



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

MEXICALI
BAJA CALIFORNIA

INFORME ESPECIAL

Agosto, 2021





COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONTENIDO

Resumen	4
Introducción	8
1 Diagnóstico de los sistemas de saneamiento de la región	9
1.1 Recopilación y análisis de la información.....	10
1.1.1 Sistema principal de alcantarillado	11
1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales	25
1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada.....	29
1.1.4 Generalidades	34
1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento.....	44
1.2.1 Estado actual de la infraestructura de saneamiento (utilizando semáforo).....	44
1.2.2 Pertinencia de los manuales y políticas de operación	50
1.2.3 Situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra	51
1.2.4 Condiciones de los sitios de descarga y disposición final	51
1.2.5 Costos actuales de operación y mantenimiento	52
1.2.6 Capacidades financieras de los organismos.....	52
2 El déficit de saneamiento en la región.....	55
2.1 Comparación de capacidad de diseño contra demanda actual y futura	55
2.1.1 Demanda actual de saneamiento de aguas residuales	57
2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales	58
2.1.3 Comparación de demanda actual y futura de colectores principales.....	58
2.1.4 Comparación demanda actual y futura de estaciones de bombeo principales.....	62
2.1.5 Comparación demanda actual y futura de plantas de tratamiento.....	63
2.1.6 Comparación demanda actual y futura de agua de reúso	65
2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento.....	65
2.2.1 Reemplazo de la infraestructura que ha rebasado su vida útil.....	66
2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada	71
2.2.3 Incremento de la capacidad de las plantas de bombeo y PTAR.....	72
2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general.....	73
2.2.5 Mejora en la calidad del efluente para cumplir con la normatividad aplicable (y su manejo y disposición de lodos).....	73
2.2.6 Cambios en los programas de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento.....	75
3 Alternativas para atender la demanda futura de saneamiento en la región	76
3.1 Planteamiento de alternativas	77
3.1.1 Planteamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	77
3.1.2 Planteamiento de alternativas para plantas de bombeo principales	82
3.1.3 Planteamiento de alternativas para plantas de tratamiento.....	85
3.1.4 Planteamiento de alternativas de infraestructura para el reúso de agua	87



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.1.5	Planteamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	90
3.2	Dimensionamiento de alternativas usando criterios de resiliencia	91
3.2.1	Dimensionamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	93
3.2.2	Alternativas para plantas de bombeo principales.....	106
3.2.3	Dimensionamiento de alternativas para plantas de tratamiento.....	114
3.2.4	Dimensionamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua	121
3.2.5	Dimensionamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	125
3.3	Evaluación comparativa de costos de inversión, operación y mantenimiento de alternativas.....	125
3.3.1	Evaluación comparativa de costos de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.....	126
3.3.2	Evaluación comparativa de costos de alternativas para plantas de bombeo principales	133
3.3.3	Evaluación comparativa de costos de alternativas para plantas de tratamiento... ..	151
3.3.4	Evaluación de alternativas para infraestructura para el reúso de agua	152
3.3.5	Evaluación de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	154
3.4	Selección de las alternativas más convenientes	156
3.4.1	Seleccionar alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	156
3.4.2	Selección de alternativas para plantas de bombeo principales	159
3.4.3	Selección de alternativas para plantas de tratamiento	160
3.4.4	Selección de alternativas para infraestructura para el reúso de agua.....	162
3.4.5	Selección de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	163
3.5	Integración de la cartera de acciones y proyectos.....	163
3.5.1	Acciones y proyectos para colectores principales y obras de captación y conducción	164
3.5.2	Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales	167
3.5.3	Acciones y proyectos para infraestructura para el reúso de agua.....	167
3.5.1	Acciones y proyectos para plantas de tratamiento.....	168
3.5.2	Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación ...	169
4	Organización y alternativas de financiamiento.....	170
4.1	Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento	170
4.1.1	Planteamiento de opciones de organización para la realización de estudios y proyectos.....	173
4.1.2	Planteamiento de opciones de organización para la ejecución.....	174
4.1.3	Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento	176
4.2	Análisis de riesgos y formas de absorberlos o mitigarlos	177
4.2.1	Identificación de riesgos (construcción de matriz)	179
4.2.2	Evaluación de riesgos	180
4.2.3	Propuesta de mecanismos de mitigación	184



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

5 Bibliografía	185
Acrónimos.....	190
Glosario de términos	191



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Resumen

La ciudad de Mexicali se encuentra situada a 32° 39' de latitud norte, y a 115° 28' de longitud oeste, con una altitud de 10 msnm; es cabecera del municipio de igual nombre, representa 21 % del territorio del estado de Baja California al que pertenece, y alberga la sede de la capital del estado.

Forma parte de un sistema de ciudades junto con Tijuana-Tecate-Ensenada, las cuales conforman un corredor poblacional fronterizo con varias ciudades de Estados Unidos de América, cuya cercanía pone de manifiesto la tendencia a una mayor integración.

La fundación de la ciudad de Mexicali se remonta a principios del siglo XX con el inicio de los trabajos para el riego de tierras agrícolas en el bajo delta del río Colorado.

De acuerdo con proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), la ciudad de Mexicali tiene una población, a diciembre del 2019, de 797,338 habitantes. Se caracteriza por tener un clima de tipo cálido-seco, con temperatura promedio en verano de 38 a 40° C, llegando a registrar máximas de 52° C. La topografía de la zona donde se ubica la ciudad es bastante plana, y las pendientes del terreno hacen necesaria la utilización de sistemas de bombeo para abastecer el agua potable, desalojar las aguas residuales y realizar el drenaje pluvial; en la siguiente tabla se presenta información básica de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento de la cabecera municipal.

El crecimiento de Mexicali fue propiciado por su posición fronteriza con Estados Unidos y por su ubicación cercana al río Colorado, factor de importancia que favoreció el aprovechamiento de sus aguas. De igual forma, la producción agrícola, resultado de las obras de riego, también ha sido base de su crecimiento y prosperidad.

Tabla 1. Información básica de los servicios de agua potable alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Mexicali, Baja California

Coberturas %		Eficiencia del Sistema %	
Agua Potable	99.96	Física	81.87
Alcantarillado	95.46	Comercial	92.75
Saneamiento	95.46	Global	75.93

Fuente: CESPMP; Comisión Estatal del Agua de Baja California.

En la década de los ochenta, del siglo inmediato anterior, se observó un aumento en la infraestructura pública de la ciudad, al haberse construido edificios públicos y nuevas vialidades, entre otras obras.

Después de 1990 el crecimiento espacial de la ciudad se caracterizó, tanto por los asentamientos humanos como por la industria; esta última se concentra en parques industriales en la periferia de la ciudad, y tiene un desarrollo económico diversificado con orientación al mercado exterior.

El giro de actividad ha representado un factor importante en la conformación urbana de la ciudad, pues se observa un fenómeno de concentración urbana con un desarrollo de la mancha urbana hacia lo largo de las vías de comunicación relacionadas con la actividad industrial.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Esta transformación ha sido parte de un proceso en que la actividad agrícola se ha visto reducida por la desactivación en el proceso productivo y la reducción de la inversión pública en la infraestructura de apoyo y obras de beneficio social, que habían sido rasgos característicos en la zona.

Los cambios muestran una nueva vocación económica de la ciudad hacia la actividad industrial y de servicios, lo que podría estar perfilando para el futuro escenarios de fuertes demandas urbanas de equipamiento e infraestructura.

El Sistema General de Alcantarillado y Saneamiento de la ciudad de Mexicali se opera con dos grandes subsistemas que cubren el servicio:

1. PTAR Zaragoza, que concentra 54 % de los volúmenes de aguas residuales generados.
2. PTAR Arenitas, que concentra 46 % de los volúmenes de aguas residuales generados.

La red de alcantarillado se opera apoyada en sistemas de bombeo, en un primer nivel con 19 equipamientos simples, denominados cárcamos de bombeo (CBAR), y en un segundo nivel en 14 plantas de bombeo (PBAR), que son infraestructuras de mayor equipamiento.

El funcionamiento de la red de alcantarillado sanitario opera nominalmente como sistema separado y se ve afectado por diversas condiciones desfavorables, de acuerdo con los resultados de un diagnóstico técnico de la infraestructura, efectuado en el 2016.

La condición de terrenos muy planos es el origen de diversos problemas: más del 41 % de la longitud de líneas tiene pendientes menores a las 2 milésimas, y más del 43 % de la red muestra pendientes en el rango de 2 a 5 milésimas, como un reflejo directo de la zona plana en que se encuentra localizada la ciudad de Mexicali, por lo que es común la necesidad de bombear las aguas residuales. Se presenta, de manera general, la siguiente problemática:

- **Pequeños valores de velocidad que propician azolvamiento y deterioro.** El 31 % de los tramos de tubería opera con velocidades menores a 0.30 m/s, valor recomendado como mínimo en la normatividad de la CONAGUA. Asimismo, existen tramos con algún grado de contrapendiente.
- **Acumulación de azolve en conductos.** Como consecuencia de las bajas velocidades y de las condiciones de contrapendiente, se acumula material de azolve, se producen taponamientos y se reduce la eficiencia de operación.
- **Tuberías antiguas que rebasan vida útil.** Se establece que cerca del 23 % se instalaron entre 1975 y 1995, más del 63 % entre 1995 y el 2015, y el restante 14 % antes de 1975.
- **Puntos de interconexión del drenaje pluvial.** Mediante el diagnóstico técnico, realizado en el 2015, se detectaron más de 2,000 puntos de interconexión del drenaje pluvial al drenaje sanitario.
- **Equipos antiguos de cárcamos y plantas de bombeo.** Existen algunos cárcamos y plantas de bombeo que tienen instalados equipos que ya cumplieron su vida útil y requieren reemplazarse.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- **La planta de tratamiento Arenitas ha visto rebasada su capacidad instalada.** La PTAR Arenitas, ubicada al sur de Mexicali, y que atiende el 46 % de la demanda de saneamiento desde el año 2013, ha visto rebasada su capacidad de tratamiento, que es de 840 l/s, y en algunos meses del año el caudal de llegada es de 1044 l/s, por lo que se pretende su ampliación.
- **La PTAR Zaragoza ocasionalmente incumple con los parámetros de la NOM.** La PTAR Zaragoza, que atiende el 54 % de la demanda de saneamiento, con capacidad de tratamiento de 1300 l/s, recibe en promedio 1127 l/s de aguas residuales; en algunos meses del año incumple con algunos parámetros de la NOM-001-ECOL-1996, como nitrógeno y sólidos suspendidos totales.

Conforme ha ido creciendo la ciudad hacia las diferentes direcciones, el sistema se ha subdividido en cuatro grandes zonas de saneamiento, por lo que a las zonas Mexicali I y Mexicali II se adicionaron Mexicali III y Mexicali IV.

La zona de la ciudad, que corresponde al sistema Mexicali III, ubicada al poniente de la ciudad, todavía tiene baja densidad de población, por lo que existe muy poca infraestructura de alcantarillado y abarca superficies de las colonias Progreso, Zaragoza, y Santa Isabel.

Por otra parte, la zona Mexicali IV” se refiere a la infraestructura construida más recientemente al suroriente de la ciudad, donde la topografía del área en su mayor parte permitió la configuración de un sistema de alcantarillado por gravedad; incluye superficies de las colonias Mariano Abasolo, Ladrilleros, Islas Agrarias y el ejido Puebla.

El crecimiento hacia el año 2050 incluye expansión de la zona urbana de la ciudad de Mexicali y será hacia las zonas Mexicali III y Mexicali IV, que presentan áreas urbanas de baja densidad de población e incluyen áreas que ahora se encuentran despobladas y corresponden a superficies del Distrito de Riego 014 y de las colonias y ejidos cercanos a la ciudad.

Las alternativas para enfrentar el crecimiento de la población, y por ende del área urbana de Mexicali, es aprovechar la infraestructura de saneamiento existente en las plantas de tratamiento, como la PTAR Zaragoza, que aún dispone de aproximadamente 340 l/s para llegar al límite de su capacidad, y la PTAR Arenitas cuya capacidad ha sido rebasada en aproximadamente 204 l/s, pero que actualmente se encuentra en estudio la factibilidad de ampliarla a 1900 l/s, que sería la opción para captar en mayor proporción los volúmenes que se generarán como producto del crecimiento urbano.

