta El Hongo está diseñada para dar cumplimiento a la NOM-003 SEMARNAT-1997 para reúso.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La planta de tratamiento Tecate trata 152 l/s aprovechando parte de su descarga (42.4 l/s) en la alimentación de un humedal aledaño a la planta (uso ambiental); también mediante el sistema de reúso a través de una estación de bombeo y línea morada de 9 kilómetros de longitud se envían 23.5 l/s al arroyo Tecate para infiltración y mejoramiento de la imagen urbana.

La planta del CERESO genera un efluente de 14 l/s, el cual es descargado al arroyo Coplamar del que solo 0.1 l/s del efluente es utilizado para el riego, el resto del agua se filtra de manera natural en la zona de descarga.

1.1.4 Generalidades

1.1.4.1 Políticas de Operación

Las condiciones topográficas de la ciudad de Tecate provocan que cualquier escurrimiento pluvial, de agua residual, y/o de agua tratada, tengan un impacto en la ciudad de Tijuana o en los Estados Unidos, incrementando las aportaciones al río Tijuana, por lo que se han establecido políticas de operación que permiten eliminar o minimizar el impacto de la planta debido a problemas operacionales, propios de un sistema de tratamiento, para lo cual se han establecido procedimientos de operación de atención periódica tendientes a proteger la infraestructura, así como minimizar estos impactos.

Se tiene Manuales de procedimientos para cada uno de los departamentos que constituyen el Organismo, en estos se describen las actividades que realiza cada una de las áreas, a continuación, se enlistan cada uno de estos.

Tabla 14. Listado de manuales de Procedimiento por departamento

No.	Departamento	Número de manual
1	Atención al Público	MAPC-01
2	Auditoría Interna	MAID-02
3	Cobranza	MCOC-03
4	Comunicación Social	MCSO-04
5	Contabilidad	MCOA-05
6	Control Presupuestal	MCPA-06
7	Desarrollo Institucional	MDID-07
8	Electromecánica	MEMT-08
9	Facturación	MFAC-09
10	Estudios y Proyectos	MEPT-10
11	Informática	MINA-11
12	Jurídico	MAPC-12
13	Licitación y Control de Obra	MLIT-13
14	Operación y Mantenimiento	MOMT-14
15	Padrón de Usuarios	MPUC-15
16	Recursos Humanos	MRHA-16
17	Promoción Social	MPSC-17
18	Tratamiento de Aguas Residuales	MTAT-18
19	Servicios Generales	MSGA-19
20	Sub-recaudación de Rentas	MSRD-20
21	Supervisión de Obra	MSOT-21

Fuente: CESPTE, 2020.

En lo que se refiere a las PTAR, se cuenta con un manual de Operación y Mantenimiento en el cual se describen las instrucciones al personal de operativo de cada uno de los procesos de tratamiento de las aguas residuales, a continuación, se describen los procedimientos por área de trabajo:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1. Limpieza de Rejillas
2. Limpieza de Cribas
3. Limpieza de Canales
4. Sedimentador Primario
5. Tanque Imhoff
6. Purgado de Natas
7. Sedimentación Secundaria
8. Desinfección
9. Medición de Flujo
10. Tratamiento de Lodos
11. Espesado de Lodos
12. Cambio de Tanque de Gas Cloro

1.1.4.2 *Derechos de vía y tenencia de la tierra.*

No se recibió información del tema.

1.1.4.3 *Costos de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento.*

Los costos de operación y mantenimiento son los que se generan para garantizar el buen desempeño de las operaciones y procesos de tratamiento del agua y asegurar que las instalaciones sean operadas y mantenidas eficientemente. Los factores que determinan los costos de operación y mantenimiento de una instalación de tratamiento de aguas residuales están asociados a la complejidad de la tecnología utilizada, el tamaño de la misma y la capacidad técnica del personal.

Los procesos de tratamiento con los que cuenta la ciudad de Tecate son del tipo de lodos activados y filtros percoladores. Los procesos de lodos activados son sistemas altamente mecanizados donde el operador tiene un papel muy importante debido al número de variables que puede modificar, impactando directamente en la calidad del efluente, así como en los consumos de energía. Los procesos de película fija, como es el caso de los filtros percoladores son sistemas de tratamiento que dependen de las condiciones ambientales tales como la temperatura, viento y radiación solar sin dejar de mencionar los impactos que causa el periodo de lluvias; es por esta razón que la calidad de su descarga presenta variaciones estacionales siendo sus consumos energéticos muy estables al contar con pocos elementos de control en los que pueda intervenir el personal de operación.

El costo de operación y mantenimiento de la PTAR Tecate es de \$4.04 m³, y de la PTAR El Cereso de \$8.78 m³, donde se manifiesta claramente la economía de escala de la primera. En las tablas siguientes se presentan los costos por concepto para el 2019.

Tabla 15. Costos de operación de las PTAR de Tecate

Concepto	PTAR Tecate		PTAR El Cereso	
	Costo (pesos)	%	Costo (pesos)	%
Sueldos y salarios	6,938,982	36%	1,810,563	61%
Sustancias químicas	3,144,124	16%	309,600	10%
Acarreo y disposición de lodos	2,993,446	15%	301,980	10%
Energía eléctrica*	3,043,802	16%	-	-
Mantenimiento (preventivo y correctivo)	2,042,033	11%	415,000	14%
Cambio de equipos	373,196	2%	21,000	1%
Otras partidas	809,881	4%	809,881	3%
TOTAL	\$19,345,464		\$2,953,146	

Fuente: CESPTE, 2020. *La energía eléctrica de la PTAR El Cereso es cubierta a través del Sistema penitenciario estatal.

OBSERVACIONES

Se obtuvo información de muy buena calidad para los fines del estudio por parte del organismo operador, quien mostró un respaldo absoluto al desarrollo de los trabajos; sin embargo, se carece de información en algunos temas, específicamente en los derechos de vía y tenencia de la tierra del sistema de infraestructura de saneamiento y tratamiento.



CONCLUSIONES

Existe información muy valiosa sobre la cual se puede diseñar un valioso Programa de Saneamiento para Tecate. Sería de mucha utilidad realizar diversos estudios de planeación para sustentar la operación exitosa del organismo durante los próximos 30 años.

1.1.4.4 Tarifas e información financiera del organismo de agua y saneamiento.

Tarifa

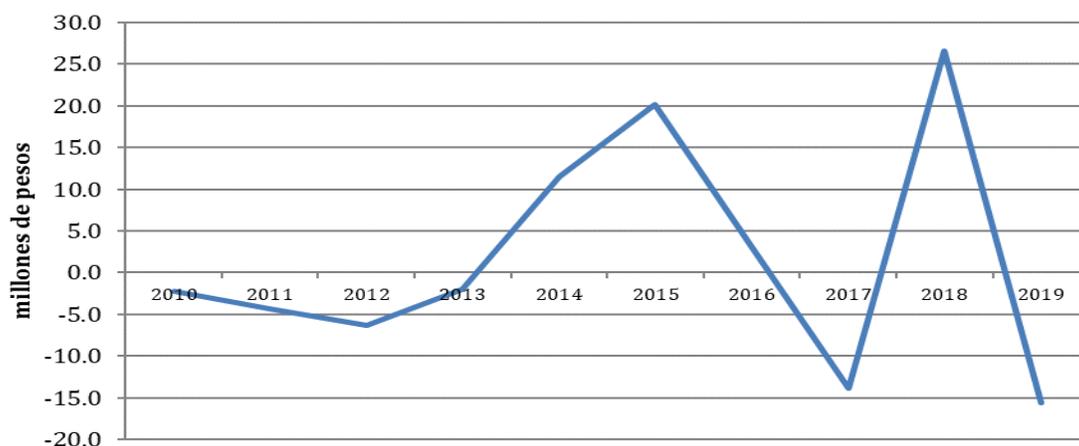
La tarifa que aplica el Organismo operador la clasifica en doméstica y no doméstica; se caracteriza por ser una tarifa escalonada y cruzada, por ejemplo, en septiembre de 2020 para un consumo de 10 m³ de un usuario doméstico la cuota es de \$133.17 y para un no residencial es de \$624.28. Generalmente se realiza un incremento uniforme en todas las clasificaciones año con año y, con la indexación que se le aplica presenta un crecimiento prácticamente lineal.

El rango de consumo de 0 a 5 metros cúbicos representa el 35% del volumen facturado y de 6 a 10 metros cúbicos el 18%, es decir, los consumos de 0 a 10 metros cúbicos concentran más de la mitad del volumen facturado (53%).

INFORMACIÓN FINANCIERA

El organismo operador presenta una tendencia inestable en el resultado de los ejercicios financieros de los últimos 10 años, como se aprecia en la gráfica siguiente. Cerca del 94% de los ingresos son por concepto de derechos que incluyen servicio de agua, tomas y descargas, saneamiento, recargos, multas y otros. Las tarifas tienen la característica de ser indexadas, sin embargo, los ingresos no son tan dinámicos para garantizar la estabilidad financiera. En el rubro de egresos el organismo operador tiene una alta sensibilidad al comportamiento de la tarifa eléctrica, en especial la utilizada para la conducción del agua en bloque desde Mexicali, B. C.; en el 2005 el agua de trasvase desde el río Colorado fue el 56%, para 2019 subió considerablemente al 76%.

Ilustración 20. Resultado del ejercicio.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CESPTE, 2020.



1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento.

1.2.1 Estado actual de la infraestructura de saneamiento.

1.2.1.1 Red de alcantarillado sanitario.

La ciudad de Tecate tiene algunos de problemas típicos de saneamiento, ya sea por la antigüedad de algunas líneas de alcantarillado y por la carencia de servicio de alcantarillado en diferentes zonas. No obstante, la tendencia creciente del servicio de alcantarillado, su desarrollo no ha sido suficiente para atender las necesidades sociales y ambientales especialmente en la zona rural, donde no hay cobertura. La distribución espacial de la infraestructura, centralizada geográficamente en la zona centro y norte de la ciudad, ha originado que la población de la periferia sufra el rezago del servicio. Aunado a ello, las descargas de aguas residuales de esa población son un factor contaminante del entorno, que también impacta negativamente la salud y bienestar social.

Por otro lado, la ineficiencia en la operación y mantenimiento del sistema contribuye al vertimiento de aguas residuales sobre los cañones y cauces naturales de la ciudad. Además, el limitado presupuesto dedicado a la rehabilitación y reposición de las tuberías ha ocasionado que el organismo operador no haya podido dar respuesta al déficit generado y la demanda que ha superado la capacidad de respuesta.

Dos de los problemas más importantes asociados al funcionamiento de la red de alcantarillado de la ciudad son la corrosión de las alcantarillas e instalaciones complementarias y el control de las emanaciones de gases malolientes en las alcantarillas. Ambos problemas están fuertemente relacionados a la producción de altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno condición que es favorecida por las altas concentraciones de sulfatos de la fuente de suministro de agua potable (río Colorado).

Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno es un gas que está presente tanto en la atmósfera del interior de las alcantarillas como en estado disuelto en el agua. Este gas es el responsable del olor a huevos podridos, el sulfuro de hidrógeno puede ser oxidado a ácido sulfúrico por acción de bacterias que se desarrollan en las paredes de los conductos, lo cual da lugar a importantes problemas de corrosión, el gas es tóxico para los seres humanos.

El sistema de alcantarillado sanitario, principalmente el construido antes de 1990, presenta un gran deterioro y desgaste de sus paredes, siendo las crestas de los conductos las más afectadas; debido a diverso factores como la mala calidad de las tuberías de concreto, las pendientes mínimas y en algunos casos hasta contrapendientes, la falta de limpieza, desazolve, altas concentraciones de materia orgánica y sulfatos en las aguas residuales (debido al alto costo del agua potable la población reduce su consumo), aumentando la concentración de carga orgánica en las aguas residuales que se vierten al sistema de alcantarillado sanitario.

Tabla 16. Principales colectores y subcolectores

No.	Nombre	Longitud (m)	Material	Estado
1	Colector Escorial	1,500	PVC	■
2	Subcolector Bella Vista	876	PVC	■
3	Colector Bella Vista	1,152.52	Concreto	■
4	Colector Norte	2,297.16	PVC	■
5	Colector Nopalera	5,781.84	Concreto	■



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

No.	Nombre	Longitud (m)	Material	Estado
6	Colector Sur	4,079.63	PEAD	Operando correctamente
7	Subcolector Hidalgo	1,768.68	PVC	Operando correctamente
8	Subcolector Santana	541.20	PVC	Operando correctamente
9	Colector Descanso	4,185.02	PVC	Operando correctamente
10	Colector Cuauhtémoc I	1,183.59	PVC	Operando correctamente
11	Colector Cuauhtémoc II	896.98	PVC	Operando correctamente
12	Colector Aeropuerto	3,539.00	PVC	Operando correctamente
13	Colector Santa Anita	1,362.32	PVC	Operando correctamente
14	Subcolector Maclovio	1,196.90	PVC	Operando correctamente
15	Colector 1ro de Mayo	1,196.00	PVC	Operando correctamente
16	Subcolector Paraíso	901.01	PVC	Operando correctamente
17	Colector Benito Juárez	797.75	PVC	Operando correctamente
18	Subcolector Loma Alta	681.67	PVC	Operando correctamente
19	Subcolector Loma Alta II	313.77	PVC	Operando correctamente
20	Subcolector Morelos	1,291.58	Concreto	Atención inmediata
21	Colector Lázaro Cárdenas	1,668.97	Concreto	Atención inmediata
22	Subcolector Industrial	1,614.16	Concreto	Atención inmediata
23	Colector San Pablo	5,815.73	PVC	Operando correctamente
24	Subcolector El Yaqui	476.63	PVC	Operando correctamente
25	Subcolector Mayab	473.75	PVC	Operando correctamente

Fuente: CESPTE, 2020.

- Simbología
- Operando correctamente
 - Atención a corto plazo
 - Atención inmediata

Se han identificado cinco colectores y subcolectores construidos con tuberías de materiales que ya cumplieron con su vida útil, los cuales requieren de atención inmediata para su reposición. El resto de los colectores no tienen problemas de desgaste y cuentan con un remanente de vida útil dentro del horizonte de planeación.

Ilustración 21. Colectores en mal estado



Fuente: Elaboración propia, 2020.



1.2.1.2 Plantas y cárcamos de bombeo de aguas residuales

El sistema de alcantarillado trabaja en su mayor parte por gravedad, con la excepción de las líneas de conducción de aguas residuales hacia los sitios de tratamiento, que operan por bombeo. La topografía de la ciudad ocasiona que la mayoría de las aguas residuales fluyan a la zona baja de la cuenca Tecate con destino a la PTAR Tecate, solo una pequeña fracción de esta cuenca queda fuera del área de influencia de la planta, por lo que, para atender esta zona se han construido 12 cárcamos de bombeo.

Una constante en el equipamiento de los cárcamos de bombeo es la falta de mantenimiento y reemplazo de los equipos electromecánicos. La falla continua de estos equipos se debe principalmente a que el sistema de pretratamiento es deficiente, por carecer de elementos básicos como las rejillas y desarenadores de respaldo, con dimensiones adecuadas.

Se observa la ausencia de equipos de respaldo para generación de energía eléctrica, que permita continuar operando a pesar de la falta de suministro de energía por la Comisión Federal de Electricidad.

1.2.1.3 Planta de tratamiento de aguas residuales.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tecate inició operaciones en 1975 con una capacidad de tratamiento de 100 l/s, su diseño inicial constaba de un pretratamiento, sedimentación primaria a base de un tanque Imhoff, con filtro percolador de piedra como tratamiento biológico, sedimentación secundaria y desinfección con cloro gas.

En 1995 se amplió la capacidad a 200 l/s construyendo un sedimentador primario y un sedimentador secundario, sin embargo, a pesar de este aumento en la capacidad, el efluente de la planta no lograba mantener la calidad requerida en la norma; siendo hasta el 2005, cuando se efectuó una rehabilitación integral de todo el sistema de tratamiento; en esta obra se realizó el cambio del volumen y tipo de medio filtrante, de roca a uno sintético y se integró al proceso la línea de tratamiento de lodos. En el 2014 se construyó el sistema de espesado de lodos.

Las principales unidades de procesos que integran la PTAR, son las siguientes: pretratamiento donde se elimina basura gruesa, arena y sólidos mayores a 2 mm, después se cuenta con sedimentación primaria seguida de un tratamiento biológico a base de filtros percoladores para posteriormente pasar por una sedimentación secundaria, terminando con una desinfección del agua tratada. Para los lodos se cuenta con un espesado mecánico, una digestión aerobia y un desaguado a base de un filtro banda y su disposición final. A continuación, se describen con mayor detalle las condiciones en las que se encontró trabajando dicho sistema.

Pretratamiento. El pretratamiento consiste en la utilización de rejillas para la remoción de sólidos gruesos, así como de canales para desarenación. Esta sección está dividida en tres módulos. El sistema de entrada permite que en caso de gastos excedentes (por temporada de lluvias o paros programados) a la planta, parte del flujo pueda ser derivado directamente al arroyo Tecate.

Las aguas residuales que llegan a la planta se dividen en tres canales desarenadores, cada uno de los cuales tiene una compuerta de entrada, que permite aislar en caso de mantenimiento. En cada canal existen dos rejillas en serie, para la limpieza manual, con aberturas de 50.8 y 25.4 mm respectivamente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Los canales de desarenado tienen una longitud de 14.7 m, seguido de los canales desarenadores se cuenta con un medidor Parshall en cada canal, construido en concreto para la regulación de velocidad y niveles del agua, así como para la medición del agua residual de entrada, sin embargo, el flujo se mide mediante un medidor electromagnético instalado en la descarga de las bombas de agua cruda.

Posterior a la desarenación, el agua residual pasa a un cárcamo de bombeo de agua cruda y de ahí se bombea a las micro cribas para la remoción de sólidos finos, así como materia flotante que no fue retenida en la etapa anterior.

La limpieza de las rejillas se lleva a cabo diariamente, y las arenas se disponen directamente con los lodos deshidratados. Los residuos removidos se envían directamente al relleno sanitario de Playas de Rosarito para su disposición.

El tratamiento primario para cada uno de los módulos está constituido por dos unidades de diferentes tecnologías, en el tren número uno se tiene un tanque tipo Imhoff y el número dos, cuenta con un sedimentador primario tipo circular.

El tanque Imhoff. En el año 1995 se consideró que el tanque Imhoff siguiera operando como un sedimentador de alta tasa, aunque se retiraron las mamparas que le daban esta característica, de acuerdo a la evaluación realizada por el Grupo Evaluador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Estado de Baja California (GEPTAR), el cual está constituido por integrantes de los diferentes organismos, liderados por personal de la Comisión Estatal del Agua de Baja California y personal de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), determino que este sistema se encuentra subdimensionado, con una carga superficial de diseño de $85 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ y de operación $63 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ contra la recomendación de 25 a $40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$, llegando a la conclusión que la capacidad del actual tanque Imhoff, es de 50 l/s.

El sedimentador primario corresponde al tren de tratamiento número dos, la remoción esperada al igual que en el tanque Imhoff, según el manual de operación con respecto a la DBO_5 y SST es de 25 y 50 % respectivamente, es decir, este proceso se encuentra subdimensionado, las tuberías que salen de este tanque se observan dañadas, y reparadas con hule de cámara de llanta.

Ilustración 22. Tuberías con corrosión



Fuente: Propia, 2020.

En el tratamiento secundario, se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica, principal contaminante de las aguas residuales municipales, este tratamiento consta de dos filtros rociadores que utilizan las propiedades de los microorganismos que se forman en una biopelícula que se desarrolla en el medio de soporte de los filtros. Los filtros rociadores de diámetro de 25 m y un área de 490.8 m². El material de empaque de los filtros es de PVC de flujo cruzado marca Brentwood.

Ilustración 23. Filtros rociadores



Fuente: Propia, 2020.

La sedimentación secundaria se realiza en dos sedimentadores y tiene por objeto separar los sólidos suspendidos del efluente de los filtros rociadores. Los sólidos se presentan en forma de “zoogleas” y los lodos denominados “humus”, se concentran en el fondo del sedimentador. El agua ya sedimentada es recibida en una caja repartidora, que distribuye el gasto al tanque de contacto de cloro, mediante vertedores horizontales de cresta ancha con caída libre.

Ilustración 24. Sedimentador secundario.



Fuente: Propia, 2020

La desinfección, consiste en la aplicación de cloro gas en el efluente final y de esta forma reducir la población de coliformes fecales, la capacidad para aplicar dosis máximas de 10 mg/L; el tanque de contacto de cloro es de concreto con mamparas que permiten un recorrido y tiempo de contacto del agua con la solución de cloro.

Las purgas de lodos primarios y secundarios se conducen hasta una caja de distribución, el lodo pasa de la caja a dos tanques de día de donde se alimenta el equipo de espesado mecánico mediante banda y de este a dos tanques de digestión aerobia, se conduce el lodo a un filtro banda para su deshidratación, posteriormente se transportan al sitio de disposición final autorizado para tal efecto.

En cuanto a los digestores aerobios, con un volumen total de 450 m³ y profundidad de 3.0 m, el tiempo de retención se estima en 9.26 días, lo cual indica que no se logrará la digestión de al menos el 38 % de los sólidos suspendidos volátiles que indica la NOM-004-SEMARNAT-2002, estos tanques se encuentran fuera de operación. La deshidratación del lodo se lleva a cabo mediante un solo equipo de filtro banda. El lodo deshidratado se envía al relleno sanitario, propiedad de la empresa GEN. En las instalaciones de la PTAR Tecate se detectan fuertes olores, debido principalmente al manejo de lodos.

Tabla 17. Equipamiento de la PTAR Tecate

EQUIPO	Operando		Años fuera de operación
	Sí	No	
PRE-TRATAMIENTO			
Compuerta Principal (3/4 HP)			
Bomba de Agua Cruda #1 (75 HP)			



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

EQUIPO	Operando		Años fuera de operación
	Sí	No	
Bomba de Agua Cruda #2 (75 HP)			
Bomba de Agua Cruda #3 (75 Hp)			
Variadores de Frecuencia #1 (75 Hp)			
Variadores de Frecuencia #2 (75 Hp)			
Micro Cribas			
SEDIMENTACIÓN PRIMARIA			
Rastra (2HP)			
Bomba Lodos # 1			≥ 3
Bomba Lodos # 2			
Desnatadoras de tanque Imhoff			≥ 4
SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA			
Rastra #1 (1/2HP)			
Rastra #2 (1/2HP)			
Bomba Lodos # 1 (7.5HP)			
Bomba Lodos # 2 (7.5HP)			
Bomba sumergible (7.5 HP)			≥ 2
FILTROS ROCIADORES			
Filtro rociador # 1			
Filtro rociador # 2			
Bomba de Recirculación # 1 (100HP)			
Bomba de Recirculación # 2 (100HP)			
REÚSO			
Bomba de Agua tratada # 1 (10HP)			
Bomba de Agua tratada # 2 (7.5HP)			
Bomba de Agua tratada # 3 (10HP)			
Bomba de Agua tratada # 4 (10HP)			
Bomba Sumergible (3 HP)			
Sistema hidroneumático			
Medidor de flujo			
CLORACIÓN			
Clorador # 1			
Clorador # 2			
Bomba de clorador # 1			
Bomba de clorador # 2			≥ 2
TRATAMIENTO DE LODOS			
Bomba de lodos # 1 (5HP)			≥ 2
Bomba de lodos # 2 (5HP)			
Bomba de polímero			
Bombas booster (7.5 HP)			
FILTRO BANDA			
Motorreductor (3HP)			
Bomba Hidráulica (1HP)			
Sensor alineación			
Sensor banda			
Pistones tensores			
Paletas de alineación			
Paro de emergencia			≥ 2
PREPARACIÓN DE POLÍMERO			
Agitadores # 1(3HP)			
Agitadores # 2 (3HP)			
Agitadores # 3 (3HP)			
Motorreductor (1/4HP)			≥ 2
Sensores de humedad			≥ 2



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

EQUIPO	Operando		Años fuera de operación
	Si	No	
Sensor de nivel			≥ 2
Electroválvula			≥ 3
ESPESADOR DE LODO			
Agitadores # 1(3HP)			
Agitadores # 2 (3HP)			
Motorreductor dosificador de polímero #1			
dosificador de polímero # 1			
dosificador de polímero # 2			
Bomba booster lavado de banda			
Bomba de lodos #1 (3HP)			
Bomba de lodos #2 (3HP)			
LAVADOR DE GASES			
Bomba #1 (3HP)			
Bomba #2 (3HP)			≥ 1
Turbina extractor (7.5 HP)			
Dosificador #1 Sosa Caustica			
Dosificador #2 Sosa Caustica			

Fuente: Elaboración propia con información de CESPTE, 2020.

1.2.2 Pertinencia de los manuales y políticas de operación.

La importancia de contar con manuales y políticas de operación y mantenimiento en instalaciones de manejo de agua como las plantas de bombeo y plantas de tratamiento de aguas residuales radica en diversos beneficios, como son asegurar la operatividad de los sistemas, alargar la vida útil de los equipos, dar cumplimiento a la normatividad en materia de agua, hasta reducir costos de energía. Sin embargo, no es una práctica habitual, lo que pudiera generar accidentes y repercusiones en el entorno social y político como el daño a los ecosistemas y a la salud de la población, sin dejar de mencionar los impactos transfronterizos.

La creación de manuales y políticas de operación involucra una responsabilidad compartida entre el que las supervisa o proporciona el recurso y quien las debe de cumplir el manual o la política de operación, en este caso los encargados de operar y mantener los sistemas de recolección, tratamiento de aguas residuales y mantenimiento electromecánico. Contar un documento o manual que será usado para operar y mantener, asume la responsabilidad de que los métodos y procedimientos contenidos en ellos sean los más adecuados para la ejecución de las tareas que le conciernen a los operadores y mantenedores, asumiendo por tanto la responsabilidad de la idoneidad de dichos procedimientos que permitan la continuidad en la prestación del servicio y el cumplimiento de las normas por lo que no deberá salirse de los procedimientos allí establecidos.

Es responsabilidad del personal encargado de la operación, así como el de mantenimiento mantener los manuales actualizados y asegurarse de su pertinencia según lo requerido por cada instalación, siendo esta manera el camino seguro para lograr la continuidad de los servicios de saneamiento, así como la relación directa con la disponibilidad de recursos económicos que permitan dar continuidad a los requerimientos inherentes a la operación, mantenimiento y recambio de equipos. Los manuales de procedimientos con que cuenta el organismo describen al detalle el o las actividades que deben realizar para cada una de las actividades, sin embargo, en la práctica estos no resultan pertinentes, debido a que estos no describen el procedimiento que debe seguir para la reposición y/o cambio de equipos en caso de daño total o pérdida de su vida útil del equipamiento.



1.2.3 Situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra

No se obtuvo información del Organismo Operador.

1.2.4 Condiciones de los sitios de descarga y disposición final

Los sitios de descarga para las PTAR que se ubican en el Municipio de Tecate son los ríos o arroyos con los que colindan; para la PTAR Tecate, es el arroyo del mismo nombre, éste es de tipo intermitente, se introduce a EE. UU. en una sección donde se une con el río Lower Cottonwood, para posteriormente cambiar de nombre a arroyo Alamar ya en el territorio mexicano y unirse con el río Tijuana. Existen planes para impulsar mejoras en los márgenes del arroyo Tecate, lideradas por el ayuntamiento¹.

PTAR Tecate

Condiciones de descarga, cuenta con tres posibles descargas, la principal es la descarga que se realiza al arroyo Tecate, una segunda es utilizar el humedal que se tiene construido a un costado de la PTAR, con el objetivo de mejorar el agua residual descargada y una tercera opción es enviar el agua tratada aguas arriba (9km) por el arroyo Tecate, para lograr la infiltración, mediante la utilización de un cárcamo de bombeo.

El agua que es vertida al arroyo, escurre a gravedad hasta incorporarse con el arroyo Alamar, tributario del río Tijuana, siendo interceptada por las obras de PB CILA y enviada a PB 1A, para trasvasar a la subcuenca de San Antonio de los Buenos, en varias secciones de la infraestructura de alejamiento, se utiliza un canal a cielo abierto, revestido con concreto, algunas secciones de este sistema requieren rehabilitación.

Condiciones del sitio de disposición final, el punto de disposición final es el océano pacifico, previo a llegar a este punto el agua residual tratada, se mezcla antes de llegar a la playa con la descarga de la PTAR SAB y los escurrimientos de aguas residuales sin tratar de la subcuenca San Antonio de los Buenos (Tecolote - La Gloria). En el sitio de la descarga se puede observar residuos sólidos principalmente plásticos, así mismo se detecta olor característico a aguas residuales crudas, en los alrededores se encuentra ubicado el conjunto habitacional Real del Mar, de acuerdo con los resultados obtenidos en estudio² realizado en el 2019, se reportaron altas concentraciones de contaminantes cerca del punto de la descarga, los cuales disminuían conforme se aleja de este punto.

PTAR CERESO

Condiciones de descarga, se realiza mediante tubería que conduce el agua tratada hasta un arroyo innominado, a los pocos kilómetros el agua se infiltra naturalmente. El sitio de disposición es el suelo natural.

¹https://usmex.ucsd.edu/files/events/frontera-fridays/01252019_present_encauzamiento.pdf

²CESPT (2020). Proyecto de construcción y rehabilitación de La PTAR SAB. Ingeniería básica.

Ilustración 25 Punto de descarga de la PTAR Tecate al arroyo.



Fuente: Propia, 2020.

Tabla 18. Condiciones de los sitios de descarga y disposición final

Nombre de la planta	Condiciones del sitio de descarga	Condiciones del sitio de disposición final
TECATE	<p>La PTAR cuenta con tres posibles descargas, la principal es la descarga que se realiza al río Tecate, una segunda es utilizar el humedal que se tiene construido a un costado de la PTAR, con el objetivo de mejorar el agua residual descargada y una tercera opción es enviar el agua tratada aguas arriba (9km) por el río Tecate, para lograr la infiltración, mediante la utilización de un cárcamo de bombeo.</p> <p>El agua que es vertida al río Tecate, escurre a gravedad hasta incorporarse con el arroyo Alamar, tributario del río Tijuana, siendo interceptada por las obras de PB CILA y enviada a PB 1A, para trasvasarse a la subcuenca de San Antonio de los Buenos, en varias secciones de la infraestructura de alejamiento, se utiliza un canal a cielo abierto, revestido con concreto, algunas secciones de este sistema requieren rehabilitación.</p>	<p>El punto de disposición final es el océano pacífico, previo a llegar a este punto el agua residual tratada se mezcla antes de llegar a la playa con la descarga de la PTAR SAB y los escurrimientos de aguas residuales sin tratar de la subcuenca San Antonio de los Buenos. En el sitio de la descarga se puede observar residuos sólidos principalmente plásticos, así mismo se detecta olor característico a aguas residuales crudas, en los alrededores se encuentra ubicado el conjunto habitacional Real del Mar, de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio³ realizado en el 2019, se reportaron altas concentraciones de contaminantes cerca del punto de la descarga, los cuales disminuían conforme se aleja de este punto.</p>
CERESO	<p>La descarga se realiza mediante tubería que conduce el agua tratada hasta un arroyo innominado, a los pocos kilómetros el agua se infiltra naturalmente.</p>	<p>El sitio de disposición es el suelo natural.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2020.

³CESPT (2020). Proyecto de construcción y rehabilitación de La PTAR SAB. Ingeniería básica.



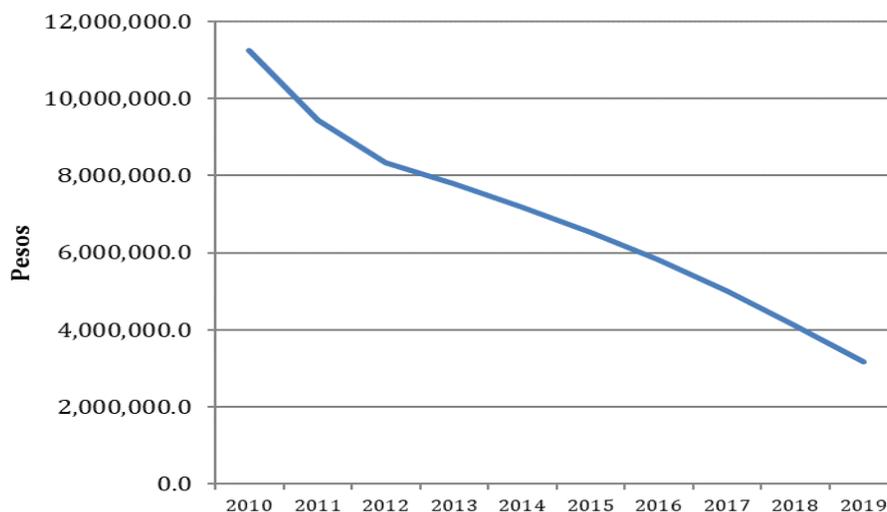
1.2.5 Costos actuales de operación y mantenimiento.

En lo referente a los costos de operación y mantenimiento de la PTAR Tecate, se tiene que para el año 2019 se tuvieron erogaciones por \$19,345,464.00, y considerando que para este mismo año 2019, se trataron 4,780,511 m³, por lo tanto el costo por metro cúbico se encuentran es de \$4.05 pesos por metro cúbico de agua residual tratada y para la PTAR CERESO, se tuvieron gastos por el equivalente a \$2,953,146.00, con un volumen tratado de 336,457m³, por lo que el costo por metro cúbico se encuentran en \$ 8.78 por metro cúbico de agua residual tratada. Las mayores erogaciones se realizaron en el pago del personal de operación (36% y 61%), seguido de sustancias químicas y el manejo de lodos, es igual de importante hacer notar que los costos de mantenimiento para ambas instalaciones fueron mayores al 11%.

1.2.6 Capacidad financiera del organismo operador.

El organismo maneja un crédito con el COFIDAN que data del año 2008 y concluye en el 2024, siendo el Gobierno del estado deudor solidario. La siguiente ilustración muestra la evolución de esta deuda.

Ilustración 26. Deuda pública a largo plazo.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CESPTE, 2020.

OBSERVACIONES

Gran parte de la infraestructura de recolección en las redes primarias y secundarias es obsoleta y ante cualquier tipo de fallas genera escurrimientos hacia el río Tecate.

Los cárcamos de bombeo se encuentran en estado crítico.

La PTAR Tecate opera fuera de la norma en algunos días.

Los manuales de operación están desactualizados.

El organismo operador presenta una alta sensibilidad financiera ante los incrementos en sus costos operativos.



CONCLUSIONES

El óptimo manejo del sistema de saneamiento contribuirá en gran medida a atender los compromisos signados en el Acta 320.

La red de recolección de agua residual representa un punto clave para el cumplimiento de los acuerdos binacionales, porque ante cualquier desperfecto el caudal llega al río Tijuana, razón por la cual amerita sea una prioridad en la ejecución de proyectos.

Para el óptimo funcionamiento de las PB es necesario poner especial atención en la operación y mantenimiento del sistema, que garantice la adecuada conducción de las aguas residuales.

Para coadyuvar a atender los compromisos estipulados en las Actas 270 y 298 es necesaria la rehabilitación de la PTAR Tecate a fin de garantizar un efluente de calidad en el río Tijuana.

Se requiere actualización de los Manuales de operación, ya que los retos y la tecnología han sufrido considerables cambios.

Para aprovechar el agua residual tratada se podría explorar la posibilidad de un segundo uso.

El organismo operador tiene escaso margen de apalancamiento, habría que explorar otras opciones.



2 El déficit de saneamiento en la región.

2.1 Comparación de capacidad de diseño contra demanda actual y futura.

En este apartado se analizarán los volúmenes de agua residual generada por la ciudad, revisando la capacidad teórica de cada una de las plantas de tratamiento y de la infraestructura primaria de alcantarillado sanitario, así como realizar una estimación de generación de agua residual para los siguientes 30 años, comparando con ello la capacidad de la infraestructura y proponiendo aquellas mejoras que se requieran para cumplir con los requerimientos técnicos, ambientales y de salud humana respecto a la recolección, tratamiento y alejamiento de las aguas residuales.

2.1.1 2.1.1. Demanda actual de saneamiento de aguas residuales.

La demanda actual del sistema de saneamiento se constata en los volúmenes de agua residual generada y captada registrada en los indicadores gerenciales del Organismo Operador; en los dos últimos años resalta el decremento en los volúmenes de agua residual generada.

Tabla 19. Gasto de agua residual generada por zona.

Zona	2018	2019
Urbana (m ³)	5,043,664	4,780,511
Rural(m ³)	379,919	336,457
Total	5,423,583	5,116,968

Fuente: CESPTE, 2020.

Derivado de lo anterior se utilizarán los volúmenes generados en 2018, ya que estos han sido los más altos registrados en el período.

Tabla 20. PTAR que operan en Tecate (2018).

Nombre de la PTAR	Gasto de diseño (l/s)	Volumen de agua residual captada (m ³)	Gasto de operación (l/s)	Déficit o superávit (l/s)
Cereso El Hongo	27.5	379,919	12.0	15.5
Tecate	200.0	5,043,664	159.9	40.1
Total	227.5	5,423,583	172.0	55.6

Fuente: CESPTE, 2020.

Las plantas de tratamiento del municipio cuentan con la capacidad necesaria para tratar las aguas residuales que se generan, sin embargo, su deterioro es muy considerable.

2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales

Para efectos de la determinación futura de la generación de agua residual con el horizonte de 2050 se consideró la proyección del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Tabla 21. Población de proyecto

Año	Tecate
2020	113,857
2021	115,534
2022	117,180
2023	118,796
2024	120,380
2025	121,935
2030	129,303
2035	136,050



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Año	Tecate
2040	141,922
2045	146,775
2050	150,487

Fuente: CONAPO, 2020.

En los indicadores de la CESPTE, maneja una población para el año 2019 de 119,128 habitantes y CONAPO para el mismo año nos da una población de 112,147, lo que nos indica una discrepancia de 6,981 habitantes. La siguiente tabla muestra la información histórica del crecimiento poblacional del municipio.

Tabla 22. Población histórica.

Año	Tecate
1910	692
1921	1,016
1930	566*
1940	1,088*
1950	6,160
1960	8,208
1970	18,091
1980	30,540
1990	51,557
2000	77,795

Fuente: INEGI, 2020. *Población correspondiente a la cabecera municipal.

Para determinar la demanda futura de saneamiento, se parte de un análisis de los indicadores de gestión de los últimos dos años, este análisis permite conocer el comportamiento de la aportación per-cápita, el cálculo partió de la recolección de agua residual en el año entre la población beneficiada al cierre del mismo año, teniéndose como resultados los datos de las siguientes tablas.

Tabla 23. Aportación per cápita en Tecate.

Concepto	2018	2019
Volumen de agua residual captada (m ³)	5,423,583	5,116,968
Población beneficiada	97,582	98,939
Aportación (l/hab/día)	152.3	141.7

Fuente: Elaboración propia con información de CESPTE, 2020.

Se propone utilizar una aportación per cápita promedio de 152 l/hab/día, para las proyecciones de generación de agua residual de la ciudad de Tecate.

Tabla 24. Generación de agua residual en Tecate.

Concepto	2020	2021	2024	2030	2050
Población	113,857	115,534	120,380	129,303	150,487
Cobertura	85.0%	85.5%	87.0%	87.6%	89.6%
Población beneficiada	96,778	98,782	104,731	113,269	134,836
Aportación per cápita (l/hab-día)	152	152	152	152	152
Generación de agua residual (l/s)	170	174	184	199	237

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Con el objetivo de evaluar la infraestructura primaria que compone el sistema de saneamiento, es necesario realizar una proyección de generación de aguas residuales por cuenca, estos flujos permitirán determinar las necesidades y dimensionamiento de la infraestructura existente y futura.

Para el área de influencia del sistema de saneamiento se consideraron dos zonas de influencia ubicadas dentro de los límites municipales de Tecate. Zona urbana y zona rural, es de mencionar que el coeficiente de retorno en zonas rurales es menor a la zona urbana, resultando la siguiente generación de agua residual.

Tabla 25. Generación de agua residual por zona

Cuenca	2020	2021	2024	2030	2050
Litros por segundo (l/s)					
Zona Urbana (Arroyo Tecate)	158	161	168	181	210
Zona Rural (resto cuencas)	2	3	5	6	10
Total	160	164	173	187	220
Metros cúbicos (m ³)					
Zona Urbana (Arroyo Tecate)	4,982,688	5,077,296	5,298,048	5,708,016	6,622,560
Zona Rural (resto cuencas)	63,072	94,608	157,680	189,216	315,360
Total	5,047,780	5,173,925	5,457,752	5,899,262	6,939,970

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La generación de aguas residuales por zona resultó diferente a la calculada por municipio, debido a que los porcentajes de cobertura en el municipio son correlacionados entre la población urbana y rural y, en el caso de las zonas las coberturas son independientes una de la otra.

Ilustración 27. Plano de cuencas hidrológicas



Fuente: Elaboración propia, 2020.