Las inversiones identificadas para satisfacer los requerimientos de infraestructura son del orden de 6,049 mdp.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 2. Resumen de la problemática, solución e inversión, Mexicali, B.C.

<p>Problemática</p>	<p>Más del 41% de la longitud de líneas tiene pendientes menores a las 2 milésimas y más del 43% de la red muestra pendientes en el rango de 2 a 5 milésimas, todo esto como un reflejo directo de la zona plana en que se encuentra localizada la ciudad de Mexicali. Por lo que es común la necesidad de bombear las aguas residuales, los problemas presentados son los pequeños valores de velocidad que propician azolvamiento y deterioro, acumulación de azolve en conductos, se producen taponamientos y se reduce la eficiencia de operación, gran parte de la tubería es antigua y rebasa su vida útil, se han detectado más de 2000 puntos de interconexión del drenaje pluvial al drenaje sanitario.</p> <p>Existen algunos cárcamos y plantas de bombeo que tienen instalados equipos que ya cumplieron su vida útil, y requieren reemplazarse.</p> <p>La PTAR Arenitas ubicada al sur de Mexicali, y que atiende el 46% de la demanda de saneamiento, desde el año 2013 ha visto rebasada su capacidad de tratamiento que es de 840 l/s, y en algunos meses del año, el caudal de llegada es de 1044 l/s, por lo que se pretende su ampliación.</p> <p>La PTAR Zaragoza, que atiende el 54% de la demanda de saneamiento, con capacidad de tratamiento de 1300 l/s, recibe en promedio 1127 l/s de aguas residuales, en algunos meses del año incumple con algunos parámetros de la NOM-001-ECOL-1996, como Nitrógeno y Sólidos Suspendidos Totales.</p>
<p>Solución</p>	<p>Reposición de 400 km de tuberías dañadas y que ya cumplieron su vida útil es decir, si se programa el reemplazo de estas líneas en un periodo de 10 años, se requerirá en promedio programar 40 km/año de colectores y atarjeas antiguos, predominantemente PVC en diámetros de 8 a 14 pulgadas.</p> <p>Rehabilitación de 1,035 km de tuberías con daño y deterioro en el corto y mediano plazos, es decir en aproximadamente 10 años.</p> <p>Reposición de equipos de prácticamente la totalidad de los 19 cárcamos de bombeo de aguas residuales (CBAR) en el corto plazo.</p> <p>Con el fin de reducir el riesgo de fallas de bombeo de aguas negras, en lo inmediato se propone rehabilitar las instalaciones e infraestructura de 12 cárcamos existentes que presentan el mayor deterioro que equivalen al 60% de las instalaciones y los restantes 7, en los próximos 3 años, para que así en un periodo de 10 a 15 años se programe nuevamente su rehabilitación.</p> <p>El 45% del total de los 2871 km de atarjeas y colectores acumulan azolve que obstruye parte de su área hidráulica y obstaculiza su operación requerirán de su limpieza en el corto plazo. Si se considera que esto se haga en un plazo de 5 años se tendrán que desazolvar 1290 km a razón de 645 km/año de tuberías azolvadas.</p> <p>Se requiere, la ampliación de la capacidad de la planta de tratamiento las Arenitas que se encuentra rebasada en su capacidad, la adecuación y rehabilitación de las PTAR Zaragoza para obtener la calidad requerida, reponer y rehabilitar tuberías antiguas y deterioradas, sustitución de equipos de bombeo y modernización de las estaciones y cárcamos, así como la rehabilitación de colectores y emisores.</p>
<p>Inversión</p>	<p>Se presenta una cartera de acciones y proyectos para atender la demanda de saneamiento en Mexicali al 2050 por un total de 6,049 mdp para llevar a cabo 70 acciones de los cuales 53 atenderán la problemática de colectores y emisores con una inversión de 5,245 mdp, 10 acciones requeridas para plantas de bombeo y rebombeo con una inversión de 139 mdp, 4 para plantas de tratamiento de aguas residuales con una inversión de 537 mdp, 1 acción para sistema de reúso con una inversión de 71 mdp y 2 acciones que serán destinados para infraestructura complementaria con una inversión de 57 mdp.</p>

Elaboración propia.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Introducción

El presente Programa de Saneamiento de la Frontera Norte a Nivel Gran Visión para Mexicali, Baja California tiene como antecedentes diversos acuerdos plasmados en actas de la Comisión de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (CILCA), y contempla, entre sus objetivos, identificar los requerimientos de inversión en proyectos que permitan atender las necesidades y problemas de saneamiento de esta ciudad en un horizonte de planeación al año 2050.

Se pretende, con el presente estudio, ayudar a identificar las necesidades, las oportunidades y las alternativas de solución en el tema de interés, con el fin de que con estos elementos puedan definirse los ejes principales y las directivas de una futura intervención de las instancias interesadas.

Tomando en consideración los conceptos descritos, el “Programa de Saneamiento de la Frontera Norte a Nivel Gran Visión”, en lo correspondiente a la ciudad de Mexicali, se integró a partir de la obtención y análisis de información básica y, con base en un ejercicio de prospectiva elemental, se buscó el soporte de los requerimientos de inversión y la información considerada relevante para un futuro proceso de toma de decisiones en la selección de este tipo de proyectos.

Como parte de las actividades desarrolladas, se ha procurado, en primer lugar: **la descripción de los servicios de saneamiento de la comunidad**, esbozando lo más específicamente posible los componentes con que cuenta el sistema y las condiciones de funcionamiento y operación de cada uno de ellos. Del análisis anterior deriva la identificación de necesidades de infraestructura, la población objetivo y las características del servicio; en segundo lugar, se trató de verificar que las propuestas planteadas sirvan para atender alguna necesidad no atendida y se brinde atención a los sectores de población en los que la demanda supera la oferta.

Uno de los criterios, que se consideró fundamental para realizar el presente estudio, se refiere a que los planteamientos aquí expuestos compitan con éxito con lo existente en términos de diseño, precio, ubicación y disponibilidad.

Para lo anterior se tomaron como base los datos obtenidos a partir de información de varias fuentes y evaluaciones diversas, con el objeto de definir una cartera base por tipo de proyecto, que contiene la estimación de costos de inversión, riesgos, problemática general y otras informaciones importantes que pueden brindar datos útiles sobre las necesidades y el seguimiento del progreso de cada proyecto y crear, en lo posible, una idea más concreta sobre los hitos y desafíos para hacerlos avanzar hasta su realización.

Teniendo en cuenta que los recursos para invertir en este tipo de infraestructuras son con frecuencia bastante limitados, se busca que el informe sea base de información común entre diversos actores para coordinar esfuerzos en la preparación detallada de los proyectos, que permita llevarlos a su etapa de viabilidad, buscando organizar los recursos requeridos para apoyar la formulación de cada proyecto.

1 Diagnóstico de los sistemas de saneamiento de la región

De acuerdo con proyecciones basadas en datos de los censos de población y tasas de crecimiento del Consejo Nacional de Población, la ciudad de Mexicali tiene una población de 797,338 habitantes. Se caracteriza por tener un clima de tipo cálido-seco, con temperatura promedio en verano de 38 a 40° C, llegando a registrar máximas de 52° C. La topografía de la zona donde se ubica la ciudad es bastante plana, en la que las pendientes del terreno hacen necesaria la utilización de sistemas de bombeo para abastecer el agua potable, desalojar las aguas residuales y realizar el drenaje pluvial, lo que representa costos extraordinarios por la habilitación y operación de obras de infraestructura.

Ilustración 1. Localización de la ciudad de Mexicali, Baja California.



Fuente: INEGI

La Ciudad de Mexicali se ubica al extremo noroeste del Distrito de Riego 014, por lo que es atravesada por alguna infraestructura hidroagrícola, como el dren Mexicali, que nace al este de la ciudad dirigiéndose al sur, y posteriormente hacia el norte, recibiendo en su recorrido aportes de aguas industriales, agrícolas y descargas domésticas. Por otra parte, el río Nuevo es una corriente que atraviesa la ciudad de sur a norte, el cual forma parte del sistema de drenaje natural y agrícola del Valle de Mexicali y presenta un amplio recorrido por la mancha urbana.

Los cuerpos y corrientes de agua que cruzan Mexicali presentan problemas de contaminación, destacando la de río Nuevo que se origina, entre otras causas, por algunas descargas de aguas residuales de origen urbano que recibe del sur de la ciudad, provenientes de los establos, granjas avícolas y porcícolas, y de basura doméstica que se deposita en los drenes agrícolas que cruzan el área urbana o que son vertidas al río.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Es importante destacar que Mexicali es parte de una zona metropolitana, formada por el centro de población de Mexicali y 14 delegaciones denominadas: Algodones, Batáquez, Ejido Hermosillo, Estación Delta, Benito Juárez, Cerro Prieto, Ciudad Morelos, Colonias Nuevas, González Ortega, Guadalupe Victoria, Hechicera, Progreso, San Felipe y Venustiano Carranza, considerada como una unidad geográfica, económica y social para efectos de planeación y regulación del desarrollo de los centros de población.

La estructura urbana del municipio de Mexicali tiene sus antecedentes en una base de pequeñas localidades agrícolas a principios del siglo XX, en un proyecto de desarrollo agrícola del Valle Imperial en Estados Unidos. Con los años, la ciudad de Mexicali evolucionó para consolidarse como la principal localidad de la región binacional.

En las últimas tres décadas Mexicali ha sido escenario de un complejo proceso demográfico y económico. Con el desarrollo de la actividad industrial, apuntalado por el programa de maquiladoras, la zona fronteriza ha logrado una progresiva integración a la economía de México y de Estados Unidos, y en años recientes la atracción de inversiones de diversas partes del mundo, como parte de la dinámica de internacionalización de inversiones que hoy se vive en el mundo entero.

1.1 Recopilación y análisis de la información

La recopilación de información técnica para el presente trabajo de Formulación del Programa de Saneamiento de la Frontera Norte (PSFN), en lo concerniente a la Ciudad de Mexicali y zonas aledañas, comprende información de diversas instancias, como la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM); la Comisión Estatal del Agua de Baja California; la representación en el área de la CILA; la Comisión Nacional del Agua, a través del Organismo de Cuenca de la Península de Baja California; el INEGI; CONAPO; e instancias municipales, como el IMIP, con el objetivo de establecer la situación actual y condiciones generales del servicio y la infraestructura de saneamiento, definir el diagnóstico en ese sentido y determinar las necesidades de los próximos 30 años, es decir a un horizonte del año 2050.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 3. Información técnica recopilada para formular el PSFN

Nº.	DESCRIPCION DEL ARCHIVO	FUENTE
1	Indicadores de gestión del sistema APAS Mexicali - dic 2019	CESPM
2	Requerimiento presupuestal corto plazo (BEIF y otros requerimientos)	CESPM
3	Oficio del Programa de obras PROSANEAR incluye descripción de acciones	CESPM
4	Presentación del programa estratégico de saneamiento de Mexicali-jul-2017	CESPM
5	Presentación PTAR zaragoza y las arenitas, situación a julio 2020, características y distribución de volúmenes tratados	CESPM
6	Descripción de las acciones del Programa de devolución de derechos CONAGUA del año 2020	CESPM
7	Informe de la CESPM para el comité técnico binacional en el mes de enero de 2020 en el que informa la condición de las PTAR y algunos estudios y análisis para solución de problemas	COMI-TÉ TÉCNICO BINACIONAL (CILA)
8	Manejo integral de la PTAR Arenitas, condiciones y uso del agua residual tratada y los beneficios ambientales del reúso	CESPM
9	Diagnóstico técnico de la infraestructura, operación y mantenimiento para los servicios de alcantarillado y saneamiento de Mexicali, BC, que afecta la calidad del agua en el río nuevo, realizado en los años 2015-2016	CESPM
10	Presentación del informe de avances del CTB para el saneamiento de Mexicali, reunión de enero del 2020	CONAGUA
11	Periódico oficial de baja california del 25 de junio del 2010, en el que se publica la declaratoria de la zona metropolitana de Mexicali	SITIO OFICIAL IMIP MEXICALI
12	Estudio de las tarifas bajo diversos escenarios de ingresos y egresos, efectuado con recursos del banco de américa del norte.	SITIO CESPM
13	Análisis de la justificación de la PTAR arenitas y antecedentes de las adecuaciones efectuadas para la mejora del tratamiento	CESPM
14	Documento de la manifestación de impacto ambiental de la construcción de la PTAR arenitas, efectuada en el año 2003.	CESPM

Fuente: CESPM; CILA; CONAGUA; IMIP.