2.1.3 Comparación demanda actual y futura de colectores principales.

Los colectores considerados para los análisis corresponden al sistema de alcantarillado sanitario primario con impacto directo de escurrimientos hacia Estados Unidos de América, el análisis abarca los diferentes tramos que componen cada uno de los colectores.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 26. Análisis de la capacidad del colector Nopalera

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Pendiente (milésimas)	Capacidad Max (l/s)	Saturación Qmed (l/s)	Saturación Qmp (l/s)	Superávit/ Déficit (l/s)
1	1,484.12	30	7.3	107	17	75	32
2	223.40	38	9.9	235	52	195	40
3	1,389.57	38	7.4	204	61	222	- 18
4	422.86	38	7.1	198	86	293	- 95
5	242.95	45	8.9	349	86	293	56
6	28.04	45	10.7	384	106	347	37
7	889.71	45	6.0	287	108	353	- 66
8	80.87	61	19.8	1,174	108	353	821
9	270.69	61	9.4	809	114	372	437
10	270.17	61	8.2	755	171	555	200
11	479.29	76	3.8	930	171	555	375

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El colector Nopalera tiene problemas de desgaste, lo que obliga a la rehabilitación del mismo, se deberá considerar en el proyecto cambio de diámetro del tramo 3 y 4 a 45 cm de diámetro y el tramo 7 a 61 cm de diámetro, lo que permitirá contar con la capacidad suficiente para conducir los flujos de saturación de su zona de influencia.

Tabla 27. Análisis de la capacidad del colector Sur I

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Pendiente (milésimas)	Capacidad Max (l/s)	Saturación Qmed (l/s)	Saturación Qmp (l/s)	Superávit/ Déficit (l/s)
1	1,720.61	45	7.2	315	38	149	167
2	602.08	45	7.9	329	50	188	141
3	1,492.92	61	7.9	740	50	188	553
4	251.67	76	1.2	518	76	264	254

Fuente: Elaboración propia, 2020.

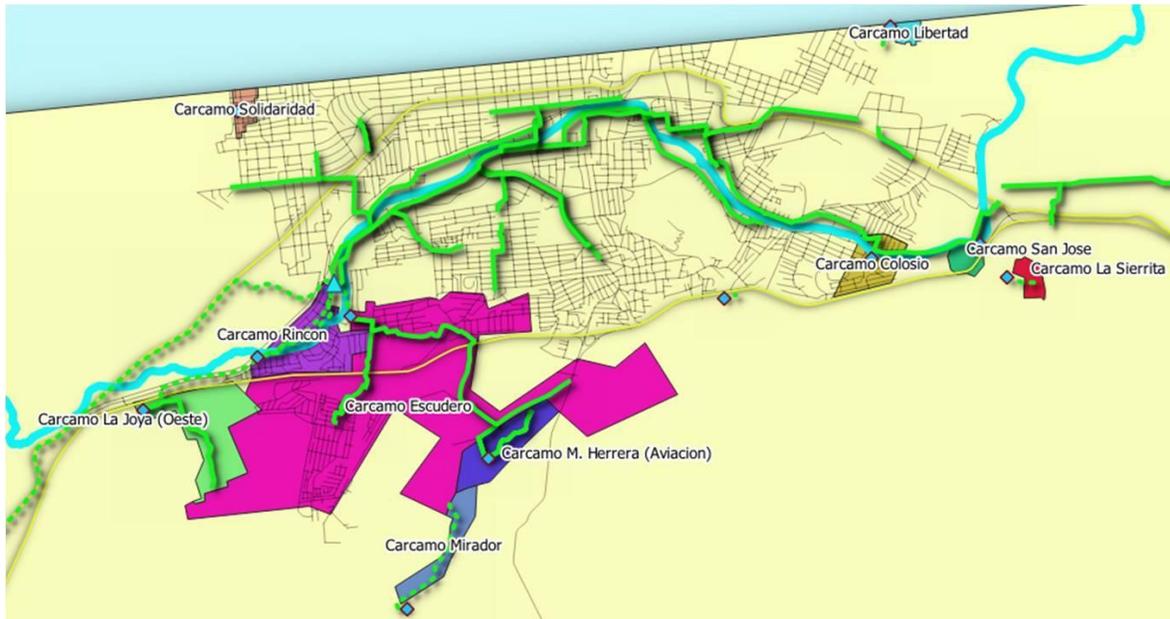
El colector Sur cuenta con la capacidad suficiente para conducir los flujos estimados para el año 2050.

2.1.4 Comparación demanda actual y futura de estaciones de bombeo principales.

Establecer una comparación directa entre las regiones de abastecimiento de diferentes municipios o comunidades suele conducir a errores. En algunos municipios, grandes cantidades de agua dedicadas a usos industriales son obtenidas de fuentes privadas mientras que otros se abastecen de las redes de distribución pública, además las pérdidas y fugas también pueden tener variaciones. Otros factores como el clima, el tamaño de la comunidad, nivel socio económico, el costo del agua, la factibilidad y calidad del servicio, son factores que afectan las proyecciones de crecimiento. Para el análisis de la demanda futura de los servicios de saneamiento, cárcamos y plantas de tratamiento, hemos partido de proyecciones de crecimiento del Consejo Nacional de Población, encontrando correlación con las aportaciones actuales y futuras de la ciudad.

Se detecta que la totalidad de los cárcamos de bombeo no cuentan con equipos de medición de caudal, además de que no se cuenta con información para inferir el caudal actual de operación como registros de horas de operación de los equipos. A continuación, se presentan las aportaciones a saturación de los principales cárcamos, las estimaciones se realizaron a partir del área de servicio de cada uno de los cárcamos, según se muestra en la siguiente figura.

Ilustración 28. Plano de áreas de cobertura de los cárcamos.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 28. Estimación de las aportaciones que recibirán las plantas de bombeo

Nombre	Capacidad Instalada	Agua generada 2050	
		HP	Qmed (l/s)
Cárcamo Escudero	44.5	26.7	111.0
Cárcamo Rincón	20	7.9	39.1
Cárcamo La Joya	15	10.4	49.6
Cárcamo Colosio	3	2.9	15.9
Cárcamo Libertad	15	1.5	2.5
Cárcamo M. Herrera	15	2.9	15.9
Cárcamo La Sierrita	25	1.5	8.8
Cárcamo San José (Rosales)	0.5	1.5	8.3
Cárcamo Solidaridad (Colinas)	7.5	2.1	11.7
Cárcamo Mirador	44.5	4.7	24.8

Fuente: Elaboración propia, 2020.

2.1.5 Comparación demanda actual y futura de Plantas de tratamiento

La capacidad teórica de la planta de tratamiento de Tecate es de 200 l/s por lo que partiremos de esa premisa para hacer la comparación de la capacidad instalada contra la demanda futura.

Tabla 29. Análisis de la capacidad de la planta de tratamiento Tecate (l/s)

PTAR	Capacidad Qmed (l/s)	2020	2021	2024	2030	2050
Tecate	200	158	161	168	181	210
Remanente		42	39	32	19	-10

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la tabla podemos observar que para satisfacer la demanda de saneamiento de las aguas generadas en la zona urbana de la ciudad de Tecate, para el año 2050 habrá un déficit de 10 l/s, por lo que a fin de atender el incremento de las aportaciones de las aguas residuales se deberá ampliar la planta, asimismo y considerando el estado actual en que se encuentra la PTAR, se propone la sustitución, en dos módulos de 110 l/s con tecnología que permita asegurar la calidad de la descarga



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

a niveles de reúso y absorber el crecimiento, así como proporcionar un adecuado manejo de los lodos generados por el proceso, mitigando el impacto negativo en la comunidad.

2.1.6 Comparación demanda actual y futura de agua de reúso.

La forma de utilizar en gran escala las aguas residuales es impulsar el reúso potable indirecto planeado. Existen numerosos proyectos de reúso potable indirecto de aguas residuales tratadas, es decir proyectos donde las aguas residuales se tratan y se reintegran como fuentes de abastecimiento de agua potable, de manera indirecta a través de recarga artificial de acuíferos o descarga a cuerpos receptores como ríos y lagos. Estos proyectos permiten manejar altos porcentajes de reciclaje del agua, como ejemplos se pueden citar el reúso del agua que se entrega a México del río Colorado, se mezclan en la ruta las descargas de aguas residuales tratadas de varias ciudades; también el Lago de Chapala, que es una de las fuentes de abastecimiento de Guadalajara recibe las aguas residuales de poblaciones de los Estados de México, Querétaro, Michoacán, Jalisco y Guanajuato.

Enseguida se ilustran algunos ejemplos de proyectos de reúso potable indirecto en los Estados Unidos; los primeros tres ilustran la recarga de acuíferos y el último el aumento de las aguas superficiales, que son los dos tipos de proyecto que se están considerando en el Plan Maestro de Agua y Saneamiento en los Municipios de Tijuana y Playas de Rosarito.

Proyecto Montebello para Recarga de Acuífero. Este proyecto, ubicado en el condado de Los Ángeles, California, es la fuente primaria de recarga de la Cuenca Central, que es el principal cuerpo de agua subterránea localizado bajo la Gran Área Metropolitana de Los Ángeles. El proyecto, que ha operado sin interrupciones desde el año 1962, ha suministrado hasta el 30 % del volumen total de recarga de la Cuenca Central con capacidades de 0.6 a 4.4 m³/s.

Proyecto de Orange County Water District. El Orange County Water District (OCWD) en California administra el acuífero que suministra aproximadamente 300 millones de metros cúbicos anuales de agua potable a una población de más de dos millones.

Proyecto de Recarga Hueco Bolsón. La característica especial de este proyecto es que aguas residuales provenientes de la ciudad de El Paso, Texas, se purifican hasta un grado de calidad equivalente al agua potable, para después ser inyectadas directamente, es decir sin mezclarlas con aguas provenientes de otras fuentes, en el acuífero que es la fuente principal de abastecimiento de esta ciudad. En 1991, el flujo de agua reciclada usada en la operación de recarga, iniciada en el año 1985, fue entre 0.16 y 0.20 m³/s.

Proyecto de Upper Occoquan Sewage Authority, este proyecto, ubicado en el Estado de Virginia, entró en servicio en el año 1978 y ha operado en forma ininterrumpida desde esa fecha. El objetivo del proyecto fue el de proteger la calidad del agua almacenada en la Presa Occoquan, que es la fuente principal de abastecimiento en una cuenca de 1475 Km² la cercanía de Washington, D.C. Un estudio del problema determinó que el contribuyente mayor de la contaminación del embalse era la descarga de efluentes provenientes de 11 plantas de tratamiento secundario y que la mejor solución del problema era el construir una planta regional incorporando los procesos de tratamiento más efectivos disponibles en esa época. La planta regional de tratamiento tenía una capacidad de 2.4 m³/s. Desde su puesta en operación hace más de 30 años, la planta regional de reciclaje ha producido un efluente que satisface consistentemente todos los requerimientos establecidos por



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

las autoridades para proteger la salud pública. Aún más, el agua reciclada está reconocida como la fuente no sólo de alta calidad, sino también de mayor confiabilidad en el sistema Occoquan.

Proyecto Pure Water San Diego. San Diego tiene en investigación el proyecto de reúso potable indirecto con una planta en operación (North City) con una capacidad de 660 l/s que entregará en 2023 agua a un sector de San Diego y en el mediano plazo no se descargarán aguas residuales tratadas al mar, sino que formarán parte del Sistema de abastecimiento de agua potable de San Diego suministrando el 30% de la demanda futura de agua.

Los factores, como la grave escasez de agua en la región, la dependencia de una sola fuente de agua potable, así como la infraestructura requerida como obras de defensa para que el agua tratada no cruce a los EE. UU., obligan a contemplar el reúso de las aguas tratadas a gran escala en la recarga del acuífero por ejemplo en el arroyo Tecate y en el Valle de Las Palmas.

El flujo de agua residual tratada utilizada en 2019 fue de 68.3 l/s de un total 163 l/s tratados por las plantas de Tecate y CERESO. Significa que un alto porcentaje del agua generada en estas plantas es viable de ser utilizada sin que a la fecha haya un destino para esto. Se deberán elaborar los estudios para potencializar el mercado de esta agua, para lo que posteriormente se propondrán los alcances para llevar a cabo dichos estudios.

OBSERVACIONES

Los colectores cuentan con la capacidad suficiente para atender la demanda al año 2050. El problema que presentan varios de estos colectores es que concluyó su vida útil.

Los cárcamos de bombeo carecen de equipos de medición de caudal, además se cuenta con información para inferir el caudal actual de operación como registros de horas de operación de los equipos

La PTAR Tecate es obsoleta y será insuficiente su capacidad para la demanda estimada al año 2050.

CONCLUSIONES

Los colectores solamente requieren rehabilitación para atender la demanda al 2050.

La PTAR Tecate requiere inversiones para su rehabilitación completa.

Se requieren conducir estudios para determinar el tipo de reúso que realizará el organismo operador.

2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento.

2.2.1 Reemplazo de la infraestructura que ha rebasado su vida útil.

La CESPTTE consciente de la problemática de los continuos derrames de aguas negras y la pérdida de vida útil de las redes de drenaje sanitario, ha identificado las tuberías con problemas operativos, mediante la experiencia y conocimiento del personal que opera y mantiene el sistema.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La rehabilitación de las líneas de alcantarillado, de acuerdo con los requerimientos de hermeticidad que la normatividad establece, ayudará a reducir la infiltración potencial de aguas pluviales y/o freáticas al alcantarillado, reduciendo de forma importante los volúmenes de agua que recibe la PTAR, lo que permitirá ampliar el horizonte de la capacidad instalada. A continuación, se describe la infraestructura que ha cumplido su vida útil.

Tabla 30. Proyectos de implementación de infraestructura que han cumplido su vida útil

No.	Nombre	Longitud (metros)
1	Rehabilitación del subcolector Industrial	1,614.16
2	Rehabilitación del colector Bella Vista	1,152.52
3	Rehabilitación del subcolector Morelos	1,291.58
4	Rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas	1,668.97
5	Rehabilitación del colector Nopalera	5,781.84
	Total	11,509.07

Fuente: Elaboración propia, con información de CESPTE, 2020.

Tabla 31. Redes de alcantarillado sanitario con más de 25 años de antigüedad

No.	Colonia	Longitud (metros)
1	Aldrete	4,224.75
2	Ampliación Colinas	3,892.75
3	Bella Vista	4,299.50
4	Braulio Maldonado	1,250.27
5	Centro Urbano	4,531.88
6	Chávez	2,001.62
7	Colinas del Cuchumá	4,710.33
8	Cuauhtémoc Este	3,750.88
9	Cuauhtémoc Oeste	2,941.78
10	Cucapah	1,479.76
11	Downey	3,066.89
12	El Descanso	2,603.83
13	El Refugio	11,294.15
14	Emiliano Zapata	4,510.00
15	Emiliano Zapata II	113.53
16	Encanto Norte	2,377.64
17	Encanto Sur	2,491.96
18	Espinoza	1,501.78
19	Esteban Cantú	2,089.55
20	Federal	1,196.50
21	Francisco Villa	2,233.77
22	Infonavit Las Huertas	809.95
23	Jardines del Río	2,460.92
24	La Hacienda	3,910.87
25	La Vinita	233.44
26	Lázaro Cárdenas	3,901.12
27	Lázaro Cárdenas II	6,692.60
28	Miguel Alemán	1,987.49
29	Militar	7,366.31
30	Moderna	1,796.36
31	Pliego	634.78
32	Primera Sección	8,450.15
33	Pro-Hogar	2,166.79
34	Rancho González	2,821.46
35	Rancho San Fernando	835.71
36	Romero	5,913.47
37	San Fernando	3,035.84
38	Santa Fe	1,639.75
39	Solidaridad	1,811.08



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

No.	Colonia	Longitud (metros)
40	Tanama	334.00
41	Valencia	2,192.94
42	Zorrilla	783.68
	Total	126,341.81

Fuente: Elaboración propia, con información de CESPTE, 2020.

2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada.

El sistema de saneamiento lo podemos visualizar en dos áreas, la recolección y el tratamiento, en este apartado haremos énfasis en los sistemas de bombeo de aguas residuales (cárcamos de bombeo).

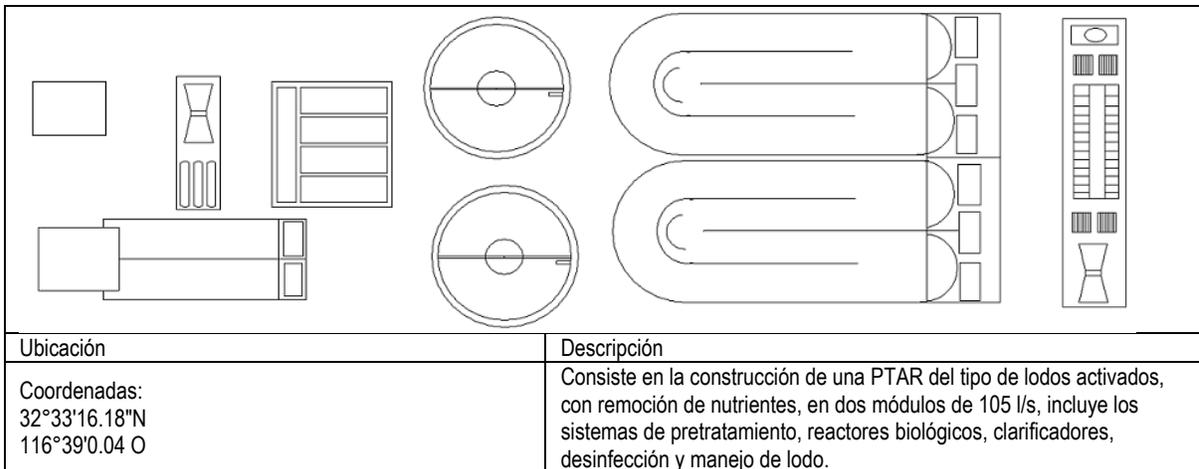
La ciudad de Tecate cuenta con 12 cárcamos de bombeo cuya función es hacer llegar las aguas residuales a la planta de tratamiento de zonas bajas o zonas planas que impiden el flujo libre de las aguas; por esta razón la operación continua de estas estaciones resulta vital para asegurar que las aguas no salgan del sistema y puedan impactar la salud de la población, y los posibles impactos transfronterizos. Por ello que se plantea la necesidad de hacer la rehabilitación de los cárcamos de bombeo particularmente en los sistemas de pretratamiento (rejillas y desarenadores) cuidando las dimensiones y accesos adecuados para supervisión y mantenimiento para proteger la infraestructura, particularmente los equipos motor-bomba.

La seguridad de la instalación es muy importante, tanto para la protección de la población que circula por la zona como para el cuidado de los equipos, lo que hace necesario la reposición de cercos perimetrales existentes a base de malla ciclónica, por bardas de mampostería y puertas metálicas. La adquisición de equipos de generación de energía eléctrica es un tema para abordar, así como la creación de un programa de reemplazo de equipos motor-bomba por pérdida de vida útil.

2.2.3 Incremento de la capacidad de las plantas de bombeo y PTAR

De acuerdo al comparativo de la demanda actual y futura en tratamiento de aguas residuales descrito en el punto 2.2.5, se detecta que la PTAR Tecate, tendrá un déficit en tratamiento para el año 2042, por lo que deberá de aumentar su capacidad; asimismo, el diagnóstico muestra que, bajo las actuales condiciones de caudal (152 l/s), dicha planta presenta días en incumplimiento a los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, a la vez, el organismo reúsa un caudal promedio de 23.5 l/s en áreas verdes e infiltración sin cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997. Las condiciones de la infraestructura no presentan seguridad en la prestación del servicio, se recomienda la construcción de una nueva PTAR de 210 l/s, con las siguientes características que se describen a continuación.

Construcción de la PTAR Tecate de 210 l/s



2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general.

Los retos para este municipio son la construcción y ampliación de redes de alcantarillado en diversas colonias, incluyendo el tratamiento de aguas residuales, principalmente en la zona Rural. A continuación, se listan los proyectos de ampliación del sistema de alcantarillado sanitario identificados tanto para la zona urbana como la zona rural.

Tabla 32. Proyectos de alcantarillado sanitario en la zona urbana

No.	Nombre	Longitud (metros)
1	Fraccionamiento La Joya	1,019
2	Fracc. Ecochumá	6,969
3	Col. Lomitas del Cuchumá	2,892
4	Reposición de Atarjeas Col. Centro	3,725
5	Colonia Nido de las Águilas	1,569
6	Colonia Laderas de Tecate	746
7	Colonia Lombardo Toledano	1,795
8	Colonia Montisán	6,873
9	Colonia Obrera	2,869
10	Colonia Paso del Águila	1,764
11	Colonia Dos Cumbres	2,856
12	Colonia Tepeyac segunda etapa	2,019
13	Terrazas de los Artesanos	1,743
14	Fracc. El Capiri	5,888
15	Colonia Bicentenario	500
	Total	43,227

Fuente: Elaboración propia, con información de CESPTE, 2020.

Tabla 33. Proyectos de alcantarillado sanitario en la zona rural

No.	Nombre	Longitud (metros)
1	Ejido Luis Echeverría	720
2	Ejido Nueva Colonia Hindú	6,250
3	Ejido Chula Vista	510
4	Ejido Felipe Ángeles	170
5	Ejido Parcela 94, Poblado Valle de las Palmas	230
6	Ejido Jacumé	190
7	Ejido Aubanel Vallejo, Poblado La Rumorosa	5,790
8	Ejido El Encinal	220
9	Ejido Héroes del Desierto, Poblado El Testerazo	880
10	Ejido Carmen Serdán	270



No.	Nombre	Longitud (metros)
11	Ejido Baja California	1,170
12	Rancho Ramos	100
13	Villas Campestre San Isidro	2,600
14	Poblado Valle de las Palmas	1,680
15	Poblado Loma Tova	200
16	Poblado Jardines del Rincón	330
	Total	21,310

Fuente: Elaboración propia, con información de CESPTE, 2020.

2.2.5 Mejora en la calidad del efluente para cumplir con la normatividad aplicable y su manejo y disposición de lodos

En la elaboración de los nuevos proyectos para la construcción de PTAR es importante realizar una planeación detallada, que no omita ningún aspecto relevante en las fases del diseño; que la información base utilizada se revise y valide, buscando con esto que los nuevos proyectos consideren las variaciones reales que deberán soportar, principalmente en términos de cantidad y calidad del agua residual que ingresa al tratamiento. Con el estricto cumplimiento de lo anterior, será posible producir un efluente con la calidad establecida y acorde al tipo de reúso y/o aprovechamiento considerado en las Normas Oficiales Mexicanas. La implementación sistemática de estos procedimientos garantizará que todos los nuevos proyectos sean exitosos.

La PTAR Tecate (en operación desde 1975), ha cumplido en lo general con la calidad establecida en la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo, en los meses de verano, opera al límite, presentándose promedios diarios fuera del límite máximo establecido en la dicha norma.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por el Laboratorio interno de la CESPTE, las muestras fueron colectadas en el periodo de mayo del 2019 a junio del 2020, se observa el incumplimiento de al menos 9 días en demanda bioquímica de oxígeno y de tres de sólidos suspendidos totales, con esto y en las condiciones en las que se encuentra la infraestructura de la PTAR, es que se sugiere la construcción de una nueva planta.

Tabla 34. Análisis de la descarga PTAR Tecate

Parámetros	Límite máximo permisible	Días analizados	Días en incumplimiento	Concentración máxima	Promedio de las muestras
DBO ₅	75	59	9	135	57.3
DQO	200	95	16	373	158.4
SST	75	90	3	130	26.2

Fuente: Elaboración propia, con información de CESPTE, 2020

Con respecto a los sólidos y biosólidos, estos se envían a disposición final en un sitio operado por una empresa particular, dicho sitio de confinamiento se encuentra autorizado para el manejo de residuos de manejo especial; la generación de lodos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 35. Generación de lodos de las PTAR

Año	Total anual (toneladas)	Promedio mensual (toneladas)
2007	4,620	385
2008	4,440	370
2009	4,770	398
2010	5,310	443
2011	6,275	523
2012	5,650	471



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Año	Total anual (toneladas)	Promedio mensual (toneladas)
2013	5,050	421
2014	5,255	438
2015	5,328	444
2016	5,716	476
2017	5,399	450
2018	5,774	481
2019	6,003	500

Fuente: CESPTE, 2020.

Los costos por la disposición de dichos residuos por tonelada son de \$475.00 pesos más IVA, de esta forma, para el 2019 se tuvieron erogaciones por este concepto de 2.85 millones de pesos.

2.2.6 Cambios en los programas de operación y mantenimiento de los sistemas de Saneamiento.

2.2.6.1 *Manuales de operación y mantenimiento.*

Los manuales de operación con los que cuenta el organismo operador describen de manera genérica el o las maniobras para operar las PTAR, sin embargo, dichos manuales no detallan el o los programas de mantenimiento, o los programas de reposición o recambio de equipo que perdió su vida útil, o los procedimientos para realizar mantenimientos preventivos o predictivos, por lo que se sugiere la implementación de un Plan Integral de Mantenimiento (PIM) de los sistemas que conforman el saneamiento, esto implica el desarrollo de una secuencia ordenada de actividades para mantener los equipos y las instalaciones en condiciones óptimas. El PIM en esencia está integrado por las actividades descritas a continuación.

Actividades con el objetivo de prevenir problemas. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es el **mantenimiento preventivo**. Dentro de las principales actividades que se practican como parte de este tipo de mantenimiento son de mencionar: la inspección al equipo, limpieza, lubricación y sustitución de componentes.

Actividades con el objetivo de identificar problemas. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es el **mantenimiento predictivo**. Este mantenimiento está basado en el monitoreo, registro y análisis del comportamiento de las principales variables de operación del equipo y de las instalaciones, con la finalidad de verificar que su funcionamiento sea el correcto y, en caso de que se presente una desviación de las condiciones de operación normales, programar las actividades correctivas correspondientes.

Actividades con el objetivo de corregir problemas. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es el **mantenimiento correctivo**. Las actividades de este tipo de mantenimiento pueden ser planeadas o no planeadas. Las actividades planeadas son aquellas que se programan como resultado de la identificación de algún problema potencial y las no planeadas son aquellas que hay que realizar para corregir o reparar una falla en el equipo.

Actividades con el objetivo de evaluar el desempeño del PIM. La herramienta que aglutina y estructura este tipo de actividades es la auditoría del mantenimiento. Esta implica la recolección y el relevamiento de datos, la medición de parámetros de funcionamiento, y la evaluación del plan de mantenimiento que se lleva a cabo en las instalaciones. En base a ello, se determinan las acciones



de mejora a realizar para garantizar un servicio continuo de los equipos y evitar la reducción de eficiencia de los mismos.

2.2.6.2 *Elaboración de Planes y Programas de Planeación.*

Las actividades que realiza el Organismo Operador se relacionan directamente con la planeación estratégica, actividad clave para identificar fortalezas y oportunidades, el objetivo de esta tarea es contar con los elementos institucionales, que permitan la gestión tanto de recursos, por lo que se recomienda la elaboración de los documentos siguientes.

1. Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Saneamiento, para el Municipio de Tecate, B. C.

El objetivo es conducir un esfuerzo de planeación y desarrollar un Plan Maestro que identifique las alternativas para afrontar las necesidades de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento del municipio en las áreas urbanas y rurales, así como en las áreas de crecimiento futuro. Este Plan Maestro diagnosticará la situación actual, incluyendo las fortalezas, deficiencias y áreas de oportunidad y deberá presentar una visión que permita cubrir la demanda futura de agua potable, el tratamiento y disposición de las aguas residuales. El Plan Maestro identificará proyectos a corto plazo para corregir deficiencias existentes y proyectos a mediano y largo plazo que permitan un desarrollo planeado y sustentable. Los escenarios a futuro que se proyecten deberán tener horizontes de 5, 10 y 20 años, y adicionalmente a 30 y 40 años en las secciones donde se indique.

Monto estimado: 2.16 millones de pesos

Año de elaboración: 2021.

2. Estudio hidrogeológico del acuífero Tecate, B. C.

El trabajo consistirá en realizar estudios de Geología, Geofísica e Hidrología para definir la geometría del sistema acuífero del Arroyo Tecate, su clasificación, límites, espesores, calidad del agua, haciendo uso entre otras herramientas de pozos de exploración para cumplir dicho objetivo. Con la información resultante de este estudio se elaborará un Modelo del Acuífero con el fin de conocer las posibles respuestas de éste a las recargas y extracciones en diversos puntos. Como apoyo para este trabajo se hará una recopilación de la información y estudios existentes sobre investigación geofísica, geológica y geohidrológica, censos de las obras hidráulicas, medición de los niveles del agua subterránea de pozos existentes, muestreos de la calidad del agua e identificación de unidades hidrogeológicas. La Cuenca del Arroyo Tecate se extiende en una porción, dentro de los Estados Unidos de América, pero el estudio abarcará solamente la parte mexicana.

Monto estimado: 4.31 millones de pesos

Año de ejecución: 2021

3. Proyecto Piloto de infiltración con agua residual tratada en el acuífero del arroyo Tecate, B. C.

Realizar pruebas piloto de infiltración con agua residual tratada en el acuífero del Arroyo Tecate, con el fin de estimar la tasa de infiltración y la capacidad del subsuelo para remover o reducir su carga contaminante y su efecto en el acuífero. Los trabajos y actividades contemplados en el proyecto son: a) selección del sitio, b) construcción del estanque de infiltración, c) perforación de pozos de monitoreo y observación, d) pruebas de infiltración y e) caracterización del agua, informe del análisis de datos obtenidos de las actividades realizadas en campo y laboratorio.



Monto estimado: 4.31 millones de pesos

Año de ejecución: 2022

4. Estudio y Proyecto Ejecutivo de Plan Maestro para el Manejo de Lodos en el Municipio de Tecate, B.C.

El objetivo general del estudio es el planteamiento y análisis de alternativas para la solución más viable técnica, económica y ambientalmente para el adecuado manejo y disposición final de los lodos producidos en los diferentes sistemas de tratamiento de agua residual.

Monto estimado: 1.72 millones de pesos

Año de ejecución: 2022

5. Estudio del Sistema de Telemetría

Consiste en evaluar el sistema de telemetría actual de CESPTE, definir los requisitos de todo el sistema y crear un diseño conceptual del sistema ampliado.

Monto estimado: 1.29 millones de pesos

Año de ejecución: 2021

6. Implementación del Manual de procedimientos

El manual de procedimientos es un documento del sistema de Control Interno, el cual se crea para obtener una información detallada, ordenada, sistemática e integral que contiene todas las instrucciones, responsabilidades e información sobre políticas, funciones, sistemas y procedimientos de las distintas operaciones o actividades que se realizan en la CESPTE.

Monto estimado: 2.59 millones de pesos

Año de ejecución: 2021.

OBSERVACIONES

Son múltiples las redes que han rebasado su vida útil y requieren reemplazo, principalmente para evitar la llegada de descargas de agua negra al río Tecate y coadyuvar con el Acta 320.

Las PB sufren continuos desperfectos.

Las PTAR Tecate no cumple continuamente con la normatividad vigente y no será suficiente para atender la demanda al año 2050.

El sistema de saneamiento en general requiere reforzamiento en obras de bombeo y conducción del agua negra hacia la PTAR; así como la ampliación de redes de recolección en la periferia.

Los programas de operación y mantenimiento son muy limitados y antiguos.

CONCLUSIONES

Se requiere al menos un monto de \$506.42 MDP para el remplazo de infraestructura de redes de recolección de alcantarillado sanitario, colectores y rehabilitación de cárcamos de bombeo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La PTAR Tecate requiere acciones de construcción completa por un monto de \$ 164.09 MDP.

Para el reforzamiento del sistema de saneamiento la ampliación de redes en la periferia de la ciudad, así como instalar redes en la zona rural se requiere un monto de inversión de \$193.61 MDP.

Para la elaboración de Estudios y planes se requiere un monto de \$16.38 MDP.

3 Alternativas para atender la demanda futura de saneamiento en la región.

3.1 Planteamiento de alternativas.

Las obras por evaluarse son producto de una serie de reuniones llevadas a cabo durante los meses de junio y julio, reuniones coordinadas por la Comisión Internacional de Límites y Agua, con la participación de líderes experimentados en la materia. Estas obras tienen en común el impacto directo transfronterizo hacia Estados Unidos, el cual fue uno de los criterios más importantes dentro de la priorización.

Las alternativas que se analizan a detalle atienden la demanda a corto plazo (al año 2024), 8 proyectos que responden a las necesidades de saneamiento de la Cuenca del Río Tijuana.

Adicionalmente y para atender la demanda a mediano y largo plazo (2025-2050), se plantean 91 proyectos, de los cuales 12 serán plantas de bombeo y 79 de infraestructura complementaria.

3.1.1 Alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.

A continuación, se describen los alcances establecidos para dar solución a los diferentes proyectos identificados con problemas funcionales, los cuales son prioritarios dentro de la infraestructura de subcolectores y colectores del sistema de saneamiento primario de la ciudad de Tecate.

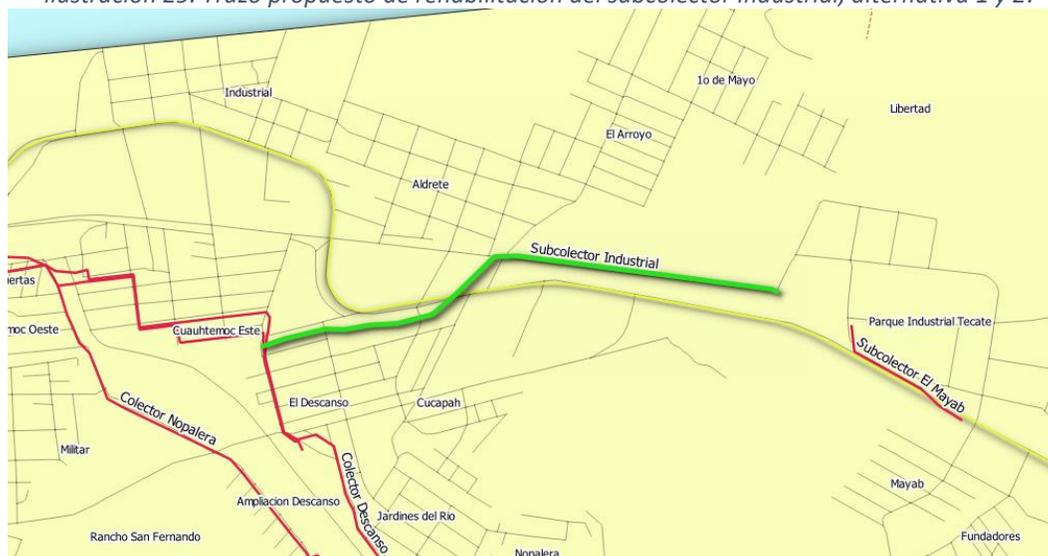
3.1.1.1 Rehabilitación del subcolector Industrial.

Se ha realizado el análisis de alternativas considerando tres propuestas de solución para el proyecto.

Alternativa 1. Restitución de los tramos con instalación de tubería a cielo abierto.

Para el proyecto de rehabilitación del subcolector Industrial se propone utilizar tubería de PVC para sustituir la tubería dañada, realizándose con tubería instalada en zanjas excavadas a cielo abierto en el trazo del mismo subcolector.

Ilustración 29. Trazo propuesto de rehabilitación del subcolector Industrial, alternativa 1 y 2.



Fuente: Elaboración propia con información de CESPTE.



El método constructivo requiere los siguientes pasos que se describen a continuación.

Trazo y excavación de zanjas. Por medio de un control topográfico se realizará el trazo del eje del colector conforme a los planos ejecutivos de proyecto, controlando el lineamiento y la profundidad de excavación según los niveles de arrastre que marcan el proyecto ejecutivo. Una vez teniendo el trazo del eje del colector, se procederá a realizar en el caso de que se tenga, el corte y demolición de pavimentos, adoquín y/o empedrado. Posteriormente se procederá a realizar la excavación, la cual deberá de tener un ancho no menor al indicado en el proyecto. Se realizará la excavación hasta su profundidad máxima según los niveles de arrastre que marcan los planos ejecutivos más el espesor correspondiente a la plantilla; las paredes de los cortes de la excavación terminarán con una inclinación “talud”.

Plantilla de arena. Una vez que se ha realizado la excavación, se procederá a construir la plantilla o cama de arena, con el fin de facilitar el acomodo de la tubería y generar una superficie tal que la carga transferida por el tubo al suelo de cimentación sea uniforme; la cama deberá de conformarse con arenas finas a medias bien graduadas en estado suelto, con un espesor de acuerdo con el diámetro.

Instalación de la tubería. La colocación, instalación, junteo, accesorios, tipo y diámetro del tubo, así como las especificaciones de construcción y la resistencia de los materiales a utilizar, serán los que se especifican en los planos ejecutivos del proyecto. La tubería se colocará con la campana o la caja de la espiga hacia aguas arriba y se empezará su colocación de aguas abajo hacia aguas arriba. Los tubos serán junteados entre sí según las recomendaciones del fabricante de la tubería y según lo fije el proyecto y/o la Supervisión.

Construcción de pozos. Son los elementos en las redes de alcantarillado que tienen por objeto la unión de líneas, los cambios de dirección, la inspección, la limpieza y control de flujo de las mismas. Terminada la excavación, se afinará la superficie del fondo, se construirá una plantilla de concreto pobre. Posteriormente se procederá a construir los pozos, de acuerdo con los planos tipo de las Normas Técnicas para Proyectos de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Estado de Baja California.

Relleno acostillado. El acostillamiento de la tubería es el apisonado que se efectúa encima, a los lados y por debajo de las tuberías, con el objeto de dar un encamado correcto a todo alrededor de la tubería, y se efectuará hasta 30 centímetros por encima del lomo del tubo.

Relleno de excavación. Sobre el acostillado se colocará el suelo de relleno, para lo cual se podrá utilizar el suelo producto de la excavación, el cual se colocará en capas de 20 cm. como máximo, comportándose al 90 % de su peso volumétrico seco máximo del ensayo Proctor estándar, hasta alcanzar la altura correspondiente al nivel del terreno. El espesor del suelo de relleno sobre el lomo del tubo no deberá ser menor a los 90 cm. En la reposición de pavimento empedrado o adoquinado se procurará utilizar el material producto de la ruptura que no haya sufrido daños, todo el material nuevo deberá ser de la misma clase y característica que el del original, debiendo quedar al mismo nivel, evitando la formación de topes o depresiones, por la que la reposición se hará una vez que el relleno de las zanjas tengan el grado de compactación especificado y/o lo que marque el proyecto.

Esta alternativa implica afectaciones a las vialidades, a los peatones y a los comercios cercanos a la obra por el cierre de calles, para poder realizar las reparaciones respectivas, también existirá una



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

afectación por el ingreso y salida de los vehículos de carga en algunos puntos cercanos a la ciudad, e incluso existen posibles afectaciones por escurrimientos de aguas residuales al arroyo Tecate.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Para esta alternativa se utilizará el mismo trazo del colector, se contempló el procedimiento constructivo de estallamiento y/o perforación direccional.

El procedimiento constructivo de estallamiento y/o perforación direccional es el siguiente:

La tecnología por utilizar es denominada en inglés Trenchless Technology, que permite hacer las reposiciones casi sin abrir zanjas, por lo que las excavaciones para la introducción de tubería, retiro de equipo, y la conexión de las descargas domiciliarias, debe de ser lo más pequeñas y limpias posibles.

Se usará el método llamado “Estallado de tuberías” (pipe Bursting) el cual consiste en la instalación de tubería del mismo diámetro o incrementándose hasta 2 (diámetros) diámetros según sea el caso, la instalación de la nueva tubería se realiza de la siguiente forma: Para reponer un tramo de línea de pozo de visita a pozo de visita, se colocará primero un tapón de neopreno inflable según el diámetro de la tubería a reponer; el tapón se pondrá en el pozo inmediato aguas arriba del tramo a reponer. En este pozo se colocará un equipo de bombeo para abatir el flujo del agua y desviarlo en forma superficial hacia un pozo inmediato posterior al tramo en rehabilitación. Una vez desviada el agua se procede a limpiar la tubería e inspeccionar su interior para verificar la limpieza y catastrar los servicios y detalles existentes. Para la instalación de tubería se coloca un equipo de jalón (malacate) y por el otro extremo se introduce la tubería termo fusionada acoplada a un pistón neumático que será jalado por el malacate, este pistón va reventando la tubería existente y a su vez la sustituye por la nueva.