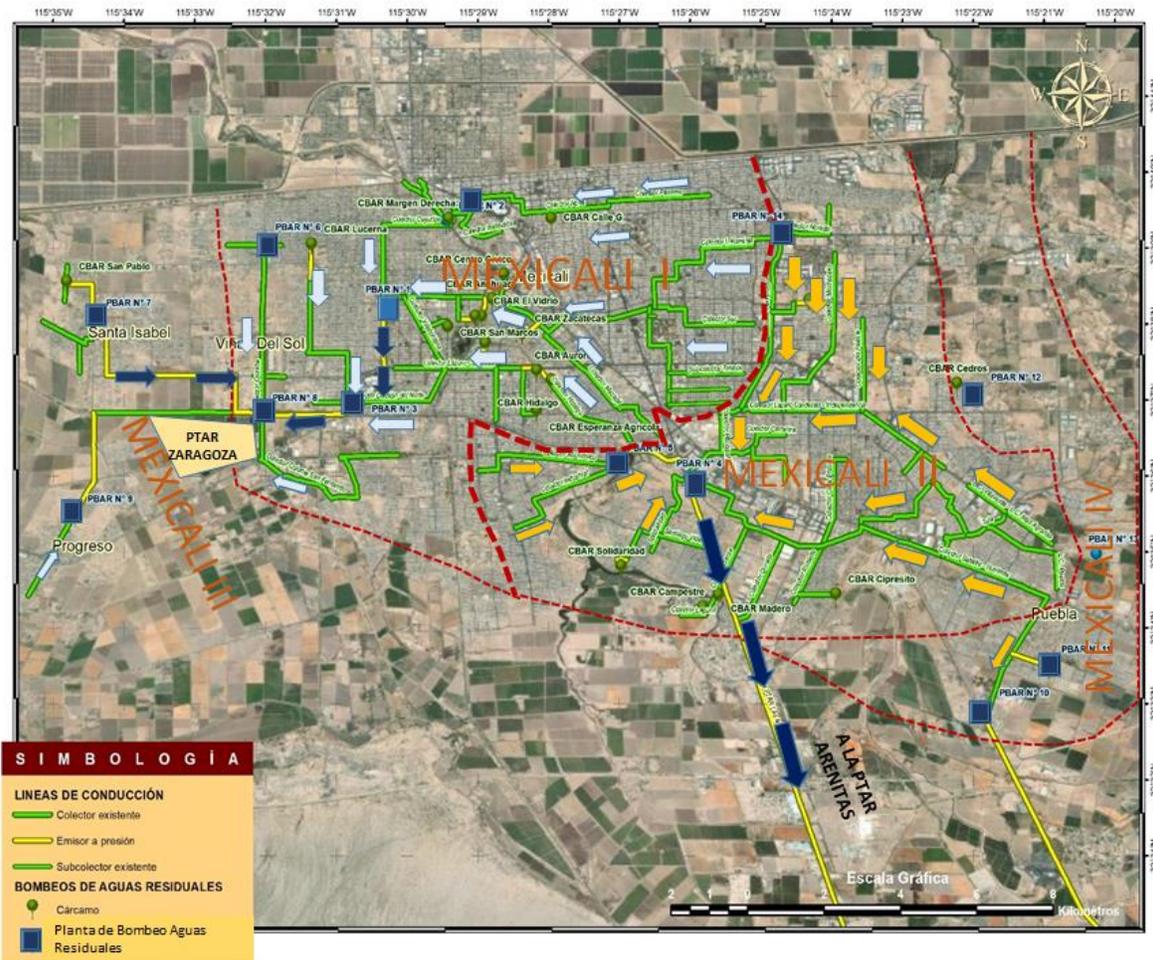
1.1.1 Sistema principal de alcantarillado

El Sistema de Alcantarillado Sanitario de Mexicali operativamente se divide en cuatro zonas de servicio: Mexicali I y II, que abarcan las áreas urbanas antiguas de la ciudad, y Mexicali III y IV, que prestan servicio a la mayor parte de la industria maquiladora y nuevos fraccionamientos urbanos; la primera de estas dos últimas zonas al oeste del área urbana, y la segunda de estas al oriente de la zona urbana.

La red de alcantarillado de la ciudad de Mexicali contaba a diciembre del 2019 con 294,421 descargas domiciliarias (312,782 en el municipio); la red de tuberías tiene una longitud de 2871 km en el área urbana de la cabecera municipal, y 3215 km en total en el municipio. Esta red de

alcantarillado se opera apoyada en sistemas de bombeo, en un primer nivel con 19 equipamientos simples, con caudales denominados cárcamos de bombeo (CBAR), y en un segundo nivel en 14 plantas de bombeo (PBAR), que son infraestructuras de mayor equipamiento.

Ilustración 2. Mapa general del Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de Mexicali



Fuente: CESPM; Comisión Estatal del Agua de Baja California

La red de alcantarillado sanitario opera nominalmente como sistema separado y se ve afectado por diversas condiciones desfavorables, de acuerdo con los resultados del diagnóstico técnico de la infraestructura, efectuado en el 2016.

- **Pequeños valores de pendientes.** En la red de alcantarillado se obtuvo como dato que más del 41 % de la longitud de líneas tiene pendientes menores a las 2 milésimas, y más del 43 % de la red muestra pendientes en el rango de 2 a 5 milésimas, como un reflejo directo de la zona plana en que se encuentra localizada la ciudad de Mexicali, por lo que es común la necesidad de bombear las aguas residuales.
- **Bajos valores de velocidad que propician azolvamiento y deterioro.** El 31 % de los tramos de tubería opera con velocidades menores a 0.30 m/s, valor recomendado como mínimo en la normatividad de la CONAGUA, incluyendo en la conclusión que el 24 % de los tramos tiene



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

algún grado de contrapendiente. Como consecuencia de las bajas velocidades y de las condiciones de contrapendiente, se estima que el 60 % de la red acumula alrededor de 90,000 m³ de material de azolve, condición que reduce la eficiencia de operación. En algunos puntos estas condiciones causan la formación y concentración de gases que producen corrosión en la tubería, especialmente en la clave, sobre todo cuando el material de construcción es concreto simple o reforzado.

- **Tuberías antiguas que rebasan vida útil.** Las tuberías más antiguas, incluyendo las que cumplirán su vida útil en el año 2020, suman más de 520 km con diámetros de entre 20 y 137 cm. Asimismo, se establece que más del 63 % se construyó entre 1995 y el 2015; cerca del 23 % entre 1975 y 1995, y el 14 % antes de 1975. Es importante señalar que 475 km, el 91 % del total, corresponden a tubería de 20 cm de diámetro. Es decir, prácticamente la totalidad de las líneas actuales deberán ser reemplazadas antes del 2050. El 71 % de las tuberías es de material de PVC; cerca del 15 % de ABS; el 21 % de barro, y 1.4 % de concreto. En menor proporción existen líneas de polietileno y de techite.

1.1.1.1 Cobertura de drenaje sanitario

La cobertura de drenaje sanitario en la ciudad de Mexicali es de 95.46 %, lo cual indica que es bastante buena, contrastando con las zonas cercanas, como el Valle de Mexicali, donde apenas es del 30.81 %, o el Valle de San Felipe que tiene el 67.6 %, lo que hace que la cobertura promedio en el municipio de Mexicali sea del orden del 84 %.

1.1.1.2 Red primaria de alcantarillado (colectores, subcolectores y emisores)

La forma en que opera el sistema de drenaje sanitario, la cual se ha implementado históricamente, consiste en la creación de zonas de influencia que inicialmente drenan el agua residual de las descargas domiciliarias a través de las atarjeas que descargan a una red de 2871 km de subcolectores y colectores con funcionamiento por gravedad, que conducen las aportaciones a un cierto punto más bajo de donde se bombea a colectores y subcolectores hasta plantas de bombeo que pueden enviar el agua a presión a otra planta de bombeo o hasta una PTAR.

La operación de la red de alcantarillado sanitario se convierte en una secuencia de captaciones y bombeos desde los puntos de aportación hasta las respectivas PTAR.

Las estaciones de bombeo, que reciben aguas residuales en la red secundaria, y que son infraestructura con equipamientos más simples, es decir uno o dos equipos, son los denominados cárcamos de bombeo (CBAR), de los cuales existen 19, y la infraestructura más equipada son las denominadas plantas de bombeo de aguas residuales (PBAR) de las que a la fecha se tienen 14.

La red de colectores y subcolectores, de 2871 km, está conformada por líneas de diferentes materiales en las que predominan las de PVC con 2254 km, y en menor proporción aún existen tuberías de concreto y barro.

La adecuación de las redes y el sistema de saneamiento en general tiene sus antecedentes en los años ochenta del siglo inmediato anterior, ya que mediante acuerdos binacionales que quedaron asentados en diversas actas de la CILA, se buscó la solución de un fuerte problema de contaminación



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

con impacto transfronterizo, principalmente en el río Nuevo, que es un dren natural que atraviesa la ciudad de Mexicali y continúa por territorio de Estados Unidos.

Acta 264 (CILA) del 26 de agosto de 1980. En esta acta se emitieron las denominadas: "Recomendaciones para la solución del problema fronterizo de saneamiento del Río Nuevo en Mexicali, Baja California-Calexico, California". Los trabajos que se realizarían se orientaban a dar tratamiento a las aguas residuales de la ciudad y a evitar que se continuaran descargando aguas crudas al río Nuevo, y así dar cumplimiento a las recomendaciones para la solución del problema fronterizo de saneamiento, considerado como el más urgente de resolver en beneficio de la salud y el bienestar de los ciudadanos de ambos países.

Acta 274 (CILA) del 15 de abril de 1987. "Proyecto Conjunto para el mejoramiento de la calidad de las aguas del Río Nuevo en Mexicali, Baja California-Calexico, California". En esta acta se consideró que los recursos financieros, aportados por los Gobiernos de México y Estados Unidos, deberían de emplearse en un proyecto que diera como resultado una mejoría significativa de la calidad de las aguas del río Nuevo en la línea divisoria internacional, lo cual se lograría con la rehabilitación de la planta de tratamiento de las aguas residuales del Sistema Mexicali I, y se lograría una mejor calidad del agua tratada descargada en el cruce del río Nuevo hacia Estados Unidos, además de que con la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales del sistema Mexicali II ya no se descargarían aguas negras sin tratar al dren Mexicali, todo ello con impacto en la calidad del agua del río Nuevo.

Acta 288 (CILA) del 30 de octubre de 1992. En esta acta se plasmó el "Plan conceptual para la solución a largo plazo del problema fronterizo de saneamiento del Río Nuevo en Mexicali, Baja California-Calexico, California". En este plan se indicaba que obras eran necesarias para llevar a cabo el saneamiento del río Nuevo.

El proyecto de saneamiento se dividió en dos zonas de la ciudad: **Mexicali I**, que comprendía la parte urbana antigua y poniente, y **Mexicali II**, que consideraba el desarrollo urbano-industrial hacia el suroriente.

En la zona **Mexicali I**, las medidas de saneamiento se enfocaron en rehabilitar y mejorar la prestación del servicio y el rezago de mantenimiento del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Saneamiento.

Entre los colectores más importantes en la zona de Mexicali I podemos mencionar el colector Norte, el colector Sur y el colector Cuyutlán, con 36 pulgadas de diámetro, los cuales descargan sus aguas hacia la PBAR 1.

En la zona **Mexicali II** las acciones comprendieron la construcción de colectores, subcolectores, una planta de bombeo (PBAR 4), un emisor y la planta de tratamiento (Arenitas).

En la zona de Mexicali II los colectores más importantes por los caudales que concentran son el colector Satélite-Nutrimex, que conduce las aguas residuales del suroriente de la ciudad, y el



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

colector Principal, que drena las aguas residuales del noreste; ambos colectores transportan las aguas residuales a la PBAR 4, de donde son enviadas a presión a la planta de tratamiento Arenitas.

La zona Mexicali III se ubica en el extremo poniente, no muy lejos de la planta de tratamiento Zaragoza, al sur de la misma y hacia el poniente donde se ubica el ejido Progreso y un colector con ese nombre.

La zona de la ciudad que corresponde al sistema Mexicali III todavía tiene baja densidad de población, por lo que existe muy poca infraestructura de alcantarillado.