En caso de que la tubería a reponer cuente con un refuerzo de acero que no permita el estallamiento o que sea tanto el azolve acumulado o presenten colapsos se opta por el procedimiento de perforación direccionada para la instalación de la tubería nueva. La perforación dirigida o direccional se basa en la realización de un orificio mediante un taladro, este taladro dirigido se denomina “perforación piloto”, por su carácter de ser conducido, y constituye el trazado y camino base, para su posterior ensanchado mediante sucesivos repasos interiores con herramientas tipo fresas, de diámetros progresivamente crecientes. La perforación se inicia desde una pequeña ranura en la superficie del terreno, en la que se introduce una varilla que en su frente sostiene la cabeza de perforación, de características adecuadas al tipo de suelo que se va a perforar. Mediante los movimientos de empuje y rotación, se van introduciendo varillas, que son roscadas automáticamente unas a otras a medida que va avanzando la perforación, combinando controlada y adecuadamente ambos movimientos, que se proporcionan desde la máquina. Para facilitar la perforación se utilizan lodos constituidos por la dilución de arcillas bentoníticas, “*bentonita*”, que son inyectados a alta presión y adecuado caudal, por el interior de las varillas y hasta el cabezal de perforación.

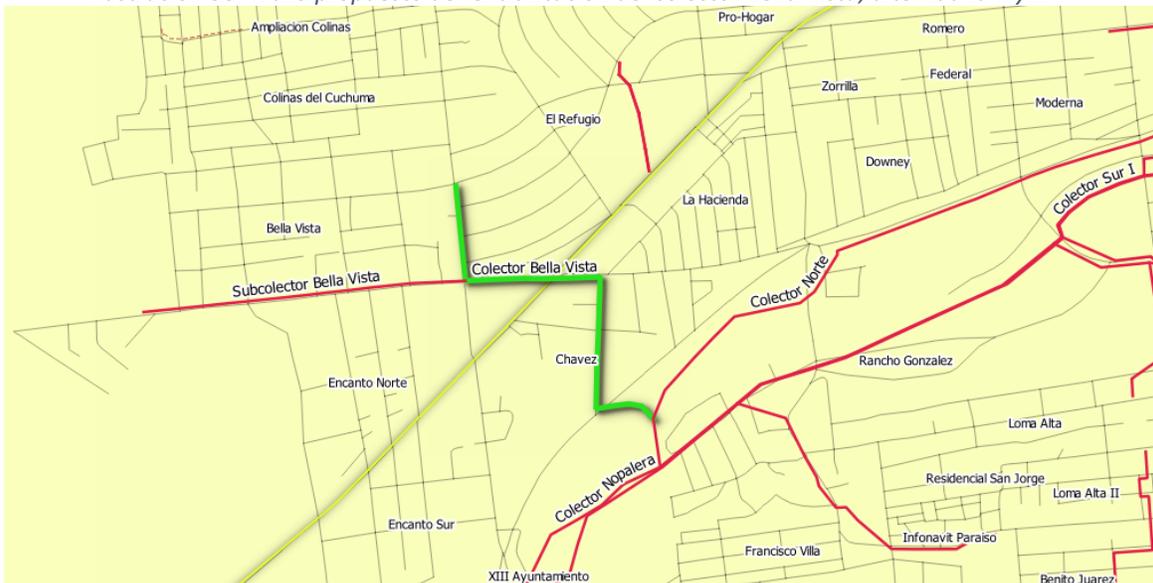
Alternativa 3. No acción

Prevalecen las condiciones actuales de la tubería, se siguen los protocolos actuales, llevando a cabo reparaciones en los colapsos que se sigan presentando, aumentando con esto los costos de operación y mantenimiento.

3.1.1.2 Rehabilitación del colector Bella Vista.

Alternativa 1. Restitución de los tramos con instalación de tubería a cielo abierto. Se propone utilizar tubería de PVC, para sustituir la tubería dañada, realizándose con tubería instalada en zanjas excavadas a cielo abierto en el trazo del mismo colector. Se sigue el mismo procedimiento constructivo a zanja abierta indicado anteriormente.

Ilustración 30. Trazo propuesto de rehabilitación del colector Bella Vista, alternativa 1 y 2



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional. Se sigue el mismo procedimiento constructivo indicado anteriormente para la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Alternativa 3. No acción

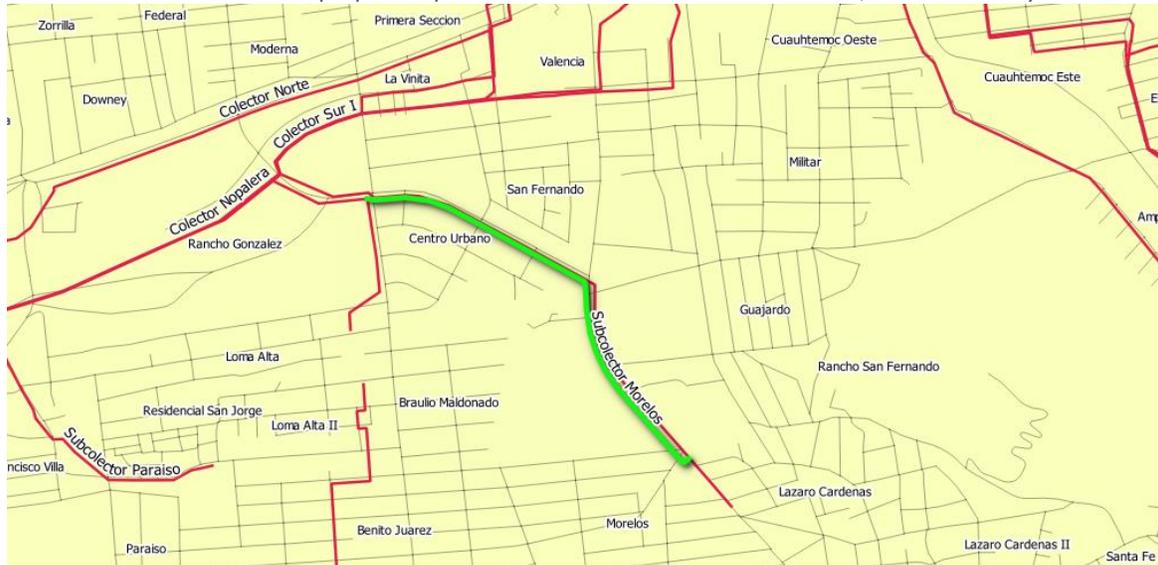
Prevalecen las condiciones actuales de la tubería, se siguen los protocolos actuales, llevando a cabo reparaciones en los colapsos que se sigan presentando, aumentando con esto los costos de operación y mantenimiento.

3.1.1.3 Rehabilitación del subcolector Morelos.

Alternativa 1. Restitución de los tramos con instalación de tubería a cielo abierto.

Para el proyecto de rehabilitación del subcolector Morelos se propone utilizar tubería de PVC, para sustituir la tubería dañada, realizándose con tubería instalada en zanjas excavadas a cielo abierto en el trazo del mismo colector. Se sigue el mismo procedimiento constructivo a zanja abierta indicado anteriormente.

Ilustración 31. Trazo propuesto para rehabilitación subcolector Morelos, alternativas 1 y 2



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional. Se sigue el mismo procedimiento constructivo indicado anteriormente para la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Alternativa 3. No acción

Prevalecen las condiciones actuales de la tubería, se siguen los protocolos actuales, llevando a cabo reparaciones en los colapsos que se sigan presentando, aumentando con esto los costos de operación y mantenimiento.

3.1.1.4 Rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas.

Alternativa 1. Restitución de los tramos con instalación de tubería a cielo abierto.

Para el proyecto de rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas se propone utilizar tubería de PVC, para sustituir la tubería dañada, realizándose con tubería instalada en zanjas excavadas a cielo abierto en el trazo del mismo colector. Se sigue el mismo procedimiento constructivo a zanja abierta indicado anteriormente.

Ilustración 32. Trazo propuesto rehabilitación colector Lázaro Cárdenas, alternativa 1 y 2



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Se sigue el mismo procedimiento constructivo indicado anteriormente para la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Alternativa 3. No acción

Prevalecen las condiciones actuales de la tubería, se siguen los protocolos actuales, llevando a cabo reparaciones en los colapsos que se sigan presentando, aumentando con esto los costos de operación y mantenimiento.

3.1.1.5 Rehabilitación del colector Nopalera.

Alternativa 1. Restitución de los tramos con instalación de tubería a cielo abierto.

Para el proyecto de rehabilitación del colector Nopalera se propone utilizar tubería de PVC, para sustituir la tubería dañada, realizándose con tubería instalada en zanjas excavadas a cielo abierto en el trazo del mismo colector.

Se sigue el mismo procedimiento constructivo a zanja abierta indicado anteriormente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Es importante la protección del equipamiento por lo que las instalaciones de bombeo deberán contar con una zona de pretratamiento (rejillas y desarenadores), así como un juego de compuertas que permita seccionar las áreas para favorecer las labores de limpieza como es la desarenación. Con la finalidad de eliminar la posibilidad de inundación o derrame las instalaciones de bombeo deberán contar con un equipo generador de energía.

Se identificaron 12 obras para atender las necesidades de bombeo a ejecutarse en el periodo 2022-2024, con un monto total de \$31.03 millones de pesos.

3.1.3 Alternativas para Plantas de tratamiento.

En este apartado se analizarán las alternativas de tratamiento de aguas residuales propuestas para atender la problemática de saneamiento en la subcuenca Tecate con necesidad de ampliación, construcción o sustitución, buscando el cumplimiento en la calidad, mitigando las afectaciones a la salud pública, los ecosistemas, y los impactos transfronterizos. Se prestará especial atención a la capacidad de resiliencia del proceso seleccionado, para hacer frente a las variaciones en la calidad del afluente y/o elementos disruptores que pudieran dañar el proceso de tratamiento.

3.1.3.1 Alternativas para la PTAR Tecate.

La planta de planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tecate data de 1975 utilizando un sistema de tratamiento biológico a base de filtros percoladores; través de los años ha recibido adecuaciones y mejorado el proceso de tratamiento a fin de incrementar su capacidad de tratamiento y dar cumplimiento a la norma (NOM-001-SEMARNAT-1996), sin embargo, poco se ha hecho en los elementos primarios que dan soporte al equipamiento e instalaciones como la obra civil y fontanería. Estas condiciones no ofrecen garantía en la continuidad de la prestación del servicio, por lo que se presentan las siguientes alternativas de solución haciendo énfasis en la capacidad de resiliencia y al cumplimiento de las normas para descarga y reúso (NOM-001 y NOM-003).

Alternativa 1. Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales con capacidad de 210 l/s de lodos activados en la modalidad aireación extendida, en el mismo sitio de la actual planta.

Alternativa 2. Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales con capacidad de 210 l/s de lodos activados en la modalidad aireación extendida, en un nuevo sitio a dos kilómetros aguas abajo de la PTAR actual.

3.1.4 Alternativas para infraestructura para el reúso de agua.

La planta de tratamiento de la zona urbana de Tecate PTAR Tecate contará para el año 2050 con una producción de al menos 210 l/s de aguas tratadas, si bien no es un gasto importante que permita la implementación de grandes obras para hacer el trasvase de la cuenca y evitar el impacto transfronterizo, representa una segunda fuente de agua para la ciudad, favoreciendo el mejoramiento de la imagen urbana. Es por ello por lo que se presentan las alternativas como una posibilidad para su implementación a fin de ampliar la línea de distribución de agua de reúso para promover la infiltración dentro de su cuenca y hacer frente al abatimiento de pozos de la ciudad, y los aprovechamientos que se pudieran dar en la zona de influencia. Esto deberá considerarse una vez que se esté plenamente justificado mediante los estudios propuestos en el punto 2.2.6.2, en el cual se describe la necesidad de contar con los elementos técnicos para realizar la infiltración.



Alternativa 1. Ampliación de línea morada mediante la construcción de 2,200 metros de tubería de PVC de 20 centímetros de diámetro para ampliar la zona de infiltración, en el área conocida como “agua fría”.

Alternativa 2. Ampliación de línea morada mediante la construcción de 3,700 metros de tubería de PVC de 20 centímetros de diámetro para ampliar la zona de infiltración conocida como cañón “Joe Bill”.

3.1.5 Alternativas para infraestructura complementaria e Instrumentación.

3.1.5.1 Instrumentación y monitoreo.

Los sistemas que comprenden el saneamiento no cuentan con equipo de control, o mediciones para su operación automática a través de un sistema remoto tipo SCADA (Supervisory control and data acquisition), es decir, el régimen de operación actual es de forma manual y el personal debe acudir a cada uno de los sitios para realizar actividades de supervisión y control como paros, arranques, y/o modificaciones al proceso y dado los costos por el personal operativo, que en plantas pequeñas puede alcanzar más del 50% del total de los costos (61% en la PTAR CERESO) y en las más grandes baja el costo (36% PTAR Tecate), de forma tal, que se recomienda la implementación de un sistema remoto que permita realizar labores de medición, supervisión y control, integrando los principales parámetros de operación.

OBSERVACIONES

Las alternativas planteadas contribuyen a conocer opciones viables para la resolución de la problemática de saneamiento de Tecate.

CONCLUSIONES

En base a la demanda detectada las alternativas analizadas contribuirían de manera significativa para el manejo sustentable del saneamiento en Tecate.

3.2 Dimensionamiento de alternativas usando criterios de resiliencia.

En infraestructura, como los sistemas de saneamiento, la resiliencia se refiere a la capacidad de un sistema para soportar eventos extraordinarios (eventos disruptivos naturales y antropogénicos) que causan que al menos una parte del sistema falle. La resiliencia se manifiesta en la infraestructura cuando esta mantiene un nivel mínimo de funcionalidad ante una situación adversa y se recupera en un tiempo corto y con un costo razonable (Gay Alanís, 2017).

De acuerdo con Bruneau (2003), existen cuatro características (4R) que hacen que un sistema sea resiliente:

1R. Resistencia: La capacidad de un sistema de agua potable y saneamiento de no colapsar totalmente ante una falla, sino conservar un mínimo necesario de funcionamiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2R. Redundancia: Que el sistema de agua potable y saneamiento tenga suficientes redundancias (respaldos), para evitar que haya cuellos de botella o elementos que puedan causar la falla completa.

3R. Recursos: No únicamente es tener recursos para atender una emergencia (tales como presupuestos, repuestos y personal), sino también las estrategias de improvisación y adaptación de soluciones temporales que sostengan el funcionamiento del sistema de agua potable y saneamiento.

4R. Rapidez: La tasa a la cual se recupera la funcionalidad del sistema.

Dentro de los sistemas de recolección de agua residual, y para efectos de las propuestas de dimensionamiento de cada uno de los proyectos se aplicarán los primeros dos criterios, referentes a la resistencia y redundancia, ya que estos dos dependen de la propuesta de solución planteada en cada alternativa.

3.2.1 Alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.

3.2.1.1 Dimensionamiento del subcolector Industrial.

El análisis hidráulico del subcolector Industrial es el mismo para ambas alternativas, ya que la diferencia estriba en el procedimiento constructivo y no en las características técnicas de las propuestas. Los diámetros propuestos son iguales o mayores a los existentes, de acuerdo con los flujos esperados a saturación de su área de influencia, la cual abarca las colonias 1ro de mayo, Parque Industrial Tecate, Industrial, Aldrete, Libertad y fraccionamiento Arroyo.

Tabla 36. Cálculo hidráulico del subcolector Industrial, alternativa 1 y 2

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Pendiente (milésimas)	Capacidad Max (l/s)	Saturación Qmed (l/s)	Saturación Qmp (l/s)	Superávit-Déficit (l/s)
1	847.67	25	15.4	96	24	100	-4
2	766.50	30	12.3	139	30	123	16

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En análisis hidráulico realizado contempla el gasto a saturación de la zona de influencia del colector, en la tabla anterior se observa que en el tramo uno existe un pequeño déficit en la capacidad de conducción, por lo que para el costeo de esta alternativa se consideró aumentar el diámetro de ese tramo a 30 centímetros.

3.2.1.2 Dimensionamiento del colector Bella Vista

El análisis hidráulico del colector Bella Vista es el mismo para ambas alternativas, ya que la diferencia estriba en el procedimiento constructivo y no en las características técnicas de las propuestas. Los diámetros propuestos son iguales o mayores a los existentes, de acuerdo con los flujos esperados a saturación de su área de influencia, la cual abarca las colonias Chávez, Solidaridad Ampliación Colinas, Colinas del Cuchumá, Bella Vista, Hacienda y El Refugio.



Tabla 37. Cálculo hidráulico del colector Bella Vista, alternativa 1 y 2

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Pendiente (milésimas)	Capacidad Max (l/s)	Saturación Qmed (l/s)	Saturación Qmp (l/s)	Superávit-Déficit (l/s)
1	258.13	25	57.7	186	13	60	125
2	161.50	25	40.7	156	28	116	40
3	204.13	30	16.8	163	28	116	47
4	528.64	30	17.7	167	49	186	-19

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En análisis hidráulico realizado contempla el gasto a saturación de la zona de influencia del colector, en la tabla anterior se observa que en el tramo cuatro existe un pequeño déficit en la capacidad de conducción, por lo que para el coste de esta alternativa se consideró aumentar el diámetro de ese tramo a 38 centímetros.

3.2.1.3 Dimensionamiento del subcolector Morelos.

El análisis hidráulico del subcolector Morelos es el mismo para ambas alternativas, ya que la diferencia estriba en el procedimiento constructivo y no en las características técnicas de las propuestas. Los diámetros propuestos son iguales o mayores a los existentes, de acuerdo con los flujos esperados a saturación de su área de influencia, la cual abarca las colonias Emiliano Zapata, Emiliano Zapata II, Morelos, Pedregal y Rincón del Paraíso.

Tabla 38. Cálculo hidráulico del subcolector Morelos, alternativa 1 y 2

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Pendiente (milésimas)	Capacidad Max (l/s)	Saturación Qmed (l/s)	Saturación Qmp (l/s)	Superávit-Déficit (l/s)
1	61.45	25	74.3	211	14	63	148
2	584.85	30	29.7	217	14	63	154
3	645.28	30	31.8	224	14	63	161

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4 Dimensionamiento del colector Lázaro Cárdenas.

El análisis hidráulico del colector Lázaro Cárdenas es el mismo para ambas alternativas, ya que la diferencia estriba en el procedimiento constructivo y no en las características técnicas de las propuestas. Los diámetros propuestos son iguales o mayores a los existentes, de acuerdo con los flujos esperados a saturación de su área de influencia, la cual abarca las colonias Lázaro Cárdenas, Miguel Alemán, Burócratas y Guajardo.

Tabla 39. Cálculo hidráulico del colector Lázaro Cárdenas, alternativa 1 y 2

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Pendiente (milésimas)	Capacidad Max (l/s)	Saturación Qmed (l/s)	Saturación Qmp (l/s)	Superávit-Déficit (l/s)
1	460.55	25	49.5	172	18	78	94
2	933.17	25	22.2	115	20	86	29
3	275.25	38	10.1	237	26	110	127

Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.2.1.5 Dimensionamiento del colector Nopalera.

El análisis hidráulico del colector Nopalera es el mismo para ambas alternativas, ya que la diferencia estriba en el procedimiento constructivo y no en las características técnicas de las propuestas. Los diámetros propuestos son iguales o mayores a los existentes, de acuerdo con los flujos esperados a saturación de su área de influencia, la cual abarca las colonias Ampliación Descanso, El Jardín Este,



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Valle Verde, Flores Magón, Santa Fe, Militar, Emiliano Zapata y Mirador I, además recibe las aportaciones del colector Lázaro Cárdenas, subcolector Lomas Altas, subcolector Paraíso y colector Norte.

Tabla 40. Cálculo hidráulico del colector Nopalera, alternativa 1

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Pendiente (milésimas)	Capacidad Max (l/s)	Saturación Qmed (l/s)	Saturación Qmp (l/s)	Superávit-Déficit (l/s)
1	1,484.12	30	7.3	107	17	75	32
2	223.40	38	9.9	235	52	195	40
3	1,389.57	38	7.4	204	61	222	-18
4	422.86	38	7.1	198	86	293	-95
5	242.95	45	8.9	349	86	293	56
6	28.04	45	10.7	384	106	347	37
7	889.71	45	6.0	287	108	353	-66
8	80.87	61	19.8	1,174	108	353	821
9	270.69	61	9.4	809	114	372	437
10	270.17	61	8.2	755	171	555	200
11	479.29	76	3.8	930	171	555	375

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En análisis hidráulico realizado contempla el gasto a saturación de la zona de influencia del colector, en la tabla anterior se observa que en los tramos tres, cuatro y siete existe un pequeño déficit en capacidad de conducción, por lo que para el costeo de esta alternativa se consideró aumentar el diámetro de esos tramos a 45, 45 y 61 centímetros respectivamente.

3.2.2 Alternativas para Plantas de bombeo principales.

Se consideraron 12 acciones para el periodo 2022-2024, por un monto de \$31.03 millones de pesos.

3.2.3 Alternativas para Plantas de tratamiento.

Alternativa 1. Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales con capacidad de 210 l/s de lodos activados en la modalidad aireación extendida, en el mismo sitio de la actual planta. Esta alternativa contempla la construcción de dos módulos de 105 l/s con la finalidad de dar versatilidad a la operación, así como permitir la construcción de un módulo sin sacar de operación la PTAR existente, terminado el primer módulo se demolerá un tren de tratamiento actual (sedimentador primario biofiltro y clarificador secundario para dar espacio al segundo módulo. Los elementos con los que contará la planta serán los siguientes: pretratamiento, reactor biológico diseñado para la remoción de nutrientes, clarificador secundario, filtración, sistema de desinfección, zona de manejo de lodos la cual contará con los siguientes elementos, espesador mecánico de lodos, digestor aerobio, equipamiento para adición de polímero y desaguado.

Alternativa 2. Construcción de una PTAR con capacidad de 210 l/s de lodos activados en la modalidad aireación extendida, en un nuevo sitio aguas debajo de la PTAR actual. Esta alternativa contempla la adquisición de un predio de dos hectáreas y la construcción de un colector de aguas residuales con una longitud de 2 kilómetros, con un diámetro de 122 cm en PVC; la planta tendría una capacidad de 210 l/s en dos módulos de 105 l/s con la finalidad de dar versatilidad a la operación, los elementos con los que contará la planta serán los siguientes: pretratamiento, reactor biológico diseñado para la remoción de nutrientes, clarificador secundario, filtración, sistema de desinfección y zona de manejo de lodos; ésta última contará con espesador mecánico de lodos, digestor aerobio, equipamiento para adición de polímero y desaguado.

3.2.4 Alternativas para infraestructura para el reúso de agua.

Estas alternativas deberán considerarse y actualizarse posteriormente al resultado de los estudios Hidrogeológico del acuífero Tecate y Proyecto Piloto de infiltración con agua residual tratada en el acuífero del arroyo Tecate, propuestos en el apartado 2.2.6.2.

Alternativa 1. Ampliación de la línea de reúso mediante la construcción de 2,200 metros de tubería de PVC de 20 cm de diámetro para ampliar la zona de infiltración conocida como “Agua fría”. Esta alternativa presenta la ventaja de contar con mayor área para promover la infiltración, solo requiere de un incremento de carga hidráulica de 20 mca así como potenciales usuarios de agua para uso agrícola.

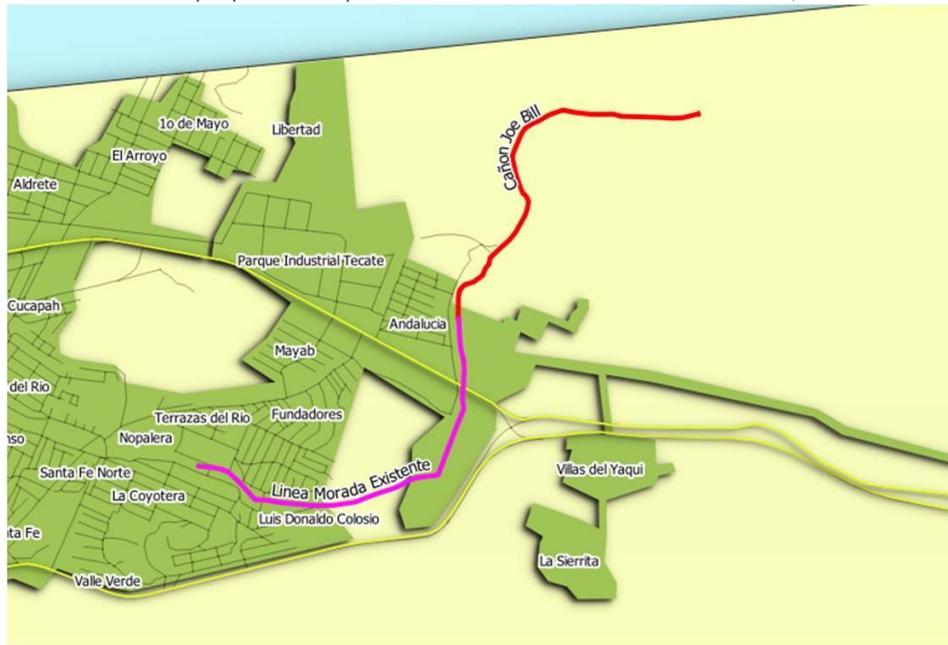
Ilustración 34. Trazo propuesto ampliación de línea de reúso hacia “Agua fría”, alternativa 1



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Ampliación de línea morada mediante la construcción de 3,700 metros de tubería de PVC de 20 cm de diámetro para ampliar la zona de infiltración conocida como cañón “Joe Bill”. Esta alternativa tiene la ventaja de encontrarse aislada de la zona urbana, presentando la desventaja de encontrarse a una mayor distancia y con una mayor carga a vencer (50 mca).

Ilustración 35. Trazo propuesto ampliación de línea de reúso Cañón "Joe Bill", alternativa 2



Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.2.5 Alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación.

3.2.5.1 Alternativas para instrumentación y monitoreo.

Para la implementación de un sistema remoto tipo SCADA (Supervisory control and data acquisition), permitirá realizar labores de medición, supervisión y control de los principales parámetros de operación en la ciudad de Tecate, los sistemas deberán contemplar la adquisición de los siguientes elementos:

1. Sensores de vibración
2. Sensores de temperatura
3. Sensores de presión
4. Sensores de nivel
5. Sensores de gasto
6. Actuadores eléctricos para válvulas de succión y descarga
7. Tablero de control local principal
8. Servidor para sistema de adquisición de datos y control (SCADA)
9. Monitor/display / pantalla
10. Switch ethernet de alto desempeño
11. Rack metálico para montaje de servidores
12. Software de aplicación SCADA/HMI
13. Estación de telecomunicaciones microondas para telemetría.

OBSERVACIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en este Programa se dimensionó la infraestructura necesaria para cubrir la demanda al 2050, las propuestas desarrolladas cumplen dicho objetivo.



CONCLUSIONES

Con la implementación de una infraestructura con las dimensiones propuestas se resolvería en gran medida los problemas de saneamiento de Tecate.

3.3 Evaluación comparativa de costos de inversión, operación y mantenimiento de alternativas.

3.3.1 Alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.

Los costos para la rehabilitación de los colectores están basados en precios índices para cada diámetro de tubería, tanto para el procedimiento constructivo de instalación de tubería en zanjas a cielo abierto como para la instalación de tubería por medio de estallamiento y/o perforación direccional.

3.3.1.1 Rehabilitación del subcolector Industrial.

Alternativa 1. Sustitución de los tramos a cielo abierto mediante instalación de tubería de PVC a zanja abierta.

Tabla 41. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Industrial, alternativa 1

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	2,265,106.97
Reparaciones y reposiciones	3,081.87
Suministro e instalación	3,743,672.36
Albañilería	86,019.68
Acarreos	297,005.10
Señalamientos	16,666.47
Ademes	564,406.10
Reparaciones y reposiciones	46,551.31
Protecciones y registros	676,390.56
Sobreacarreos	49,067.58
Estudios y proyectos	503,617.92
Total de obra	8,251,585.92
Operación	38,739.84
Mantenimiento	116,219.52
Operación y mantenimiento (anual)	154,959.36

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Tabla 42. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Industrial, alternativa 2

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	680,125.66
Reparaciones y reposiciones	3,084.56
Suministro e instalación	7,119,190.59
Albañilería	86,094.82
Acarreos	89,179.36
Señalamientos	16,681.03
Ademes	564,899.10
Reparaciones y reposiciones	46,591.98
Protecciones y registros	676,981.38
Sobreacarreos	14,733.13
Estudios y proyectos	604,341.50
Total de obra	9,901,903.10



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Conceptos	Importe (\$)
Operación	38,739.84
Mantenimiento	116,219.52
Operación y mantenimiento (anual)	154,959.36

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 3. No acción

Los costos de operación y mantenimiento para esta alternativa serán superiores a cualquier proyecto de implementación, ya que las tuberías se encuentran azolvadas con riesgo a colapsar por el desgaste de las mismas, para este caso los costos de operación se estiman en \$38,739.84 y de mantenimiento en \$232,439.04, para un total de \$ 271,178.88 anuales.

3.3.1.2 Rehabilitación del colector Bella Vista

Alternativa 1. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PVC a zanja abierta en el trazo del colector existente.

Tabla 43. Presupuesto de la rehabilitación del colector Bella Vista, alternativa 1

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	1,840,830.92
Reparaciones y reposiciones	2,504.60
Suministro e instalación	3,042,446.96
Albañilería	69,907.38
Acarreos	241,373.22
Señalamientos	13,544.68
Ademes	458,687.48
Reparaciones y reposiciones	37,831.81
Protecciones y registros	549,696.18
Sobreacarreos	39,876.76
Estudios y proyectos	409,285.50
Total de obra	6,705,985.50
Operación	31,483.50
Mantenimiento	94,450.50
Operación y mantenimiento (anual)	125,934.00

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Tabla 44. Presupuesto de la rehabilitación del colector Bella Vista, alternativa 2

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	552,731.66
Reparaciones y reposiciones	2,506.79
Suministro e instalación	5,785,698.57
Albañilería	69,968.44
Acarreos	72,475.22
Señalamientos	13,556.51
Ademes	459,088.14
Reparaciones y reposiciones	37,864.86
Protecciones y registros	550,176.34
Sobreacarreos	11,973.48
Estudios y proyectos	491,142.60
Total de obra	8,047,182.60
Operación	31,483.50
Mantenimiento	94,450.50
Operación y mantenimiento (anual)	125,934.00

Fuente: Elaboración propia, 2020.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Alternativa 3. No acción.

Los costos de operación y mantenimiento para esta alternativa serán superiores a cualquier proyecto de implementación, ya que las tuberías se encuentran azolvadas con riesgo a colapsar por el desgaste de las mismas, para este caso los costos de operación se estiman en \$31,483.50 y de mantenimiento en \$188,901.00, para un total de \$ 220,384.50

anuales.

3.3.1.3 Rehabilitación del subcolector Morelos

Alternativa 1. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PVC a zanja abierta en el trazo del colector existente.

Tabla 45. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Morelos, alternativa 1

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	1,790,881.42
Reparaciones y reposiciones	2,436.64
Suministro e instalación	2,959,892.56
Albañilería	68,010.50
Acarreos	234,823.75
Señalamientos	13,177.16
Ademes	446,241.35
Reparaciones y reposiciones	36,805.27
Protecciones y registros	534,780.61
Sobreacarreos	38,794.74
Estudios y proyectos	398,179.86
Total de obra	6,524,023.86
Operación	30,629.22
Mantenimiento	91,887.66
Operación y mantenimiento (anual)	122,516.88

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Tabla 46. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Morelos, alternativa 2

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	537,733.72
Reparaciones y reposiciones	2,438.77
Suministro e instalación	5,628,708.19
Albañilería	68,069.90
Acarreos	70,508.66
Señalamientos	13,188.67
Ademes	446,631.14
Reparaciones y reposiciones	36,837.42
Protecciones y registros	535,247.74
Sobreacarreos	11,648.59
Estudios y proyectos	477,815.83
Total de obra	7,828,828.63
Operación	30,629.22
Mantenimiento	91,887.66
Operación y mantenimiento (anual)	122,516.88

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 3. No acción



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Los costos de operación y mantenimiento para esta alternativa serán superiores a cualquier proyecto de implementación, ya que las tuberías se encuentran azolvadas con riesgo a colapsar por el desgaste de las mismas, para este caso los costos de operación se estiman en \$30,629.22 y de mantenimiento en \$183,775.32, para un total de \$ 214,404.54 anuales.

3.3.1.4 Rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas

Alternativa 1. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PVC a zanja abierta en el trazo del colector existente.

Tabla 47. Presupuesto de la rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas, alternativa 1

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	2,046,203.42
Reparaciones y reposiciones	2,784.03
Suministro e instalación	3,381,877.88
Albañilería	77,706.60
Acarreos	268,302.05
Señalamientos	15,055.79
Ademes	509,860.99
Reparaciones y reposiciones	42,052.52
Protecciones y registros	611,023.10
Sobreacarreo	44,325.61
Estudios y proyectos	454,947.48
Total de obra	7,454,139.48
Operación	34,995.96
Mantenimiento	104,987.88
Operación y mantenimiento (anual)	139,983.84

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Tabla 48. Presupuesto de la rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas, alternativa 2

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	614,397.23
Reparaciones y reposiciones	2,786.46
Suministro e instalación	6,431,180.64
Albañilería	77,774.48
Acarreos	80,560.92
Señalamientos	15,068.94
Ademes	510,306.35
Reparaciones y reposiciones	42,089.25
Protecciones y registros	611,556.82
Sobreacarreo	13,309.30
Estudios y proyectos	545,936.98
Total de obra	8,944,967.38
Operación	34,995.96
Mantenimiento	104,987.88
Operación y mantenimiento (anual)	139,983.84

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 3. No acción

Los costos de operación y mantenimiento para esta alternativa serán superiores a cualquier proyecto de implementación, ya que las tuberías se encuentran azolvadas con riesgo a colapsar por el desgaste de las mismas, para este caso los costos de operación se estiman en \$34,995.96 y de mantenimiento en \$209,975.76, para un total de \$ 244,971.72 anuales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.3.1.5 3.3.1.5. Rehabilitación del colector Nopalera

Alternativa 1. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PVC a zanja abierta en el trazo paralelo del colector existente.

Tabla 49. Presupuesto de la rehabilitación del colector Nopalera, alternativa 1

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	18,513,744.14
Reparaciones y reposiciones	25,189.49
Suministro e instalación	30,598,727.97
Albañilería	703,077.77
Acarreos	2,427,557.04
Señalamientos	136,222.58
Ademes	4,613,146.42
Reparaciones y reposiciones	380,484.95
Protecciones y registros	5,528,446.07
Sobreacarreos	401,051.57
Estudios y proyectos	4,116,297.12
Total de obra	67,443,945.12
Operación	316,638.24
Mantenimiento	949,914.72
Operación y mantenimiento (anual)	1,266,552.96

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Sustitución de los tramos mediante la instalación de tubería de PEAD con el método de estallamiento y/o perforación direccional.

Tabla 50. Presupuesto de la rehabilitación del colector Nopalera, alternativa 2

Conceptos	Importe (\$)
Terracerías	5,558,974.71
Reparaciones y reposiciones	25,211.49
Suministro e instalación	58,188,365.75
Albañilería	703,691.90
Acarreos	728,903.25
Señalamientos	136,341.57
Ademes	4,617,175.95
Reparaciones y reposiciones	380,817.30
Protecciones y registros	5,533,275.12
Sobreacarreos	120,420.57
Estudios y proyectos	4,939,556.54
Total de obra	80,932,734.14
Operación	316,638.24
Mantenimiento	949,914.72
Operación y mantenimiento (anual)	1,266,552.96

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 3. No acción

Los costos de operación y mantenimiento para esta alternativa serán superiores a cualquier proyecto de implementación, ya que las tuberías se encuentran azolvadas con riesgo a colapsar por el desgaste de las mismas, para este caso los costos de operación se estiman en \$316,638.24 y de mantenimiento en \$1,899,829.44, para un total de \$2,216,467.68 anuales.



3.3.2 Alternativas para Plantas de bombeo principales

Se consideraron 12 acciones para el periodo 2022-2024, por un monto de \$31.03 millones de pesos.

3.3.3 Alternativas para Plantas de tratamiento

3.3.3.1 PTAR Tecate

Alternativa 1: Construcción de nueva planta en el sitio actual en dos módulos de 105 l/s cada uno, a continuación, se presenta los principales valores arrojados por el análisis de dimensionamiento para 210 l/s.

Tabla 51. Costos para PTAR actual sitio, alternativa 1

Costos de obra	Importe (\$)
PTAR Lodos activados, aireación extendida	164,089,655.17
Total	164,089,655.17
Costos anuales de operación y mantenimiento	
Operación	22,966,907.59
Mantenimiento	3,281,793.10
Cárcamos	1,345,717.25
Total (anual)	27,594,717.93

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Alternativa 2. Construcción de PTAR de 210 l/s en un nuevo predio.

Tabla 52. Costos para PTAR en predio nuevo, alternativa 2

Costos de obra	Importe (\$)
PTAR Lodos activados, aireación extendida	140,648,275.86
Adquisición de 20,000 m ² de terreno	75,862,068.97
Ampliación de colector hasta nueva ubicación	72,000,000.00
Total	288,510,344.83
Costos anuales de operación y mantenimiento	
Operación	21,621,190.34
Mantenimiento	2,812,965.52
Total (anual)	24,434,155.86

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Alternativas para infraestructura para el reúso de agua

3.3.4.1 Ampliación de la línea de reúso

Alternativa 1: Continuación de la línea morada mediante la construcción de 2,200 metros de tubería de PVC de 20 cm de diámetro para ampliar la zona de infiltración, en el área conocida como agua fría.

Tabla 53. Presupuesto de ampliación de línea morada, alternativa 1

Costos de obra	Importe (\$)
Construcción de 2,200 metros en tubería de PVC de 20 cm de diámetro	2,860,000.00
Costos de operación y mantenimiento	
Operación y mantenimiento (anual)	43,114.50

Fuente: Elaboración propia

Alternativa 2. Ampliación de línea morada mediante la construcción de 3700 metros de tubería de PVC de 20 cm de diámetro para ampliar la zona de infiltración conocida como cañón “Joe Bill”, los cálculos se presentan en la siguiente tabla:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 54. Costos por la construcción de ampliación de línea morada, alternativa 2

Costos de obra	Importe (\$)
Construcción de 3700 metros en tubería de PVC de 20 cm de diámetro	4,810,000.00
Total	4,810,000.00
Costos anuales de operación y mantenimiento	
Operación y mantenimiento (anual)	72,510.75

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Alternativas para infraestructura para el reúso de agua

3.3.5.1 Sistema de telemetría

Alternativa 1. Se refiere a continuar operando de forma manual los principales cárcamos de bombeo de la ciudad (Escudero, Mirador, Bajío, Rinconada y La Joya), para los cuales se supuso la contrataciones de personal en cada uno de estas instalaciones para cubrir al menos 12 horas de permanencia, y el tiempo restante será cubierto por guardias de seguridad, así como la adquisición de una unidad para realizar recorrido en los restantes cárcamos de bombeo, los costos asociados a esta alternativa se presentan en la siguientes tablas.

Tabla 55. Costos para continuar operando de forma manual los cárcamos, alternativa 1

Conceptos	Importe (\$)
1 unidad nueva tipo Pick Up	344,827.59
Total	344,827.59
Costos anuales de operación	
15 operadores	3,103,448.28
Gasolina	80,689.66
5 guardias	775,862.07
Costos anuales por mantenimiento	
Mantenimiento de unidades nuevas	19,396.55
Total de operación y mantenimiento	3,979,396.55

Fuente: Elaboración propia

Alternativa 2. Los costos por la implementación de telemetría en los principales cárcamos de bombeo como son: Escudero, Mirador, Bajío, Rinconada y La Joya, se estimaron en lo siguiente.

Tabla 56. Costos del sistema de telemetría, alternativa 2

Conceptos	Importe
Instrumentación de telemetría	10,254,290.45
1 unidades nuevas tipo Pick Up	344,827.59
Total	10,599,118.03
Costos anuales por operación	
6 operadores	1,241,79.31
Gasolina	48,413.79
3 guardias	465,517.24
Costos anuales por Mantenimiento	
Mantenimiento del sistema y unidad	221,680.64
Total operación y mantenimiento	1,976,990.98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Resumen de evaluación comparativa de costos de inversión, operación y mantenimiento de alternativas

Proyecto	Indicador	Alternativa 1	Alternativa 2
PTAR Tecate	Inversión total	164,089,655	288,510,345
	Año 1	98,453,793	173,106,207
	Año 2	65,635,862	115,404,138



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

	VPC	441,590,141	529,983,903
Subcolector Morelos	Inversión total	6,524,024	7,828,829
	Año 1	6,524,024	7,828,829
	Año 2		
	VPC	7,891,117	9,195,922
Subcolector industrial	Inversión total	8,251,586	9,901,903
	Año 1	4,125,793	4,950,952
	Año 2	4,125,793	4,950,952
	VPC	9,531,590	11,120,785
Colector Nopalera	Inversión total	67,443,945	80,932,734
	Año 1	33,721,973	40,466,367
	Año 2	33,721,973	40,466,367
	VPC	77,905,999	90,895,203
Colector Lázaro Cárdenas	Inversión total	7,454,139	8,944,967
	Año 1	7,454,139	4,472,484
	Año 2		4,472,484
	VPC	9,016,136	13,027,710
Colector Bella Vista	Inversión total	6,705,986	8,047,183
	Año 1	6,705,986	4,023,591
	Año 2		4,023,591
	VPC	8,111,208	9,037,756
Ampliación de la línea de reúso	Inversión total	2,860,000	4,810,000
	Año 1	1,716,000	2,886,000
	Año 2	1,144,000	1,924,000
	VPC	3,216,428	5,409,446
Sistema de telemetría	Inversión total	344,828	10,599,118
	Año 1	206,897	6,359,471
	Año 2	137,931	4,239,647
	VPC	41,053,706	30,514,591

Fuente: Elaboración propia, 2020.