En el 2007 la CESPM presentó la Manifestación de Impacto Ambiental para la “Construcción del Sistema de Alcantarillado Sanitario, Denominado **Mexicali IV**” en la zona suroriente de la ciudad. La topografía de la zona, en su mayor parte, permitió la configuración de un sistema de alcantarillado por gravedad. Las redes de atarjeas vierten el caudal a colectores, como el colector M-4 y el colector Cuernavaca, y posteriormente a cárcamos de bombeo, para de ahí ser enviadas en su totalidad a la planta de bombeo No. 10 y ser conducidas por un emisor a presión a la PTAR Las Arenitas.

La distribución de colectores y caudales captados por zona es la que se presenta en las tablas siguientes, correspondientes a las zonas de influencia de cada una de las plantas de tratamiento.

Tabla 4. Colectores de las zonas Mexicali I y Mexicali II (área de influencia PTAR Zaragoza)

Nombre de colector	Zona	Área de captación (ha)	Gasto l/s
Atarjeas directas a PB No.3	I	14	1.70
Colector Cárcamo G	I	122	14.83
Colector Cárcamo San Marcos	I	42	5.10
Colector Cárcamo Zacatecas	I	33	4.01
Colector Centro Cívico	I	85	10.33
Colector Churubusco	I	145	17.62
Colector Cumulan	I	218	26.49
Colector División del Norte	I	346	42.05
Colector Hidalgo	I	224	27.22
Colector Ignacio Ramírez (Panamá)	I	523	63.56
Colector Independencia	I	178	21.63
Colector Lázaro Cárdenas-Anáhuac	I	536	65.14
Colector Lucerna	I	141	17.14
Colector Mazapil	I	351	42.66
Colector Nacionalista	I	381	46.30
Colector Norte	I	1,266	153.85
Colector Pasadina (Bellavista)	I	139	16.89
Colector Río Nuevo (margen derecha)	I	76	9.24
Colector Río Nuevo (margen izquierda)	I	246	29.90
Colector Sur	I	660	80.21
Colector Venecia (Villafontana)	I	202	24.55
Subcolector (margen izquierda)	I	54	6.56
Subcolector Ayuntamiento	I	56	6.81
Subcolector Cumulan	I	115	13.98
Subcolector Ejército	I	85	10.33
Subcolector Independencia	I	160	19.44
Subcolector Nacionalista	I	210	25.52



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Nombre de colector	Zona	Área de captación (ha)	Gasto l/s
Subcolector Santa Clara	I	95	11.55
Subcolector Torreón	I	88	10.69
Colector Oeste	III	103	12.52
Colector Orizaba Sur	III	446	54.20
Colector Orizaba Norte	III	432	52.50
Colector Plutón (Santo Niño)	III	405	49.22
Colector Progreso	III	310	37.67
Colector Santa Isabel	III	318	38.65
Colector Voluntad	III	743	90.30
Subcolector Las Palmas	III	35	4.25
			1,164.60

Fuente: elaboración propia con información del Diagnóstico de Infraestructura. CESP. 2016

Tabla 5. Colectores de las zonas Mexicali II y Mexicali IV (área de influencia PTAR Las Arenitas)

Nombre	Zona	Área de captación ha	Gasto l/s
Colector Calle Primaria	II	440	53.47
Colector Carranza	II	235	28.56
Colector Colorado	II	152	18.47
Colector Dorado	II	111	13.49
Colector Fco. I Madero	II	161	19.57
Colector Industrial	II	714	86.77
Colector Laguna Xochimilco	II	508	61.74
Colector Lázaro Cárdenas-Independencia	II	397	48.25
Colector Mexicali II	II	163	19.81
Colector Montebello	II	600	72.92
Colector Noroeste	II	788	95.76
Colector Nutrimex	II	1,152	140.00
Colector Periférico	II	276	33.54
Colector Privadas Campestre	II	47	5.71
Colector Robledo	II	344	41.81
Colector Solidaridad	II	249	30.26
Colector Toledo	II	241	29.29
Colector Tula	II	201	24.43
Colector Villa Verde	II	206	25.03
Subcolector Del Palmar	II	200	24.31
Subcolector Monarcas	II	39	4.74
Subcolector Vidaurri	II	319	38.77
Colector Abasolo	IV	69	8.39
Colector Ángeles de Puebla	IV	133	16.16
Colector Islas Agrarias	IV	255	30.99
Colector Ladrilleros	IV	71	8.63
Colector M4	IV	143	17.38
Colector Tierra Cálida	IV	219	26.61
Subcolector Abasolo	IV	190	23.09
Subcolector Rincones de Puebla	IV	4	0.49
Subcolector Saturno	IV	25	3.04
			1,051.46

Fuente: elaboración propia con información del Diagnóstico de Infraestructura. CESP. 2016



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.1.3 Sitios de descarga y disposición final

PTAR Zaragoza

Está ubicada al sureste de la ciudad, en el km 2 de la carretera Mexicali-Tijuana, en los límites de la zona urbana de la ciudad de Mexicali; ocupa una superficie de 207 ha, de las cuales 159 son para el sistema lagunar.

El crecimiento de la ciudad prácticamente absorbe la zona donde se ubica esta infraestructura, y aunque se han realizado manejos y prácticas que han reducido la generación de olores, estos aún persisten, pero son mucho menos perceptibles, por lo que la CESPMB bosqueja algunos planteamientos para modificar drásticamente el proceso de tratamiento que, a pesar de ser menos económico, permita reducir el área de la planta y los malos olores.

En el año 2019 se enviaron a esta planta 1158 l/s, que corresponden al 54 % del agua residual captada en la ciudad (sistemas de drenaje sanitario Mexicali I y III), que se dispusieron de la siguiente forma:

- 201 l/s de aguas residuales sin tratar se vendieron a INTERGEN.
- Ingresaron a la planta 957 l/s para tratamiento.
 - 141 l/s de agua residual tratada se venden a la termoeléctrica de Mexicali.
 - 306 l/s de agua residual tratada son tomados por el módulo de riego No. 20.
 - 6 l/s de agua residual tratada se utilizaron para riego de áreas verdes.
 - 502 l/s de agua residual tratada se descargaron al dren Internacional.

PTAR Las Arenitas

Su acceso se ubica en el km 21 de la carretera Mexicali-San Felipe, con rumbo este hacia Cerro Prieto, dentro del ejido Hipólito Rentería, al sur de la ciudad; ocupa una superficie de 605 has, de las cuales 33 has son para el sistema lagunar que integran la planta, y 100 has de una laguna artificial o humedal inducido, más 120 has de área forestada (ilustración 3).

En los años 2018 y 2019, como parte del Programa de Devolución de Derechos (PRODDER), y mediante una inversión de 18 mdp, se construyó una central fotovoltaica, con capacidad instalada de 500 kW y una producción anual de energía de 850 mil kWh, comenzando su operación en julio del 2019, con lo cual se reduce en la PTAR el costo operativo en este rubro en 32 %, con un plazo de amortización de la inversión de siete años, generando un beneficio ambiental equivalente a 435 toneladas de gases de efecto invernadero.

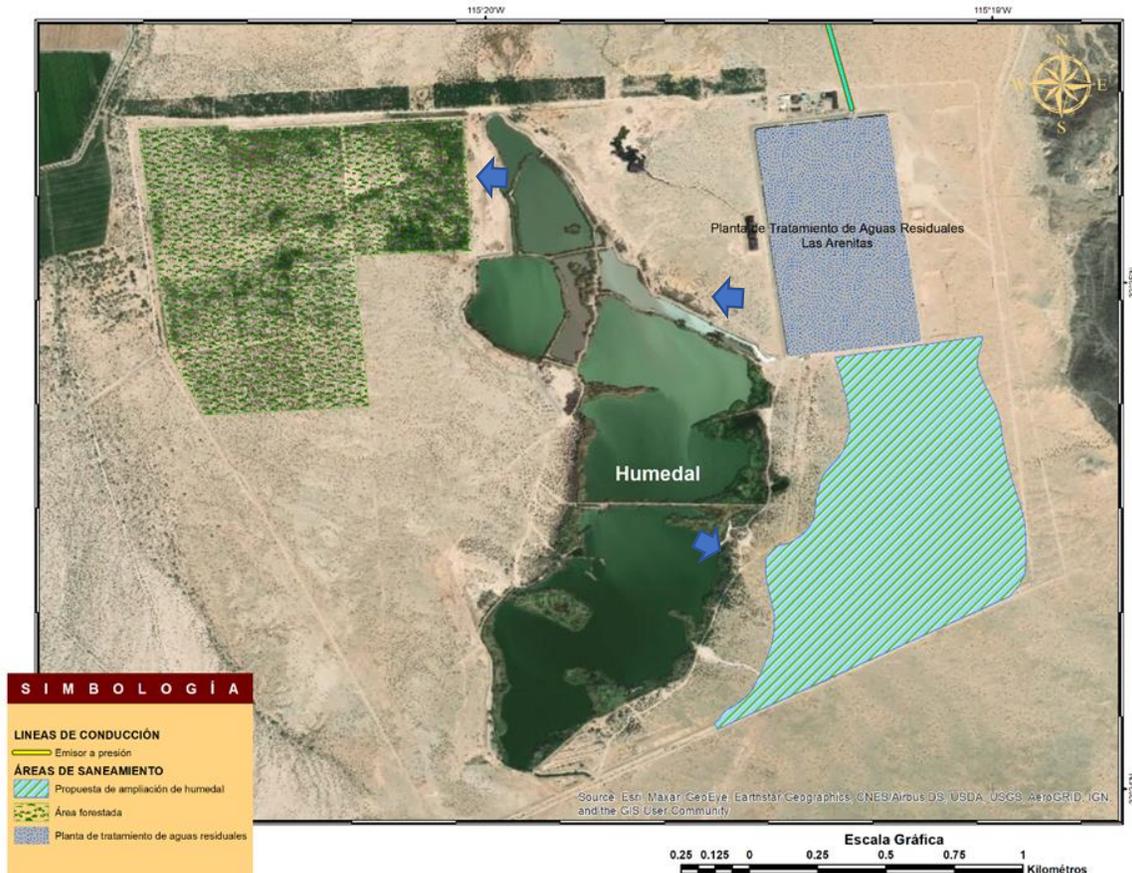
El agua residual tratada de esta planta pasa a un humedal de 99 ha que da tratamiento adicional al agua tratada; se tienen 120 ha de área forestada y 8.35 Hm³ se reutilizan en riego agrícola; el resto se vierte al dren Dos Tubos que descarga en el río Hardy, y finalmente en el río Colorado.

En el 2019 a la planta Arenitas ingresaron para tratamiento 992 l/s de aguas residuales, que representan el 46 % del caudal total captado en la ciudad (sistemas de drenaje sanitario Mexicali II y IV); y, una vez tratados, se dispusieron con la siguiente distribución:

- 98 l/s de agua tratada se utilizó en riego interno.

- 0.4 l/s se utilizaron en la empresa Electro Estrella de Oro
- 62 l/s se emplearon para riego agrícola en el ejido López Mateos.
- 216 l/s se usaron para riego agrícola en el módulo de riego No. 12.
- 616 l/s se descargaron al dren Dos Tubos, que a su vez descarga en el río Hardy.

Ilustración 3. Vista aérea de la PTAR Las Arenitas



Fuente: CESPM.

1.1.1.4 Sistemas de bombeo principales

El área en que se ubica la zona urbana de la ciudad tiene una configuración topográfica prácticamente plana, por lo que para desalojar y conducir las aguas residuales se han tenido que construir instalaciones de bombeo cuya denominación se relaciona con el nivel de equipamiento. A las instalaciones más simples se les ha denominado cárcamos de bombeo de aguas residuales (CBAR), y de manera general se ubican en las zonas de nivel más bajo; es decir, cercanos a las márgenes de los drenes y corrientes que atraviesan la ciudad, como el dren Mexicali o el río Nuevo, y se dispone de 19 de estas estructuras.

Cárcamos de bombeo de aguas residuales

Los cárcamos de bombeo (CBAR) reciben por gravedad el agua residual conducida a través de la red de alcantarillado de una zona determinada, la cual puede abarcar varias colonias. El agua conducida es bombeada de manera automática a un punto de mayor nivel, como pudiera ser un pozo de visita,



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

una caja rompedora de presión o directamente a un colector, y de ahí se dirige por gravedad hacia las plantas de bombeo. Estos cárcamos están equipados con un área de cribas o rejillas para retener y desalojar el material flotante.

En la tabla 6 se presenta la relación de cárcamos de bombeo en los que se señala el desnivel a vencer y el caudal medio estimado en cada caso, respectivamente.

Tabla 6. Relación de cárcamos de bombeo, caudal medio y equipamiento actual.

CÁRCAMO DE BOMBEO	Qmed (l/s)	DESNIVEL	Cantidad de equipos	Potencia por equipo (HP)
San Pablo	5	3.34	1	7.5
Calle G	16	4	2	30
M. Derecha	14	1	2	30
San Marcos	7	4	1	15
El Vidrio	3.5	4	1	15
Anáhuac	6	4	3	7.5
Nueva Esperanza	5	4	3	7.5
Centro Cívico	10	3	2	40
Zacatecas	4	4	2	30
Jardines del Lago	11	5	2	15
Esperanza Agrícola	20	8	2	25
Aurora	7	6	2	15
Hidalgo	30	10	2	30
Lucerna	18	6	2	20
Madero	4	4	2	15
Coronado	6	9	3	5
Solidaridad	21	9	2	15
Cedros	21	6	3	40
Cipresito	3	4	2	5

Fuente: CESPMM

Plantas de bombeo de aguas residuales

Las plantas de bombeo de aguas residuales (PBAR) se ubican más hacia la periferia de las zonas de menor nivel topográfico, y cuentan con mayor equipamiento, pues deben bombear mayores volúmenes de agua que los denominados cárcamos de bombeo (CBAR); de estas PBAR existen 14 estructuras en la ciudad.

Ilustración 4. Instalaciones de la PBAR 4



Fuente—CESPM.

Las plantas de bombeo reciben las aguas residuales provenientes de los cárcamos de bombeo y transportadas por el sistema de alcantarillado de una zona de influencia; su propósito es recibir grandes volúmenes de agua residual y después de un pretratamiento enviarlos a presión a las plantas de tratamiento.

Las plantas de bombeo están equipadas con cribas de limpieza automática para el retiro de sólidos flotantes; desarenadores mecánicos para separar sólidos sedimentables, como lodo, arenillas, etcétera; equipos de bombeo; sistemas de telemetría para monitorear parámetros eléctricos, niveles de agua y medición de flujo; cuarto de operación y controles; generador de energía; sistemas de suavización de agua, para lubricación de equipos, y estaciones de dosificación de productos químicos para controlar la emisión de malos olores.

En la tabla 7 se muestra la relación de plantas de bombeo en las que se señala el gasto medio estimado y capacidad del equipamiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 7. Plantas de bombeo del sistema de saneamiento Mexicali

Planta	Ubicación	Cantidad de Equipos	Gasto medio (l/s)	Capacidad en HP (por c/equipo)
PBAR 1	H. Colegio Militar, Unidad Familiar	4	532	200
PBAR 2	Bulevar de los Presidentes (Río Nuevo y Nayarit	3	200	125
PBAR 3	Carretera a Tijuana km 12, colonia Porvenir	3	250	60
PBAR 4	Avenida de la Plata, entre Zafiro y carretera a San Felipe	4	870	170
PBAR 5	Calzada Gómez Morín y Laguna Xochimilco	4	190	100
PBAR 6	Gómez Morín y Santo Tomás, Misión San Diego	5	70	75
PBAR 7	Camino Nacional y Continente Europeo, colonia Sta. Isabel	4	75	80
PBAR 8	Camino Nacional Zaragoza (atrás de la PTAR Zaragoza)	4	135	150
PBAR 9	Carretera a Progreso, Sta. Isabel, colonia Progreso	3	25	50
PBAR 10	Avenida Xocoat, entre calle Tlatoyos y calzada Rosa del Desierto, Fraccionamiento Valle de Puebla	4	135	385
PBAR 11	Avenida Gobernador, entre calles Campo Algodones y Campo Hortalizas, fraccionamiento Valle de Puebla	2	70	60
PBAR 12	Avenida de Los Maderos, esquina calle Cerro Centinela, colonia Saturno	4	11	85
PBAR 13	Dren Tula, ejido Islas Agrarias	2	25	135
PBAR 14	Bulevar Gómez Morín s/n, La Rivera Cuauhtémoc	4	40	25

Fuente: CESPMM

Esta estructura operativa tiene sus puntos de mayor concentración en las PBAR 1,3 y 8, que envían aguas residuales a la PTAR Zaragoza, y en la PBAR 4 y PBAR 10, que hacen lo propio hacia la PTAR Las Arenitas. Dentro de este esquema cualquier falla en la operación de las plantas de bombeo mencionadas implica la llegada de altos caudales de aguas residuales crudas al cauce del río Nuevo.

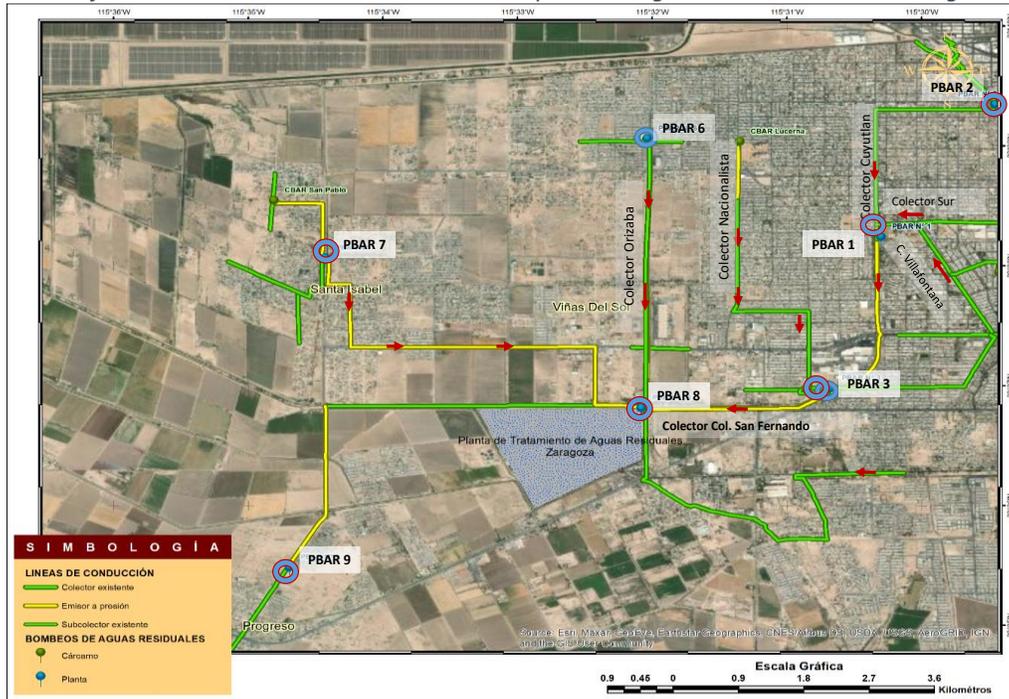
Como ya se describió, la operación del sistema de saneamiento se basa en la captación, conducción y tratamiento de las aguas residuales de la ciudad hacia dos grandes plantas de tratamiento, donde cada una recibe las aguas de una zona importante de la ciudad.

Las PBAR 1, 3 y 8 concentran un importante volumen de aguas residuales para ser enviado a la PTAR Zaragoza para su tratamiento. Ilustración 5.

Destaca la operación de la **PBAR No. 1**, que se localiza entre las calles Paseo de los Héroes y París, en la colonia Militar, al oeste de la ciudad, a la que se interconectan varios colectores y plantas de bombeo cuya operación permite drenar una importante área urbana y enviar a presión, para tratamiento, las aguas residuales de una amplia área urbana a la PTAR Zaragoza.

Los colectores principales que aportan volúmenes a la PBAR N° 1 son los colectores Sur, Cuyutlán, Villa Fontana, así como la planta de bombeo N° 2 y varios cárcamos de bombeo.

Ilustración 5. Infraestructura de alcantarillado sanitario que envía agua residual a la PTAR Zaragoza



Fuente: CESPM

Por otra parte, la PBAR 4 envía un importante volumen de aguas residuales a la PTAR Las Arenitas. Ilustración 6.

Ilustración 6. Infraestructura de alcantarillado sanitario que envía agua residual a la PTAR Las Arenitas



Fuente: CESPM



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La **PBAR 4** se localiza en avenida de la Plata, entre las calles Zafiro y carretera a San Felipe km. 2, en la colonia Satélite, al sureste de la ciudad.

Los colectores CBAR y PBAR, que aportan a la PBAR 4, son: colector Satélite Nutrimex, colector Principal, colector Solidaridad, cárcamo Madero, cárcamo Campestre, cárcamo Solidaridad, cárcamo Noreste, PBAR No. 5 y PBAR No. 11.

1.1.1.5 Volúmenes y tipo de aportaciones de aguas residuales

Los volúmenes de aguas negras, generados en el municipio de Mexicali en el 2019, fueron del orden de 80.475 millones de metros cúbicos, y el volumen de aguas negras recolectadas es de 71.482 millones de metros cúbicos, lo cual equivale al 88.8 % (tabla 8). En la ciudad de Mexicali el volumen generado fue de 71.34 millones de metros cúbicos, y el volumen recolectado de 67.15, que es el 94.1 %. Tabla 9.

De estos volúmenes aproximadamente el 85 % es de origen doméstico, 10 % es generado por descargas comerciales, servicios y gobierno, y el restante 5 % es de origen industrial.

Tabla 8. Aportaciones de aguas residuales en el municipio de Mexicali, BC

CONCEPTO	MUNICIPIO DE MEXICALI			
	ACUMULADO DICIEMBRE		CRECIMIENTO	
	2019	2018	MAGNITUD	PORCENTAJE
Estimación de volumen de agua residual generada en m ³	80,475,655	78,836,565	1,639,090	2.1 %
Volumen de agua residual recolectada por sistemas en m ³	71,482,063	70,900,898	581,165	0.8 %
Volumen de agua residual tratada en m ³	71,482,063	70,894,320	587,743	0.8 %
% de agua residual recolectado	88.8	89.9	-1.1	
% de agua residual tratada respecto a volumen recolectado en sistema.	100	99.99	0.0	

Fuente: CESPM

Tabla 9. Aportaciones de aguas residuales en la localidad de Mexicali, BC

CONCEPTO	CIUDAD DE MEXICALI			
	ACUMULADO DICIEMBRE		CRECIMIENTO	
	2019	2018	VOLUMEN (m3)	PORCENTAJE
Estimación de volumen de agua residual generada en m ³	71,341,286	70,045,214	1,296,072	1.9 %
Volumen de agua residual recolectada por sistemas en m ³	67,151,461	66,574,698	576,763	0.9 %
Volumen de agua residual tratada en m ³	67,151,461	66,568,120	583,341	0.9 %
% de agua residual recolectado	94.1	95.0	-0.9	
% de agua residual tratada, respecto a volumen recolectado en sistema.	100.00	100.0	0.0	

Fuente: CESPM

Con relación al control de las descargas industriales, en enero del 2016 se creó la Oficina de Normatividad, Prevención y Control Ambiental (ONCA), que se encuentra ubicada en la planta potabilizadora 2. Su creación se basó en la NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

los responsables de dichas descargas. La ONCA cuenta con un procedimiento que se sigue con las 40 industrias que pudieran verter aguas altamente contaminantes.

En la tabla 10 se enlistan las 38 industrias más contaminantes que controla la CESPM, ordenadas de mayor a menor, considerando el volumen que descargan al alcantarillado sanitario, que sería uno de los parámetros a considerar para su más estrecha vigilancia.