OBSERVACIONES

Resulta relevante para el análisis de inversión del recurso público los análisis de los indicadores expuestos, sobre todo el del valor presente de los costos, ya que además de considerar el monto de inversión se incluyen los costos de operación y mantenimiento, lo que ayuda a la mejor toma de decisiones para coadyuvar al éxito de la implementación, operación y mantenimiento del sistema.

CONCLUSIONES

Considerar en la toma de decisiones además de la inversión inicial, los montos requeridos para la operación, mantenimiento y reposición de equipo, que es un tema del que han adolecido los sistemas en los últimos años.

3.4 Selección de las alternativas más convenientes.

Para seleccionar las alternativas que consideren diversos aspectos (incluidos el técnico y económico previamente analizados) se propone una metodología para evaluar los proyectos donde se considera desde la ejecución de la obra, la operación del proyecto, su impacto ambiental, el factor económico y su nivel de resiliencia, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 58. Criterios propuestos para la evaluación de alternativas

Criterio general	Criterios particulares	Valor de la ponderación
	Plazo para obtener permisos	2



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Criterio general	Criterios particulares	Valor de la ponderación
Ejecución de obra	Disponibilidad del predio y servidumbres de paso	7
	Posibilidad de imprevistos en la obra	4
	Factibilidad en los servicios	3
	Tiempo de ejecución de obra	5
Operación	Facilidad de operación	6
	Versatilidad de operación	3
	Subtotal	30
Ambiental	Riesgos de contaminación a cuerpos nacionales	10
	Impactos transfronterizos	10
	Impactos en el ecosistema, especies y hábitat	3
	Percepción social	2
	Interferencia del tránsito durante las obras	2
	Salud pública	3
	Subtotal	30
Económico	Valor presente de los costos	30
	Subtotal	30
Resiliencia	Resistencia	5
	Redundancia	5
	Subtotal	10
Gran total		100

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El resultado del ejercicio metodológico que se propone daría un resultado como el que se expresa en la tabla siguiente. Queda la propuesta para enriquecerla y en su momento hacerla partícipe a quien se considere necesario.

Tabla 59. Valoración de alternativas

Proyecto	Alternativa 1	Alternativa 2
PTAR Tecate	59.13	55.93
Ampliación de la línea de reúso	49.88	49.80
Telemetría	14.85	42.15

Fuente: Elaboración propia, 2020.

PTAR Tecate. Aplicando los criterios arriba descritos la alternativa 1 es la mejor evaluada, que implica la construcción de nueva planta en el sitio actual en dos módulos de 105 l/s cada uno.

Ampliación de la línea de reúso. Bajo los criterios previamente expuestos la alternativa 1 es la mejor evaluada, que es la continuación de la línea morada con 2,200 metros de tubería de PVC de 20 centímetros de diámetro para ampliar la zona de infiltración en el área conocida como “agua fría”.

Telemetría. Con la aplicación de los criterios arriba citados la alternativa 2 es la más conveniente, que implica la implementación de telemetría en los principales cárcamos de bombeo (Escudero, Mirador, Bajío, Rinconada y La Joya).

La evaluación de las alternativas de los proyectos de rehabilitación de colectores y subcolectores se analiza a través de la tabla siguiente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 60. Evaluación de alternativas de colectores y subcolectores

Alternativa	Ventajas	Desventajas
1	Se tendrá mayor velocidad y capacidad de las aguas residuales, reduciendo en su totalidad los colapsos o fallas. El material que se propone es más resistente que el que se encuentra actualmente instalado.	El tiempo de construcción es más largo. Afectación al ingreso y salida de vehículos de carga en algunos puntos cercanos a la ciudad. Posibles afectaciones por escurrimiento de aguas residuales al arroyo. Afectaciones a vehículos, peatones y comercios por los cierres viales para la obra.
2	Se tendrá mayor velocidad y capacidad de las aguas residuales, reduciendo en su totalidad los colapsos o fallas. El material que se propone es más resistente que el que se encuentra actualmente instalado. Requiere menor superficie de ruptura y reposición de pavimentos.	El tiempo de construcción es más largo. Afectación al ingreso y salida de vehículos de carga en algunos puntos cercanos a la ciudad. Posibles afectaciones por escurrimiento de aguas residuales al arroyo. Afectaciones a vehículos, peatones y comercios por los cierres viales para la obra El costo de implementación es mayor.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.5 Integración de la cartera de acciones y proyectos.

Una vez que se haya consensado la metodología propuesta y se hayan realizado los talleres con actores involucrados y dependencias del sector, se integraría una cartera de Proyectos para atender la demanda de saneamiento de los próximos 30 años que garantice el cumplimiento de los acuerdos binacionales.

3.5.1 Acciones y proyectos para colectores principales y obras de captación y conducción.

La cartera de proyectos para atender las necesidades de recolección y conducción de agua negra se indican en la tabla siguiente, con el monto estimado para cada una de las alternativas propuestas.

Tabla 61. Acciones y proyectos para colectores principales y obras de conducción.

Proyecto	Inversión total (\$)
Rehabilitación del colector Bella Vista	6,705,985.50
Rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas	7,454,139.48
Rehabilitación del colector Nopalera	67,443,945.12
Rehabilitación del subcolector Industrial	8,251,585.92
Rehabilitación del subcolector Morelos	6,524,023.86
Monto total	96,379,679.88

Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.5.2 Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales

Tabla 62 Acciones y proyectos para plantas de bombeo y rebombeo

Proyecto	Inversión total (\$)
Rehabilitación del Cárcamo Escudero	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo Rincón	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo La Joya	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo El Bajío	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo Colosio	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo Libertad	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo M. Herrera	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo La Sierrita	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo San José (Rosales)	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo Solidaridad (Colinas)	2,586,206.90
Rehabilitación del Cárcamo Mirador	2,586,206.90



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Proyecto	Inversión total (\$)
Rehabilitación del Cárcamo Santa Fe	2,586,206.90
Monto total	31,034,482.76

Fuente: Elaboración propia, 2020.

No se consideraron acciones para las plantas de bombeo principales.

3.5.3 Acciones y proyectos para plantas de tratamiento.

El proyecto para atender las necesidades de tratamiento de aguas residuales se indica en la tabla siguiente, con el monto estimado para cada una de las alternativas propuestas.

Tabla 63. Acciones y proyectos para plantas de tratamiento

Proyecto	Inversión total (\$)	
	Alternativa 1	Alternativa 2
PTAR Tecate	164,089,655.17	288,510,344.83

Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.5.4 Acciones y proyectos para infraestructura para el reúso de agua.

El proyecto para atender las necesidades de reúso de agua se indica a continuación, con el monto estimado para cada una de las alternativas propuestas.

Tabla 64. Acciones y proyectos para infraestructura de reúso de agua

Proyecto	Inversión total (\$)	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Ampliación de la línea de reúso	2,860,000.00	4,810,000.00

Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.5.5 Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación

Un proyecto de infraestructura complementaria e instrumentación se indica en la tabla siguiente, con el monto estimado para cada una de las alternativas propuestas.

Tabla 65. Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación

Proyecto	Inversión total (\$)	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Sistema de telemetría	344,827.59	10,599,118.03

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Adicionalmente, se han identificado una serie de acciones y proyectos esenciales para el funcionamiento de los sistemas de saneamiento, ya descritos en el apartado 2.2 de este documento. Se trata de redes de alcantarillado sanitario obsoletas, redes sanitarias en la cabecera municipal y en la zona rural; asimismo recursos para estudios y proyectos. Todas estas acciones adquieren relevancia puesto que se ubican en la parte alta de la Cuenca del río Tijuana y resultan primordiales para la prevención de escurrimientos y el saneamiento en la parte baja (Tijuana) de dicha cuenca.

Sumando las necesidades para el periodo de planeación 2022-2050 los requerimientos totales se muestran en la siguiente tabla, que ascienden a \$893.96 millones de pesos.

Tabla 66. Resumen de necesidades de infraestructura 2020-2050

Tipo de infraestructura	Número de acciones	GRAN TOTAL (MDP)	PLAZOS DE EJECUCION			
			INMEDIATO	CORTO	MEDIANO	LARGO
			2021	2022-2024	2025-2030	2031-2050
Colectores y emisores	5	96.38		96.38		
Rehabilitación Sustitución	5	96.38		96.38		
Ampliación Reforzamiento						
Plantas de bombeo y rebombeo	12	31.03		31.03		
Rehabilitación Sustitución	12	31.03		31.03		
Ampliación Reforzamiento						
Plantas de tratamiento	1	164.09		164.09		
Rehabilitación Sustitución	1	164.09		164.09		
Sistema de reúso	1	2.86		2.86		
Rehabilitación Sustitución						
Ampliación Reforzamiento	1	2.86		2.86		
Infraestructura complementaria	80	599.60		599.60		
Rehabilitación Sustitución	42	379.01		379.01		
Instrumentación y monitoreo	1	10.60		10.60		
Ampliación Reforzamiento	31	193.61		193.61		
Estudios y proyectos Otros	6	16.38		16.38		
Total	99	893.96		893.96		

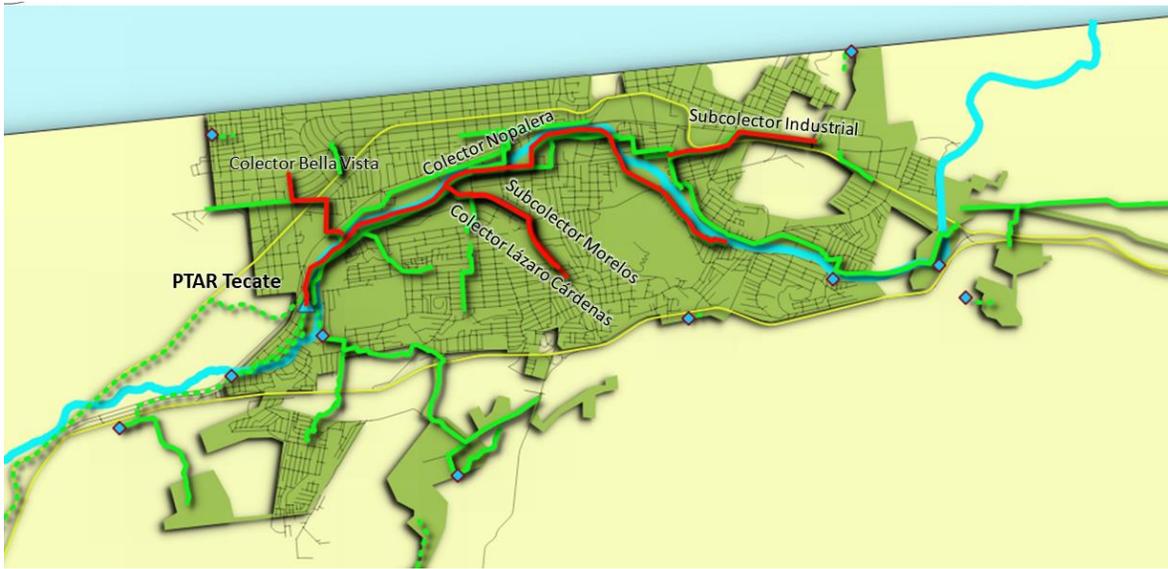
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 36. Esquema de saneamiento 2020.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 37. Esquema de saneamiento 2050



Fuente: elaboración propia, 2020.



4 Organización y alternativas de financiamiento.

4.1 Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento.

Para la implementación del programa y ejecución de los proyectos, programas y estudios se requiere una suma de esfuerzos y mezcla de recursos. En este programa se identifican

las acciones y proyecto para el corto, mediano y largo plazo, que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 67. Modalidades de financiamiento para la infraestructura

TIPO DE INFRAESTRUCTURA	GRAN TOTAL (MDP)	Número de acciones	FUENTES DE FINANCIAMIENTO (MDP)			
			FEDERAL	ESTATAL O MUNICIPAL	NADBANK	PRIVADA
Colectores y emisores	96.38	5	31.33	31.33	33.72	
Rehabilitación Sustitución Reequipamiento Renovación	96.38	5	31.33	31.33	33.72	
Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento						
Plantas de bombeo y rebombeo	31.03	12	15.52	15.52		
Rehabilitación Sustitución Reequipamiento Renovación	31.03	12	15.52	15.52		
Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento						
Plantas de tratamiento	164.09	1	80.40			83.69
Rehabilitación Sustitución Reequipamiento Renovación	164.09	1	80.40			83.69
Sistema de reúso	2.86	1	1.43	1.43		
Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento	2.86	1	1.43	1.43		
Infraestructura complementaria	599.60	80	205.05	205.05	189.50	
Rehabilitación Sustitución Reequipamiento Renovación	379.01	42	94.75	94.75	189.50	
Instrumentación y monitoreo	10.60	1	5.30	5.30		
Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento	193.61	31	96.81	96.81		
Estudios y proyectos Otros	16.38	6	8.19	8.19		
Total	893.96	99	333.73	253.33	223.22	83.69

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El grave rezago de los sistemas se refleja en el gran monto requerido para su óptima operación, para lo cual se propone una mezcla de recursos liderado por aportaciones federales, seguida de participación de la iniciativa privada a través de una APP, el Banco de América del Norte y desde luego el gobierno del estado de Baja California a través del organismo operador.

Resumiendo, la propuesta de modalidades de financiamiento para todas las obras de infraestructura se observa que el 67% del presupuesto se orientaría a la infraestructura complementaria, tan solo el 42 % del total del presupuesto a la rehabilitación de colectores, subcolectores y redes. Y el otro monto considerable (18% del total) es la construcción de una nueva PTAR que sustituya a la actual que ha cumplido su vida útil. La inversión requerida para toda la infraestructura que atienda las necesidades del 2022-2050 asciende a \$871.09 millones de pesos.

4.1.1 Planteamiento de opciones de organización para la realización de estudios y proyectos

La realización de estudios y proyectos se ha visto relegada en los últimos años, lo que se ha convertido en un círculo vicioso, porque no se pueden gestionar o buscar fondos para proyectos al no contar con los estudios respectivos. En tal virtud, existen diversas opciones a las que se puede acceder para los estudios y proyectos de los diversos componentes de la infraestructura de saneamiento que componen este programa, los cuales se describen a continuación.



BANOBRAS

Fondo Nacional de Infraestructura (**FONADIN**) apoya en la planeación, diseño, construcción y transferencia de proyectos de infraestructura con impacto social o rentabilidad económica, en los que participe el sector público y privado. Los tipos de apoyo pueden ser: a) Apoyos recuperables, incluyen el financiamiento para estudios y asesorías, y, b) Apoyos no recuperables, pueden ser aportaciones o subvenciones; en el primer caso, podrán destinarse a estudios y asesorías o a proyectos de infraestructura del sector público con alta rentabilidad social en los que se tenga prevista la participación del sector privado y que cuenten con fuente de pago propia. En el caso de las subvenciones, para proveer equilibrio financiero a proyectos rentables socialmente, pero con baja rentabilidad financiera.

PROMAGUA

A través de apoyos no recuperables para el financiamiento parcial de Estudios y Proyectos, tiene como objetivo incentivar el desarrollo de Proyectos bajo Esquemas de Asociación Público-Privada que permitan a) incrementar y mejorar la calidad de los servicios en materia de cobertura de agua potable y saneamiento, y b) permitan la sostenibilidad operativa y financiera de los entes públicos relacionados con la prestación de los servicios.

CONAGUA

La CONAGUA a través de Convenio Marco signado con el Gobierno del Estado de Baja California (DOF 6 abril 2020) con vigencia al 31 de diciembre de 2024 menciona de forma enunciativa las acciones factibles a realizar en materia alcantarillado y saneamiento a las que se puede acceder para fondear parte de este programa, destacando los siguientes apartados:

Apartado Urbano (**APAUUR**) entre las obras y acciones de primer orden de atención que considera son los proyectos ejecutivos.

Apartado Plantas de tratamiento de aguas residuales (**APTAR**), las obras y acciones que considera de primer orden son: a) Estudios y proyectos para adecuación de plantas de tratamiento, para mejorar la calidad del efluente, para el reúso y para el ahorro de energía, b) Estudios y proyectos en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y de los lodos que generan, así como obras y equipamiento complementario, c) Desarrollo de proyectos piloto para saneamiento, incluyendo aquellos que consideren el suministro de energía a través de fuentes renovables (solar, eólica u otras) y, d) Estudios tarifarios.

CILA

En los últimos años la Comisión Internacional de Límites y Aguas, sección Mexicana, preocupada por los efectos transfronterizos generados por la infraestructura de saneamiento de la zona Metropolitana de Tijuana ha liderado importantes estudios, y se podrían replicar dichos esfuerzos.

Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN)

El Programa de Asistencia para el Desarrollo de Proyectos (**PDAP**) está orientado a apoyar el desarrollo de proyectos, programa de recursos no reembolsables financiado por el Congreso de Estados Unidos, por conducto de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), y



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

administrados por el BDAN. Los proyectos seleccionados para recibir recursos del BEIF también son candidatos para obtener asistencia técnica a través del PDAP. El apoyo está disponible para realizar estudios de planeación, evaluaciones ambientales, proyectos ejecutivos, estudios de factibilidad financiera y actividades de participación comunitaria, entre otros.

USTDA

Agencia para el comercio y desarrollo de los Estados Unidos (US Trade and development agency, USTDA) Organismo de promoción de exportaciones del gobierno de los Estados Unidos, cuenta con diversos fondos para asistencia técnica, desde estudios de factibilidad, capacitación y proyectos ejecutivos. El organismo operador tiene experiencia en trabajar proyectos conjuntos con dicha agencia.

4.1.2 Planteamiento de opciones de organización para la ejecución.

Entre algunas de las opciones para fondear la ejecución de las obras y proyectos derivados de este programa se identifican los descritos a continuación.

Comisión Nacional del Agua

En las Reglas de operación para el programa de agua potable, drenaje y tratamiento (**PROAGUA**, DOF 31 de diciembre de 2019), en el apartado 2.2.2 Priorización de obras y acciones, en el numeral 4 se refiere a “... *Obras y acciones que deriven de un acuerdo internacional...*”. Adicionalmente los programas factibles a aprovechar son los descritos a continuación.

Aparado Urbano (**APAUR**), Orientado a incrementar o sostener la cobertura y mejorar la eficiencia en la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento básico. Consideran de primer orden de atención: incremento de cobertura de alcantarillado, saneamiento básico y rehabilitación de redes de alcantarillado.

Apartado Plantas de tratamiento de aguas residuales (**APTAR**), Apoyo financiero y técnico a obras y acciones: a) Para modificar el sistema de tratamiento en la línea de agua o en la línea de lodo. También las destinadas a instalar o modificar infraestructura de reúso de agua o lodo, así como para ahorro o generación de energía, b) Construcción o ampliación de plantas de tratamiento de aguas residuales, y c) Adecuación de plantas de tratamiento para mejorar la calidad del efluente.

BANOBRAS

Banobras incentiva la participación de Intermediarios Financieros (IF), nacionales y extranjeros, otorgándoles fondeo de largo plazo con condiciones que les permitan participar en los esquemas de financiamiento a proyectos de infraestructura y servicios públicos, a través de líneas de crédito simple y revolvente.

Banobras ofrece el Refinanciamiento Garantizado es un producto que va dirigido a la Banca Comercial, con el objetivo de que participe en el financiamiento a inversión pública o privada en infraestructura y servicios públicos, que esté dentro de los campos de atención de Banobras.

Banco de Desarrollo de América del Norte



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

A través del Fondo de Infraestructura ambiental fronteriza (**BEIF**) administra recursos no reembolsables aportados por la agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), para la ejecución de proyectos de infraestructura municipal de alta prioridad en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento, los cuales se ubican dentro de la franja de 300 kilómetros hacia el sur del límite internacional.

Programa de Apoyo a Comunidades (**PAC**), A través de este programa el BDAN brinda recursos no reembolsables para apoyar la ejecución de proyectos cruciales de infraestructura en poblaciones marginadas, cuyos promotores públicos tienen limitada capacidad de endeudamiento.

Financiamiento, el BDAN otorga financiamiento a entidades públicas y privadas para apoyar la ejecución de proyectos de infraestructura ambiental ubicados dentro de la región fronteriza entre México y Estados Unidos, a través de Créditos directos, líneas de crédito revolventes o participación en emisiones de bonos municipales.