Tabla 10. Industrias en Mexicali, BC, con mayor volumen de descargas al alcantarillado sanitario 2018

No.	EMPRESA	DOMICILIO	VOLUMEN DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES M3/MES
44	SKYWORKS SOLUTION DE MEXICO S DE RL DE CV	M. GOMRZ MORIN 1690 COL. RIBERA	23,260
7	Bebidas de clase Mundial S.A. de C.V.	Lázaro Cárdenas y carranza col Plutarco Elías Calles	19,072
52	UTS GOODRICH AEROSPACE DE EMXICO S DE RL DE C V	V CARRANZA 238 D. INDUSTRIAL COLORADO	18,967
9	Sabritas S. de R.L. de C.V.	Vía de la Producción # 58 Pimsa III	15,542
22	LN Safety Glass (5,012 Y 7,639, dos descargas)	Calle Galaxia No. 99 Pimsa I	12,651
34	Valutech Outsourcing S.A. de C.V. (1,138 Y 9,805 dos descargas)	Gómez Morín y Corredor Industrial Palaco No. 569 Parque Industrial las Californias	10,943
2	Fruvemex S.A. de C.V.	Lázaro Cárdenas # 2198 Col. Plutarco Elías Calles	9,500
8	Jumex Mexicali S.A. de C.V.	Lázaro Cárdenas # 4098 Col. Diez División 2	6,131
43	SUNPOWER CORPORATION MEXICO S DE RL DE CV	L CARDENAS 3101 PI CAMBRIDGE	5,521
10	Bimbo S.A. de C.V.	Lázaro Cárdenas # 2012 Col. Plutarco Elías Calles	5,068
42	TETRA PACK PLAASTICO DE MEXICO SA DE CV	EUCALIPTO 2399-A PI CALAFIA	4,625
16	Kellogs S. de R.L. de C.V.	Calle Siderúrgica No. 101 Col. Colorado Dos	3,519
1	Unión de Pasteurizadores de Juárez S.A. de C.V.	Km. 3 Carretera a San Felipe Col. Rivera Campestre	3,152
51	GRAHAM PARKAGING PLASTIC PRODUCT DE MEXICO S DE RL DE CV	V CARRANZA 33 PI PALACO	2,689
6	Novamex México S.A. de C.V.	Av. Granadas # 135 Col. Ampliación Xochimilco	2,684
41	ASCOTECH SA DE CV	CIRCUITO DEL PROGRESO # 27 PI PROGRESO	2,318
35	Rockteenn Mexico S. de R.L. de C.V. (antes Stone Container de México)	Av. de los Columnistas No. 900 Desarrollo Industrial Monterrey	2,180
49	MOLINOS DEL SUDESTE SA DE CV	INDUSTRIAL PUEBLA 562 PI VALLE DEL PUEBA	1,819
46	SPECTRUM BRANDS HHI MEXICO S DE RL DE CV	CIRCUITO SIGLO XXI # 1991 PI EXX XXI	1,818
3	Wabash Technologies S.A. de C.V.	Av. de la Eficiencia # 2700 Pimsa IV	1,812
47	INDUSTRIA VALLERA MEXICALI SA DE CV DIVISION MARTECH MEDICAL PRODUCTC	MERCURIO 46 PIMSA I	1,631
26	Ivemsa S.A. de C.V.	Av. Brasil No. 2699 Pimsa IV	1,620
36	Newell Rubbermaid Mexicali S. De R.L. de C.V.	Calzada Héctor Terán Terán No. 2898 Parque Industrial Marán.	1,595
15	SDS de México S.A. de C.V.	Circuito Sur # 31 Parque Industrial Nelson	1,560
27	Honeywell Productos Automotrices	Calle Industria de la Electrónica No. 44 PI EL VIGIA	1,441
25	Accuride internacional S.A. de C.V.	Circuito Norte No. 6 Planta Este y en la No. 8 la Oeste del Parque Industrial Nelson	1,350
28	Veladoras del Pacífico S.A. de C.V.	Boulevard Benito Juárez Km. 5.5 Col Sánchez Taboada	1,350
45	SDS DE MEXICO S DE RL DE CV	CIRCUITO SUR 31 PI NELSON	1,310
40	Industrial Vallera de Mexicali S.A. de C.V.	Círculo de las Misiones Norte No. 172 Parque Industrial Las Californias	1,300
39	Cajas Agrícolas	López Mateos Km 5.5 Centro Industrial Melgar	1,250
5	Kern's Beverages de México S. de R.L.	Lázaro Cárdenas # 4200 Col. Diez División 2 Mexicali B.C.	1,183
23	B. I. Tecnologías S.A. de C.V.	Círculo de la Amistad No. 102 Parque Industrial Mexicali IV	1,140
11	Chromaloy S.A. de C.V.	Galaxia # 91 y Mercurio No. 18 Parque Industrial Pimsa IV.	1,082
37	J. Cox de México S.A. de C.V.	San Luis Colorado No. 1151 Villas del Colorado Mexicali, B.C.	1,012
32	Dataproducs Imagine Solutions S.A. de C.V.	Círculo de la amistad No. 2701 y 2700 Parque Industrial Pimsa IV	950
13	Allen del Norte S.A. de C.V.	Carretera a San Luis Río Colorado Km. 10.5	912
12	Barcel S.A. de C.V.	Av. Robledo Industrial y Calle Piñon Desarrollo Industrial Colorado	715
21	Industrial Vallera de Mexicali S.A. de C.V.	Calle Galaxia y Mercurio Parque Industrial Mexicali I.	715
18	Isoclíma de México S.A. de C.V.	Venus No. 23 Pimsa I Mexicali, B.C.	650
4	Tecnologías Internacionales S.A. de C.V.	Círculo de la Amistad # 2752 Pimsa IV Mexicali B.C.	553
33	Ivemsa S.A. De C.V. y/o (Dafmex S. de R.L. de C.V..)	Galaxia y Júpiter No. 72 Parque Industrial Pimsa I	551
24	Expopartes S.A. de C.V.	Círculo de la Amistad No.138 Parque Industrial Mexicali IV	547
19	Panacea Productos S. de R.L. de C.V.	Círculo Progreso No. 50 Parque Industrial Progreso	461
31	Profesional Recycling S.A. de C.V.	Lago Xochimilco No. 2383 Fracc. Xochimilco	450
17	Prodofi S. De R.L. de C.V.	Calzada Del Oro No. 2060 Parque Industrial Palaco	350
20	Mex-dmtpcbc S. de R.L. de C.V.	Calle Júpiter No. 193 Parque Industrial Pimsa I	314
50	MEXTEARINAS SA DE CV	L MATEOS KM 5.5 FRACC LAS PALMAS	213
48	ORTHODENTAL SA DE CV	INDUSTRIA DEL ACERO 18 PI EL VIGIA	151
30	Liberty Cartón S. de R.L. De C.V.	Calzada Robledo s/n , Desarrollo Industrial Colorado.	123
14	Accuride Internacional	Circuito Sur # 6 Parque Industrial Nelson	CERRO
29	Empaques de Cartón Títan	López Mateos Km. 5.5 Fracc. Las Palmas	CERRO
38	Interiores Aéreos S.A. de C.V.	Lázaro Cárdenas # 2385 Col. Elías Calles Parque Industrial El Vigía.	CERRO

Fuente: CESPM



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales

El sistema de saneamiento, en el área urbana de la ciudad de Mexicali, se compone básicamente de dos PTAR: Zaragoza y Arenitas. Aunque existen en la zona otras tres plantas de tratamiento, casi todo el volumen generado por la ciudad se dirige a las dos plantas citadas.

Las tres PTAR antes mencionadas se ubican: una en la Universidad Autónoma de Baja California, con una capacidad de tratamiento de 10 l/s; otra en el CETYS, con 7 l/s, y una más en el Instituto Tecnológico de Mexicali, con 7 l/s, ubicadas cada una en las instalaciones de esos centros de educación superior; cuentan con sistema de tratamiento a base de lodos activados.

Con estas instalaciones la CESPAM da tratamiento al 100 % del agua residual captada, que generan los usuarios domésticos, comerciales e industriales de la ciudad de Mexicali, y al 100 % del agua residual captada en las localidades que cuentan con alcantarillado en el Valle de Mexicali y San Felipe.

La PTAR Zaragoza tiene una capacidad de 1300 l/s, recibe 1158 l/s, que es el 54 % del agua residual captada en la ciudad, y que hasta ahora es suficiente para el tratamiento de las aguas generadas en la zona que atiende.

Esta planta comenzó su operación en el año 1969; el proceso de tratamiento que ahí se realiza es a base de lagunas con aireación superficial; cuenta con equipo de pretratamiento, tres lagunas aireadas de mezcla parcial, tres lagunas de sedimentación, seis lagunas facultativas y dos lagunas de maduración y desinfección con cloro gas.

La PTAR Las Arenitas comenzó su operación en el año 2007, con una capacidad de diseño de 840 l/s y un sistema de tratamiento a base de lagunas con aireación superficial. La planta recibió en promedio 992 l/s, que es el 46 % del agua residual captada en la ciudad.

Arenitas consta de cuatro lagunas aireadas de mezcla parcial, cuatro lagunas de sedimentación, cuatro lagunas facultativas y cuatro lagunas de maduración y desinfección con cloro gas.

Esta planta, por otra parte, se ha visto rebasada en su capacidad media en casi el 20 %, con gastos máximo-horarios que duplican ese porcentaje. Las otras plantas son La Rosita, planta particular que trata las aguas para el enfriamiento en los procesos de la termoeléctrica La Rosita (INTERGEN); las tres restantes son plantas pequeñas que se ubican en instituciones de educación superior dentro de la ciudad.

1.1.2.1 Cobertura de tratamiento de aguas residuales

Se estima que se recolecta el 88.8 % del agua residual que generan los usuarios. Al cierre del 2019 se trataron 71.48 Mm³ de agua residual recolectada en los sistemas que van a las plantas de tratamiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.2.2 Ubicación de las PTAR y áreas de aportación

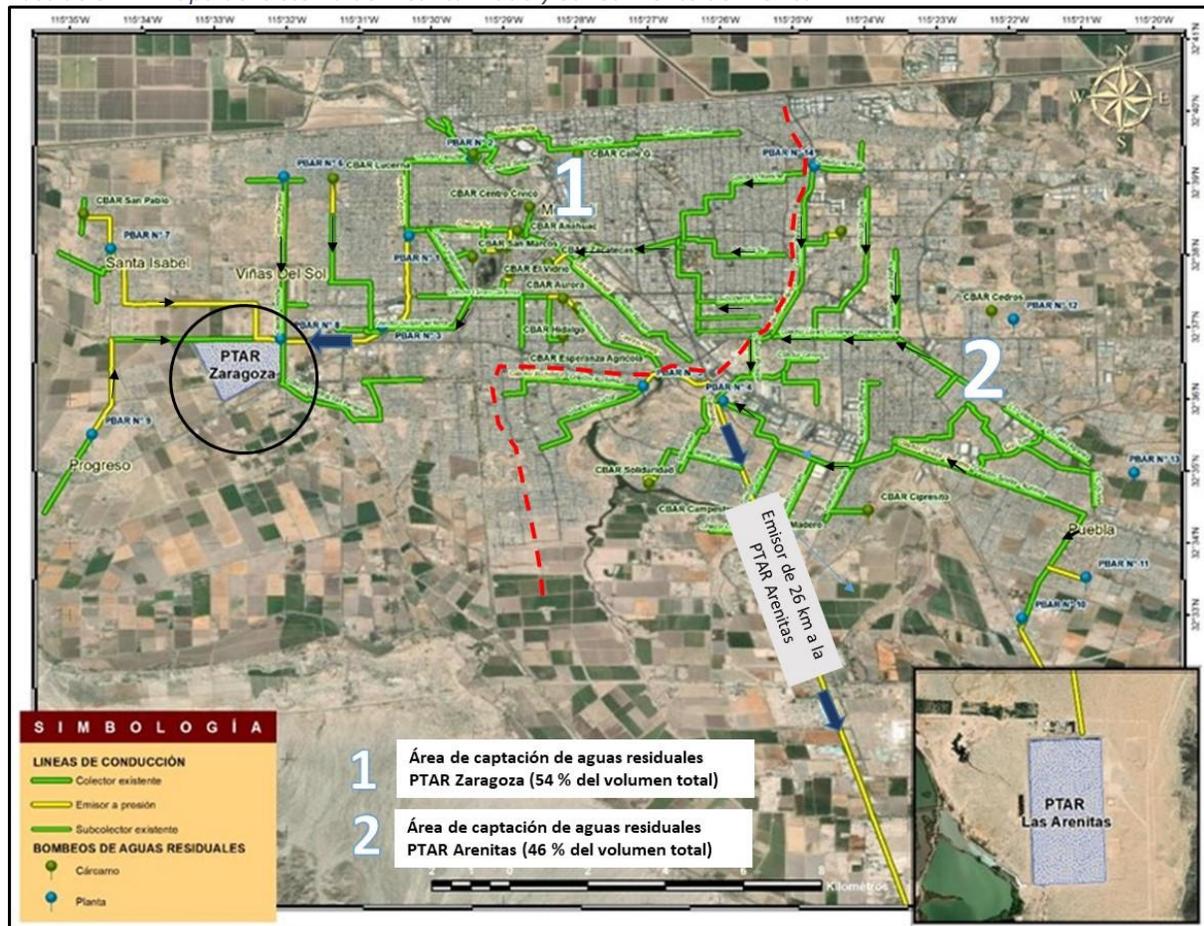
PTAR Zaragoza

Está ubicada al sureste de la ciudad, en el km 2 de la carretera Mexicali-Tijuana, en los límites de la zona urbana de la ciudad de Mexicali; ocupa una superficie de 207 hectáreas, de las cuales 159 son para el sistema lagunar. Las zonas que aportan a la PTAR Zaragoza son Mexicali I y Mexicali III (ilustración 7). En esta planta se trata el 54 por ciento de las aguas captadas por el sistema de alcantarillado de la ciudad, que en el año 2019 fue de 36.2 millones de metros cúbicos.