4.1.3 Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento.

Para la operación y mantenimiento de las obras y acciones derivadas de este programa se estará a lo dispuesto en el presupuesto de egresos del Organismo Operador, asimismo para acciones de mantenimiento mayor se podría hacer una mezcla de recursos con la CONAGUA.

También es factible la concesión de operación y mantenimiento de alguna infraestructura, tal es el caso de las PTAR Arturo Herrera, La Morita y Natura I que operan bajo esa modalidad. También se puede aplicar ese esquema en la operación y mantenimiento de Plantas de bombeo.

4.2 Análisis de riesgos y formas de absorberlos o mitigarlos.

4.2.1 Identificación de riesgos (Construcción de matriz).

Toda implementación de un proyecto conlleva asociado uno o varios riesgos que si se identifican y gestionan de forma apropiada no entorpecerá el éxito de dicha implementación. Para este programa se identifican riesgos técnicos, financieros, legales, sociales, políticos, mismos que se describen en la tabla siguiente.

Tabla 68. Riesgos potenciales para la ejecución de los proyectos

Tipo de riesgo	Descripción
Técnico	Demora en la adjudicación el contrato Diseño de ingeniería deficiente Que el caudal recibido sea menor que el estimado y se tendría capacidad ociosa Que el influente a las PTAR sea diferente a los parámetros establecidos en el contrato Que el sistema de recolección y conducción presente fallas para conducir el agua a las PTAR Obsolescencia del equipo y tecnología Condiciones diferentes en campo a las especificaciones del proyecto
Financiero	Retraso en cierres financieros del OO y de los Concursantes Aumento de precios de insumos de la construcción Aumento en los costos fijos y variables Reducción de ingresos estimados por dificultad de incremento a tarifas de los servicios del OO Falta de recursos del OO o de sus contrapartes



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tipo de riesgo	Descripción
Legal	Falta de facultades para entregar en comodato las instalaciones de los proyectos Cambio en normatividad aplicable Diferencias en la interpretación del Contrato entre la empresa y el contratante Dificultades para liberar derechos de paso
Social	Descontento social al publicarse la licitación Descontento de grupos de la sociedad civil y colonos aledaños al proyecto Descontento de grupos organizados
Político	Cambio de administración estatal (pueden cambiar las prioridades) Descontento de grupos gremiales de la construcción Frenar o concluir los proyectos de forma anticipada al cambio de administración Descontento de grupos políticos bajo el argumento que se endeudará al OO
Ambiental	Descontento de grupos ambientales por la destrucción de hábitat natural Interrupción parcial o continua de la operación de la infraestructura que implique incumplimiento de la normatividad ambiental Retraso en la aprobación de las Manifestaciones de impacto ambiental.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se evaluó el impacto de cada uno de esos riesgos mayormente potenciales para cada proyecto del corto y mediano plazo, los cuales se ilustran en la tabla siguiente.

Tabla 69. Matriz de riesgos identificados

Periodo de ejecución	Proyecto	Tipo de riesgo					
		Técnico	Financiero	Legal	Social	Político	Ambiental
2022-2024	PTAR Tecate	X	X	X	X	X	X
	Rehabilitación del colector Bella Vista	X	X		X	X	
	Rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas	X	X		X	X	
	Rehabilitación del colector Nopalera	X	X		X	X	
	Rehabilitación del subcolector Industrial	X	X		X	X	
	Rehabilitación del subcolector Morelos	X	X		X	X	
	Ampliación de la línea de reúso	X	X	X	X	X	X
	Sistema de telemetría		X				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Como se aprecia en la matriz el mayor riesgo identificado es el financiero, por la inseguridad del flujo requerido para la mezcla de recursos para la ejecución del programa. En segundo término, se observa el riesgo técnico que puede hacerse presente en el desarrollo de los proyectos. El tema legal puede ocurrir particularmente por la falta de certeza en la tenencia de la tierra y derechos de paso. Alguna inconformidad social se podría dar principalmente con el proyecto de reúso.

4.2.2 Evaluación de riesgos.

Una vez identificados por posibles riesgos para la implementación de cada uno de los 8 proyectos contemplados al corto y mediano plazo, se procedió a evaluar el nivel de riesgo de cada uno de ellos clasificándolo en alto, medio y bajo (rojo, amarillo y verde respectivamente).

En la tabla siguiente se observa que los riesgos financieros son los que representan el mayor riesgo para la implementación de los proyectos, el aspecto técnico significa un riesgo medio, y el riesgo social representa un riesgo bajo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 70. Matriz de evaluación de riesgos por proyecto

Periodo de ejecución	Proyecto	Tipo de riesgo					
		Técnico	Financiero	Legal	Social	Político	Ambiental
2022-2024	PTAR Tecate	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Rehabilitación del colector Bella Vista	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Rehabilitación del colector Nopalera	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Rehabilitación del subcolector Industrial	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Rehabilitación del subcolector Morelos	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Ampliación de la línea de reúso	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Sistema de telemetría	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Simbología de riesgo:

Alto



Medio



Bajo



4.2.3 Propuesta de mecanismos de mitigación.

Se proponen diferentes mecanismos para la mitigación de riesgos asociados con la implementación de este programa, el desglose se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 71. Propuesta de mecanismos de mitigación de riesgos asociados

Tipo de riesgo	Sugerencia de mitigación
Técnico	Diseñar a detalle el programa de licitación considerando todos los elementos que deben concurrir. Análisis detallado las propuestas licitantes que cumplan con los requerimientos del proyecto Considerar los proyectos de tratamiento y reúso como interdependientes en su operación, por lo que se planeará el inicio de operación de cada uno de ellos. Que el OO mantenga un programa constante de monitoreo de posibles fuentes emisoras de contaminantes, para evitar problemas en el influente de las PTAR Implementar un programa de reposiciones y rehabilitaciones de colectores y subcolectores de forma paralela a este programa para asegurar su ingreso en las PTAR Establecer las condiciones en el contrato para evitar obsolescencia del equipo y tecnología en el corto tiempo.
Financiero	Realizar con anticipación los cierres financieros para evitar demoras Considerar los escenarios del sector construcción postcovid que han realizado diversos organismos internacionales para partir de un contexto realista Ejecutar un programa de rehabilitación de colectores para asegurar su saneamiento en la PTAR Plantear un escenario alternativo en caso de que no se logre captar el flujo de efectivo requerido para hacer frente al pago de las obras o contrato de concesión.
Legal	Que el OO inicie las gestiones para la certeza de los derechos de propiedad sobre los predios de los proyectos Establecer claramente las cláusulas contractuales
Social	Previo a la licitación de las obras comunicarlos a la sociedad haciendo hincapié en sus beneficios Comunicar previamente a los grupos ambientalistas los proyectos, para que se conviertan en promotores de los mismos
Político	Comunicar el proyecto a actores clave que lo promuevan más allá de un cambio de administración Comunicar y difundir ampliamente el proyecto para lograr un respaldo al mismo
Ambiental	Explorar con anticipación las entidades y tiempos requeridos para la infraestructura de reúso Asegurar los estándares de construcción, protocolos de operación y calificación del personal operativo

Fuente: Elaboración propia, 2020.

De esta forma se resumen diferentes mecanismos y estrategias para hacer una planeación de la ejecución del programa y detectar a tiempo los riesgos y poder mitigarlos o eliminarlos.



Bibliografía

Banco de Desarrollo de América del Norte, Comisión Estatal del Agua de Baja California y Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate, (2019) Estudio de tarifas de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate (2020). Proyectos ejecutivos para la rehabilitación de las estaciones de bombeo de agua residual y de las plantas de tratamiento.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate, (2014) Manual de procedimientos del departamento de operación y mantenimiento.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate, (2014) Manual de procedimientos del Departamento de Promoción Social.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate, (2019) Estados financieros (2020-2019).

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate, (2020) Indicadores gerenciales.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate, (2020) Manual General de procedimientos.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate, (2020), Tarifa de julio de 2020.

Comisión Estatal del Agua de Baja California, (2011) Evaluación integral de desempeño operativo de la Planta de tratamiento de aguas residuales Tecate.

Comisión Estatal del Agua de Baja California, (2012) Evaluación integral de desempeño operativo de la Planta de tratamiento de aguas residuales “Cereso El Hongo”.

Comisión Estatal del Agua de Baja California, (2014) Evaluación integral de desempeño de los procesos de espesado de lodos y tratamiento de olores de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tecate (Filtros percoladores).

Comisión Estatal del Agua de Baja California, Comisión Nacional del Agua, (2018) Programa hídrico del Estado de Baja California, visión 2035.

Comisión Internacional de Límites y Aguas, Sección Mexicana (2020) Actas 222, 240, 270, 283, 296, 298 y 311.

Comisión Nacional del Agua, (2015) Atlas del Agua en México 2015.

Comisión Nacional del Agua, (2018) Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

Comisión Nacional del Agua, (2020) Programa Nacional Hídrico 2020-2024.

Comisión Nacional del Agua, (2020). Sistema Meteorológico Nacional.

Secretaría de Gobernación, Diario Oficial de la Federación, (2020) Ley de Aguas Nacionales.

Secretaría de Gobernación, Diario Oficial de la Federación, 09 de diciembre de 2019, Ley Federal de Derechos.

Secretaría de Gobernación, Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988, Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Secretaría de Gobernación y Secretaría de Medio Ambiente y recursos naturales, Diario Oficial de la Federación, 7 de julio de 2020, Programa sectorial derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.

EL Colegio de la Frontera Norte, Fundación Río Arronte, Pro-Natura Noroeste, Proyecto fronterizo de educación ambiental y Abiso, (2017) Diagnóstico socioambiental para el Programa del manejo integral del agua de la cuenca del río Tijuana.

Gobierno de Baja California, Ayuntamiento de Tijuana, Ayuntamiento de Tecate, Ayuntamiento de Playas de Rosarito y Ayuntamiento de Ensenada, Organización de las Naciones Unidas y Secretaría de Desarrollo Social, (2012) Programa de Ordenamiento Zona Metropolitana Tijuana-Tecate-Playas de Rosarito-Ensenada.

Gobierno del Estado de BC. (2020) Plan Estatal de Desarrollo 2020-2024.

Gobierno del Estado de BC. (2019) Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Baja California.

Gobierno del Estado de BC. (2020) Ley que reglamenta el servicio de agua potable en el estado de Baja California.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014), Censos Económicos.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2009) Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tecate, BC.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2015) Encuesta Intercensal.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2016) Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2020) Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL).

Periódico oficial del Estado de Baja California, (2017) Decreto 63. Ley que reglamenta el servicio de agua potable en el Estado de Baja California.

Periódico oficial del Estado de Baja California, (2017) Decreto 64. Ley de fomento a la cultura del cuidado del agua para el Estado de Baja California.

Periódico oficial del Estado de Baja California, (2017) Decreto 65. Ley de las Comisiones Estatales de Servicios públicos del Estado de Baja California.

Periódico oficial del Estado de Baja California, (2017) Decreto 66. Ley de Hacienda del Estado de Baja California.

Presidencia de la República, (2019) Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.

SEMARNAT y CONAGUA, (2012) Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California.

XII Ayuntamiento de Tecate, (2018) Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Tecate, B. C.

XXIII Ayuntamiento de Tecate, (2020) Plan Municipal de Desarrollo 2020-2021.



Acrónimos

°C	Grados centígrados
ANC	Agua no contabilizada
BC	Baja California
BDAN	Banco de Desarrollo del Norte
CEA	Comisión Estatal del Agua de Baja California
CESPT	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana
CILA	Comisión Internacional de Límites y Aguas
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DOF	Diario Oficial de la Federación
EE. UU.	Estados Unidos de América
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares
EPA	Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos
hm ³	Hectómetro cúbico / millones de metros cúbicos
HP	Caballos de Fuerza (Horse Power)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LAN	Ley de Aguas Nacionales
lps	Litros por segundo
NOM	Norma Oficial Mexicana
PB	Planta de bombeo
PEAD	Polietileno de alta densidad
PEH	Programa Estatal Hídrico
pH	Potencial de Hidrógeno
PITAR	Planta internacional de tratamiento de aguas residuales
PNH	Programa Nacional Hídrico
PHR	Programa Hídrico Regional
POE	Periódico Oficial del Estado de Baja California
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVC	Policloruro de Vinilo
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
RH	Región Hidrológica
SAB	San Antonio de Los Buenos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SSA	Secretaría de Salud
SST	Sólidos suspendidos totales
UN	Unidades económicas



Índice de tablas

Tabla 1 Resumen problemática, solución e inversión, Tecate, BC.....	7
Tabla 2. Indicadores de gestión de Tecate, BC.....	9
Tabla 3. Subcuencas de aportación al sistema de alcantarillado.....	10
Tabla 4. Principales colectores y subcolectores.....	12
Tabla 5. Relación de permisos de descargas de las PTAR otorgados a la CESPTE.....	14
Tabla 6. Cárcamos de bombeo de aguas residuales en operación	14
Tabla 7. Volumen generado de agua residual por tipo de usuario	18
Tabla 8. Principales indicadores de Tecate	20
Tabla 9. Plantas de tratamiento del municipio de Tecate	21
Tabla 10. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por CESPTE	22
Tabla 11. Calidad de agua del efluente de las PTAR de Tecate (promedio 2019).....	23
Tabla 12. PTAR que operan en Tecate	23
Tabla 13. Volúmenes de agua reusados en el municipio de Tecate (l/s)	25
Tabla 14. Listado de manuales de Procedimiento por departamento	26
Tabla 15. Costos de operación de las PTAR de Tecate.....	27
Tabla 16. Principales colectores y subcolectores.....	29
Tabla 17. Equipamiento de la PTAR Tecate.....	34
Tabla 18. Condiciones de los sitios de descarga y disposición final.....	38
Tabla 19. Gasto de agua residual generada por zona.	41
Tabla 20. PTAR que operan en Tecate (2018).	41
Tabla 21. Población de proyecto.....	41
Tabla 22. Población histórica.	42
Tabla 23. Aportación per cápita en Tecate.	42
Tabla 24. Generación de agua residual en Tecate.	42
Tabla 25. Generación de agua residual por zona	43
Tabla 26. Análisis de la capacidad del colector Nopalera	44
Tabla 27. Análisis de la capacidad del colector Sur I.....	44
Tabla 28. Estimación de las aportaciones que recibirán las plantas de bombeo	45
Tabla 29. Análisis de la capacidad de la planta de tratamiento Tecate (l/s).....	45
Tabla 30. Proyectos de implementación de infraestructura que han cumplido su vida útil	48
Tabla 31. Redes de alcantarillado sanitario con más de 25 años de antigüedad	48



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 32. Proyectos de alcantarillado sanitario en la zona urbana	50
Tabla 33. Proyectos de alcantarillado sanitario en la zona rural	50
Tabla 34. Análisis de la descarga PTAR Tecate.....	51
Tabla 35. Generación de lodos de las PTAR	51
Tabla 36. Cálculo hidráulico del subcolector Industrial, alternativa 1 y 2	65
Tabla 37. Cálculo hidráulico del colector Bella Vista, alternativa 1 y 2.....	66
Tabla 38. Cálculo hidráulico del subcolector Morelos, alternativa 1 y 2	66
Tabla 39. Cálculo hidráulico del colector Lázaro Cárdenas, alternativa 1 y 2	66
Tabla 40. Cálculo hidráulico del colector Nopalera, alternativa 1	67
Tabla 41. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Industrial, alternativa 1.....	70
Tabla 42. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Industrial, alternativa 2.....	70
Tabla 43. Presupuesto de la rehabilitación del colector Bella Vista, alternativa 1	71
Tabla 44. Presupuesto de la rehabilitación del colector Bella Vista, alternativa 2	71
Tabla 45. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Morelos, alternativa 1.....	72
Tabla 46. Presupuesto de la rehabilitación del subcolector Morelos, alternativa 2.....	72
Tabla 47. Presupuesto de la rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas, alternativa 1	73
Tabla 48. Presupuesto de la rehabilitación del colector Lázaro Cárdenas, alternativa 2	73
Tabla 49. Presupuesto de la rehabilitación del colector Nopalera, alternativa 1	74
Tabla 50. Presupuesto de la rehabilitación del colector Nopalera, alternativa 2	74
Tabla 51. Costos para PTAR actual sitio, alternativa 1	75
Tabla 52. Costos para PTAR en predio nuevo, alternativa 2	75
Tabla 53. Presupuesto de ampliación de línea morada, alternativa 1.....	75
Tabla 54. Costos por la construcción de ampliación de línea morada, alternativa 2	76
Tabla 55. Costos para continuar operando de forma manual los cárcamos, alternativa 1	76
Tabla 56. Costos del sistema de telemetría, alternativa 2	76
Tabla 57. Resumen de evaluación comparativa de costos de inversión, operación y mantenimiento de alternativas.....	76
Tabla 58. Criterios propuestos para la evaluación de alternativas.....	77
Tabla 59. Valoración de alternativas.....	78
Tabla 60. Evaluación de alternativas de colectores y subcolectores	79
Tabla 61. Acciones y proyectos para colectores principales y obras de conducción.....	79
Tabla 62. Acciones y proyectos para plantas de bombeo y rebombeo	79



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 63. Acciones y proyectos para plantas de tratamiento.....	80
Tabla 64. Acciones y proyectos para infraestructura de reúso de agua	80
Tabla 65. Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación.....	80
Tabla 66. Resumen de necesidades de infraestructura 2020-2050.....	81
Tabla 67. Modalidades de financiamiento para la infraestructura.....	83
Tabla 68. Riesgos potenciales para la ejecución de los proyectos.....	86
Tabla 69. Matriz de riesgos identificados.....	87
Tabla 70. Matriz de evaluación de riesgos por proyecto	88
Tabla 71. Propuesta de mecanismos de mitigación de riesgos asociados.....	88



Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Localización geográfica del municipio de Tecate	8
Ilustración 2. Regiones Hidrológico-Administrativas	9
Ilustración 3. Plano de cobertura del sistema de alcantarillado sanitario	11
Ilustración 4. Porcentaje de cobertura de alcantarillado sanitario en Tecate	12
Ilustración 5. Plano de la red primaria de alcantarillado sanitario.	13
Ilustración 6 Cárcamo Bajío.....	14
Ilustración 7. Cárcamo Libertad	15
Ilustración 8. Cárcamo Colosio	15
Ilustración 9 Cárcamo Escudero.....	16
Ilustración 10 Cárcamo La Joya.	16
Ilustración 11 Cárcamo El Rincón	17
Ilustración 12 Ubicación de los cárcamos de bombeo.....	17
Ilustración 13. Esquema del sistema de alejamiento de aguas residuales	19
Ilustración 14. Volumen de agua residual generada y tratada (millones de m3).	19
Ilustración 15. Volumen de agua tratado en la cabecera municipal.....	20
Ilustración 16 Plano de ubicación de la planta de tratamiento Tecate y área de influencia.	21
Ilustración 17 Plano de ubicación de PTAR CERESO El Hongo y área de influencia.....	21
Ilustración 18 Caudales que ingresan a la PTAR Tecate	24
Ilustración 19. Red primaria de reúso de agua residual tratada	25
Ilustración 20. Resultado del ejercicio.	28
Ilustración 21. Colectores en mal estado	30
Ilustración 22. Tuberías con corrosión	33
Ilustración 23. Filtros rociadores.....	33
Ilustración 24. Sedimentador secundario.	34
Ilustración 25 Punto de descarga de la PTAR Tecate al arroyo.....	38
Ilustración 26. Deuda pública a largo plazo.	39
Ilustración 27. Plano de cuencas hidrológicas	43
Ilustración 28. Plano de áreas de cobertura de los cárcamos.....	45
Ilustración 29. Trazo propuesto de rehabilitación del subcolector Industrial, alternativa 1 y 2.	56
Ilustración 30. Trazo propuesto de rehabilitación del colector Bella Vista, alternativa 1 y 2.....	59
Ilustración 31. Trazo propuesto para rehabilitación subcolector Morelos, alternativas 1 y 2	60



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 32. Trazo propuesto rehabilitación colector Lázaro Cárdenas, alternativa 1 y 2.....	61
Ilustración 33 Trazo propuesto para la rehabilitación del colector Nopalera, alternativa 1 y 2.	62
Ilustración 34. Trazo propuesto ampliación de línea de reúso hacia “Agua fría”, alternativa 1	68
Ilustración 35. Trazo propuesto ampliación de línea de reúso Cañón “Joe Bill”, alternativa 2	69
Ilustración 36. Esquema de saneamiento 2020.	81
Ilustración 37. Esquema de saneamiento 2050	82