PTAR Arenitas

Se localiza en el kilómetro 25 por la carretera a San Felipe, al sur de la ciudad. Fue construida en un terreno que ocupa 603.4 hectáreas; en esta planta se trata el 46 % de las aguas captadas por el sistema de alcantarillado en la ciudad de Mexicali, que en el año 2019 fue de 30.87 millones de metros cúbicos. Las zonas que aportan a esta planta son Mexicali II y Mexicali IV. Ilustración 7. .

Ilustración 7. Mapa del Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de Mexicali



Fuente: CESPM.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.2.3 Proceso y normas que cumplen las PTAR

Las dos plantas de tratamiento de aguas residuales principales de Mexicali tratan el agua mediante un sistema lagunar con aireación superficial para cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-1996, con los siguientes arreglos:

PTAR Zaragoza (capta el agua de los sistemas Mexicali I y III):

El sistema lagunar cuenta con la siguiente infraestructura:

- Pretratamiento
 - Sistema lagunar con aireación superficial (23 de 30 Hp y 9 de 50 HP).
 - Capacidad de diseño de 1300 l/s (recibe 1127 l/s (54 % del AR captada en la ciudad).
 - 3 lagunas aireadas de mezcla parcial.
 - 3 lagunas de sedimentación.
 - 6 lagunas facultativas.
 - 2 lagunas de maduración.
- Desinfección con cloro gas.

Los parámetros principales que deben cumplirse, conforme a la NOM-001-ECOL-1996, para descarga en ríos y uso público urbano, son:

Tabla 11. Parámetros de la NOM-001-ECOL-1996, a cumplir por la PTAR Zaragoza

PARÁMETRO	PROMEDIO MENSUAL (P.D.)	PROMEDIO DIARIO (P.D.)
Sólidos suspendidos totales (SST)	75 mg/l	125 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	75 mg/l	150 mg/l
Nitrógeno total (N)	15 mg/l	60 mg/l

Fuente: CESPMM

La PTAR Arenitas (capta el agua de las zonas Mexicali II y Mexicali IV), y el tren de tratamiento es el siguiente:

- Pretratamiento
 - Sistema lagunar con aireación superficial (24 de 15 Hp y 4 de 30 HP).
 - Capacidad de diseño de 840 l/s (recibe hasta 1044 l/s 46 % del AR captada en la ciudad).
 - 4 lagunas de mezcla parcial.
 - 4 lagunas de sedimentación.
 - 4 lagunas facultativas.
 - 4 lagunas de maduración.
- Desinfección con cloro gas

Las aguas residuales de una importante zona de Mexicali son conducidas mediante un emisor a presión, de aproximadamente 26 km al sur de la ciudad, para su tratamiento, y se descargan fuera de la cuenca del río Nuevo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Los parámetros principales que deben cumplirse, conforme a la NOM-001-ECOL-1996, para descarga en ríos y uso público urbano, son:

Tabla 12. Parámetros de la NOM-001-ECOL-,1996, a cumplir por la PTAR Arenitas

PARÁMETRO	PROMEDIO MENSUAL (P.D.)	PROMEDIO DIARIO (P.D.)
Sólidos suspendidos totales (SST)	75 mg/l	125 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	75 mg/l	150 mg/l
Nitrógeno total (N)	15 mg/l	60 mg/l

Fuente: CESPM

1.1.2.4 Capacidad instalada y operación actual

PTAR Zaragoza

Está diseñada para manejar un flujo de 1300 l/s y una carga orgánica a la descarga de 30 mg/l como DBO₅, 40 mg/l como SST, y 15 mg/l como nitrógeno total. En esta planta, en el año 2019 se trataron en promedio 957 l/s, con máximos de 1127 l/s.

De acuerdo con lo especificado en las bases de diseño, los parámetros de calidad a la salida podrán cumplirse sólo si la calidad del agua residual a la entrada de la planta no rebasa un DBO₅ de 200 mg/l, SST hasta de 250 mg/l y nitrógeno total de 20 mg/l.

Aunque la carga orgánica del afluente no es elevada, por los procesos de su remoción no siempre ha sido posible cumplir con la normatividad en SST, principalmente en el verano, y en nitrógeno total en invierno, con valores escasamente por arriba del máximo permisible.

Esta situación fue ignorada por algún tiempo y no se hizo notoria hasta incrementarse el volumen generado por la ciudad, al verse reflejada la descarga de la planta Zaragoza en la calidad del agua del río Nuevo, entonces se hizo patente que el tratamiento no cumplía con la calidad requerida, por lo que fue necesario realizar algunas acciones para su mejoramiento que, a través de los años, con la instalación y modernización de algunos elementos, ha sido factible el cumplimiento con los parámetros de la normatividad.

PTAR Arenitas

Entró en operación en marzo del 2007, con el fin de resolver un problema internacional, evitando que las aguas residuales sin tratar continuaran escurriendo por el río Nuevo hacia EUA.

En 2019 esta planta trabajó con un flujo promedio de 986 l/s, lo cual indica que existió una operación 17.5 % por arriba del diseño.

La situación imprevista, de que en pocos años la capacidad de diseño fuera insuficiente, ha motivado que la CESPM considere el proyecto de su mejoramiento y ampliación.

La tabla 13 presenta datos de los caudales mensuales promedio de operación de la PTAR Arenitas, desde que comenzó a operar en el 2007 hasta el año 2019, y en ella se señalan en amarillo los meses en que se ha visto rebasada su capacidad, que es de 840 l/s. Se observa que desde el año 2013 esta capacidad es insuficiente; y en el 2019, en los meses de agosto y septiembre, recibió caudales de 1044 l/s.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 13. Gastos mensuales (l/s) promedio de operación bombeados a la PTAR Las Arenitas

Mes/Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	-	660	707	760	753	764	769	819	806	853	908	895	929
Febrero	-	591	731	756	756	772	771	825	825	849	893	896	907
Marzo	541	562	722	734	735	806	781	835	842	846	890	903	921
Abril	597	689	711	643	714	774	791	831	835	877	879	858	946
Mayo	605	734	750	709	730	754	811	849	861	893	904	853	962
Junio	619	746	769	750	759	751	839	872	889	931	925	940	985
Julio	580	753	784	759	796	759	876	885	891	933	938	992	1015
Agosto	675	764	777	759	794	837	882	917	917	951	958	1017	1044
Septiembre	708	806	786	785	801	851	891	887	936	966	987	1032	1044
Octubre	713	772	769	807	800	823	877	883	918	952	964	1045	1032
Noviembre	723	759	763	688	764	795	873	854	880	924	960	979	1037
Diciembre	690	751	743	773	777	785	841	834	848	917	909	954	1015
Promedio	645	716	751	744	765	789	833	858	871	908	926	944	986

Fuente: CESPM

1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada

De los 1158 l/s que se captan en los sistemas Mexicali I y Mexicali III, y que se transportan a la PTAR Zaragoza, el 56.5 % se reutilizan en los siguientes usos:

- 201 l/s se venden a INTERGEN sin tratar para su reúso en sus procesos.
- 141 l/s se vendieron a la termoeléctrica de Mexicali.
- 306 l/s los utilizó el módulo de riego N° 20.
- 6 l/s se usaron en riego urbano.

Las aguas tratadas en la PTAR Las Arenitas tienen el siguiente reúso.

La PTAR Arenitas, construida a 23 kilómetros al sur de la ciudad de Mexicali, fue diseñada para descargar su efluente a un dren agrícola (dren Dos Tubos), el cual a su vez descarga en el río Hardy, para luego unirse al río Colorado.

Para desarrollar el sistema de tratamiento de aguas residuales en Las Arenitas, la SEMARNAT estableció para su autorización que se llevara a cabo un programa de forestación, con el objeto de revertir el cambio ocasionado por el uso de suelo, proponiendo crear un cerco vivo con plantas nativas para conservar el ecosistema, surgiendo así el programa de forestación en 120 hectáreas.

El efluente de la PTAR es vertido en un vaso artificial de geometría irregular, con una extensión de aproximadamente 100 hectáreas, y profundidades que varían de 0.7 hasta 3.5 metros, que se ha convertido en humedal y ayuda a incrementar el tiempo de retención y la superficie de insolación. El diseño del humedal artificial tiene como objetivos:

1. Brindar un tratamiento adicional a las aguas residuales proveniente de la planta de tratamiento Las Arenitas, y mejorar la calidad del agua descargada al dren Dos Tubos.
2. Generar un beneficio ecológico al crear humedales que sirvan de hábitat para especies de vida silvestre, y que brinde oportunidades recreativas y de educación ambiental.

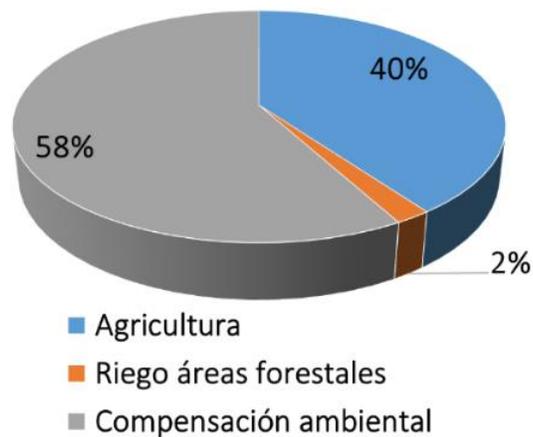


COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La PTAR Las Arenitas descarga 944 l/s en el río Hardy, que desemboca en el río Colorado, aunado a otras tres pequeñas plantas de tratamiento. Entre los usos de agua que se le dan al efluente de la PTAR Las Arenitas, se encuentran la compensación ambiental, agricultura y riego de áreas forestales. Ilustración 8. .

Ilustración 8. Uso del agua residual tratada (efluente) de la PTAR Las Arenitas

27.4 hectómetros cúbicos anuales de Agua Residual Tratada



Fuente: CESP (2016)

1.1.3.1 Cobertura de red reúso

PTAR Zaragoza

En el año 2019 la PTAR Zaragoza recibió 1158 l/s, que es el 54 % del agua residual captada en la ciudad. Hasta esta planta son conducidas las aguas residuales de los sistemas de drenaje sanitario Mexicali I y III, que se distribuyeron de la siguiente forma:

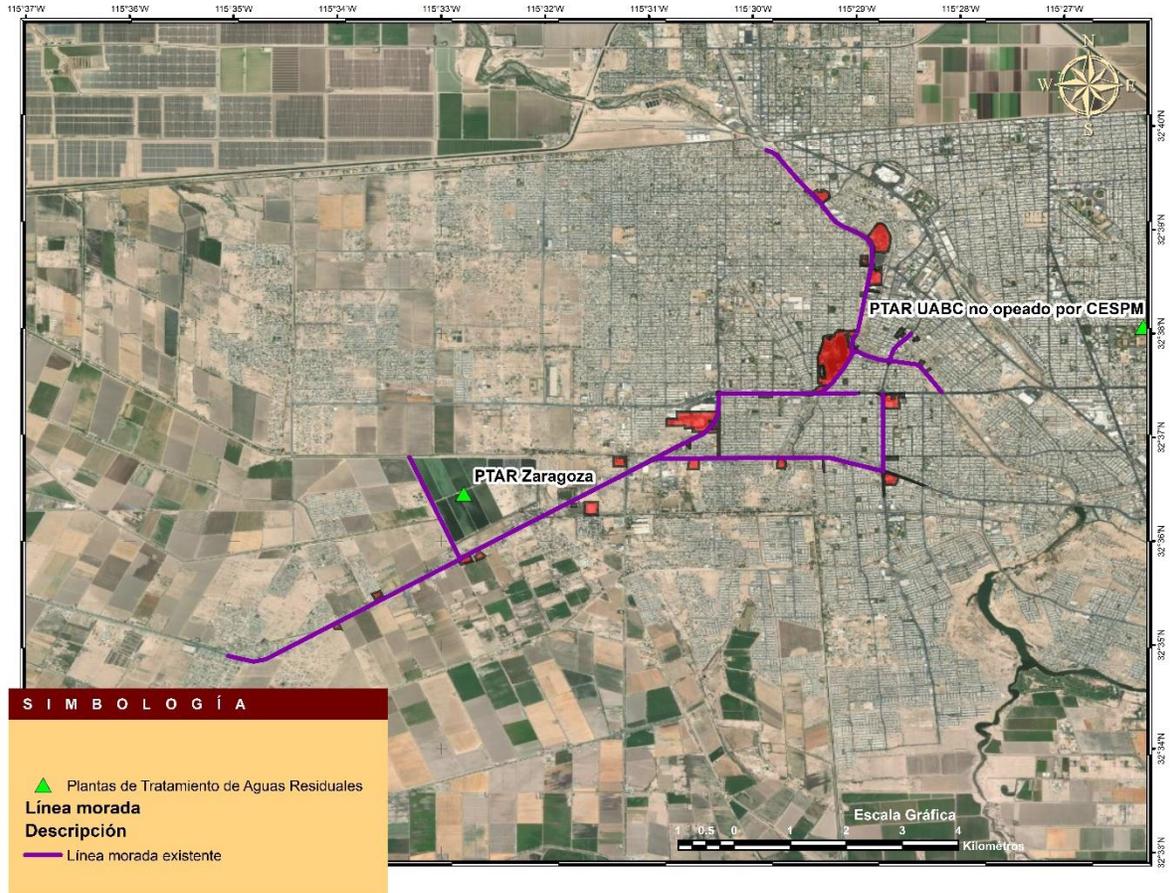
- 201 l/s de agua residual sin tratar se vendieron a la empresa INTERGEN.
- A la planta ingresaron para tratamiento 957 l/s, que tuvieron el siguiente reúso:
 - 141 l/s se vendieron a la planta termoeléctrica de Mexicali.
 - 306 l/s fueron tomados por el módulo de riego No. 20.
 - 6 l/s se utilizaron para riego de parques y camellones.
 - 502 l/s se descargaron al dren Internacional.

No existe una sola red como tal para reúso de las aguas tratadas; de esta planta sale una red morada de aproximadamente 25 km de longitud, para riego de jardines y camellones, y de la que en el 2019 el caudal reutilizado fue de 6 l/s. Para los demás usos las aguas residuales tratadas son tomadas en diferentes sitios, como en el caso del uso agrícola que lo deriva del dren Internacional. Los caudales entregados a INTERGEN se desvían de la red antes de entrar a la planta de tratamiento.

La red morada que parte de la PTAR Zaragoza se muestra en la ilustración 9; el agua residual tratada que conduce esta red se reutiliza en riego de camellones, pasa por el bosque, por la ciudad y por

algunas instalaciones públicas como la Comisión Estatal del Agua de Baja California, para terminar cerca de la línea fronteriza.

Ilustración 9. Red morada existente a partir de la PTAR Zaragoza



Fuente: elaboración propia

En la PTAR Arenitas una parte del volumen se utiliza en un área forestada y se envía mediante un conducto directo, ya que esta zona de 120 hectáreas se ubica dentro de las 603.4 hectáreas que tiene la planta; la parte del caudal tratado en el humedal se descarga al dren Dos Tubos, que finalmente descarga al río Hardy, afluente del río Colorado.

En el 2019 ingresaron a la planta 992 l/s, que es el 46 % del agua residual captada en los sistemas de drenaje sanitario Mexicali II y IV, y se distribuyeron de la siguiente forma.

- 98 l/s de fueron para riego interno.
- 0.4 l/s fue tomada por la empresa Electro Estrella de Oro.
- 62 l/s se descargaron en el ejido López Mateos.
- 216 l/s fueron tomados por agricultores del módulo de riego No. 12.
- 616 l/s se descargaron al dren Dos Tubos.

Ilustración 10. Vista aérea de la PTAR Las Arenitas



Fuente: CESPM (2016)

1.1.3.2 Calidad y uso de los efluentes

PTAR Zaragoza

Está diseñada para manejar un flujo de 1300 l/s y una carga orgánica de 75 mg/l de DBO5, 75 mg/l de SST y 40 mg/l de nitrógeno total; en el año 2019 se trataron 899 l/s.

Aunque la carga orgánica del afluente no es elevada, por los procesos de su remoción no es posible cumplir con la normatividad en SST, principalmente en el verano, y en nitrógeno total en invierno, con valores escasamente por arriba del máximo permisible.

La planta se construyó en los años setenta del siglo pasado, permaneciendo por bastantes años prácticamente sin atención. Al aumentar el volumen generado por la ciudad, y al verse reflejada su descarga en la calidad del agua del río Nuevo, que no cumplía con la calidad acordada, fue necesario realizar acciones para su mejoramiento a través de los años. Con la instalación y modernización de algunos elementos ha cumplido con los parámetros del Acta 260 de la CILA.

Para el año 2018 los resultados de los análisis se presentan en la tabla 14, año en que, sin embargo, se presentaron algunos meses en que se incumplió con la NOM-001-ECOL-1996, principalmente con el parámetro del nitrógeno total.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 14. Resultados para el año 2018 del análisis de indicadores de calidad y uso de efluentes de la PTAR Zaragoza

MES	DQO		DBO5		SST		GRASAS Y ACEITES		COLIFORMES FECALES		NITRÓGENO TOTAL		FÓSFORO	
	AFL	EFL	AFL	EFL	AFL	EFL	AFL	EFL	AFL	EFL	AFL	EFL	AFL	EFL
Límite NOM	-	-	- 75 mg/l		- 75 mg/l		- 15 mg/l		1000 NMP/ 100 ml		- 40 mg/l		- 20 mg/l	
NOM -SEMARNAT -001-1996														
Enero	584	184	271	52	243	34	62	9	NA	2.965	52	47	NA	5
Febrero	609	174	274	46	318	42	55	9	NA	354	52	46	NA	6
Marzo	611	193	264	48	288	28	53	9	NA	17	59	47	NA	7
Abril	445	158	183	28	129	44	68	9	NA	36	50	46	NA	6
Mayo	353	164	159	24	152	66	64	9	NA	3	52	41	NA	5
Junio	415	166	203	11	202	45	48	9	NA	5	48	35	NA	5
Julio	416	145	183	16	286	74	40	9	NA	7	49	31	NA	4
Agosto	344	146	101	20	100	66	28	9	NA	3	NA	28	NA	5
Septiembre	410	194	135	29	108	56	37	9	NA	534	45	29	NA	5
Octubre	409	161	285	19	112	46	25	9	NA	3	46	34	NA	5
Noviembre	478	166	142	24	242	90	36	9	NA	21	48	38	NA	5
Diciembre	487	158	214	17	203	58	34	9	NA	7	50	43	NA	5
Promedio	463	167	201	28	199	54	46	9	NA	330	50	39	NA	5

Fuente: CESP.M. Nota: AFL= Afluente EFL=Efluente

La planta se construyó a finales de los años sesenta del siglo pasado, sus efluentes permanecieron por muchos años prácticamente sin atención. Al aumentar el volumen generado por la ciudad, y al verse reflejada su descarga en la calidad del agua del río Nuevo, que no cumplía con la calidad acordada, fue necesario realizar acciones para su mejoramiento. A través de los años, con la instalación y modernización de algunos elementos, ha cumplido con los parámetros del Acta 260 de la CILA.

PTAR Arenitas

Esta planta fue diseñada para manejar un flujo de 840 l/s, así como una carga orgánica en el efluente de 150 mg/l de DBO5, 125 mg/l de SST y 60 mg/l de nitrógeno total; sin embargo, en el año 2019 ingresaron caudales máximos de hasta 1044 l/s con lo que su capacidad se vio rebasada en 204 l/s.

La planta de tratamiento Arenitas consta de cuatro módulos, los cuales deben tratar un gasto de 210 l/s, cada uno. Para mejorar la calidad del efluente, a esta planta se le agregó un humedal de casi 100 hectáreas de superficie. La tabla 15 presenta los resultados de muestreos en el 2019.

Tabla 15. Resultados de muestreos en el efluente durante el año 2019 en la PTAR Las Arenitas

DESCRIPCIÓN DEL SITIO	FECHA	DBO5	DQO	S.S.T.	NITRÓGENO TOTAL
		ppm	ppm	ppm	ppm
LMP NOM 001 SEMARNAT-1996		150	200	125	60
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	17 y 18-Ene-19	58.90	173.66	24	48.8447
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	18 y 19-Feb-19	35.20	145.44	36	22.8514
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	05 y 06-Mzo-19	42.60	163.2	56	50.1259
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	02 y 03-Abr-19	19.30	179.66	48	50.4123
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	14 y 15-May-19	28.45	168.48	84	41.0669
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	17 y 18-Jun-19	16.26	171.93	76	34.6385
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	09 y 10-Jul-19	17.60	157.68	56	35.5516
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	13 y 14-Ago-19	36.53	120	48	32.2841
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	18 y 19-Sep-19	20.26	135.07	80	28.0831



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

DESCRIPCIÓN DEL SITIO	FECHA	DBO5	DQO	S.S.T.	NITRÓGENO TOTAL
		ppm	ppm	ppm	ppm
LMP NOM 001 SEMARNAT-1996		150	200	125	60
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	08 y 09-Oct-19	21.30	266.11	68	34.9414
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	12 y 13-Nov-19	24.35	174.52	80	42.0078
EFL. GRAL. DE LAG. ARTIFICIAL	09 y 10-Dic-19	27.06	138.50	60	42.6932
EFLUENTE	Máximo	58.90	266.11	84.00	50.41
	Promedio	23.22	158.03	55.25	39.60
	Mínimo	2.05	115.20	24.00	22.85

Fuente: CESPM

Desde el año 2001 se cuenta con un contrato de venta de agua residual tratada con la empresa Servicios Termoeléctrica de Mexicali, S. A. de C. V., asignándoles una dotación de hasta 250 litros por segundo.

En el año 2002 se estableció un contrato para proporcionar agua residual cruda a la empresa INTERGEN, S. A. de C. V., para dotarles hasta 650 litros por segundo. En ambos casos esta agua es utilizada para la generación de energía eléctrica, para la ciudad de Mexicali y para su exportación a Estados Unidos de Norteamérica.

En el 2005 se construyó una planta de tratamiento que toma agua del efluente de la planta de tratamiento Mexicali I, después de pasarla por un proceso de clarificación y filtrado que cumple con la normatividad vigente. Esta planta tiene una capacidad de 15 l/s y el agua que se trata es utilizada para riego de jardines en el camellón de la autopista Mexicali-Tijuana, y para riego de jardines de parques industriales y comercios. En un futuro se tienen planes para irrigar con esta agua las áreas verdes del bosque de la ciudad de Mexicali.

1.1.4 Generalidades

Las políticas de operación en que se basan o guían los procesos y actividades, en cumplimiento de la función, planes, programas, proyectos y políticas de la administración de riesgos de la CESPM, se encuentran plasmadas en el Manual de Operación y Mantenimiento de las Plantas de Tratamiento y en el Manual de Procedimientos, integrado en el año 2007, así como en las bases de diseño y especificaciones de las PTAR Arenitas y Zaragoza.

Una parte importante de las políticas de operación se orientan a prevenir riesgos y fallas en la operación de equipos e infraestructura. Los riesgos en las PTAR y plantas de bombeo son múltiples, tanto para el personal que la opera como para la población en general, dependiendo de la cercanía y contacto con las aguas residuales.

1.1.4.1 Políticas de operación

El propósito del Manual de Operación y Mantenimiento y el Manual de Procedimientos, elementos con los que cuenta la CESPM, es dar a los operadores la información básica necesaria para que el sistema de tratamiento diseñado se mantenga en condiciones apropiadas de funcionamiento y produzca un efluente de calidad.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Las actividades que se desarrollan comúnmente, y que forman parte de las políticas de operación del sistema, se agrupan en los siguientes procesos:

- a) Procesos de control.
- b) Procesos de evaluación del funcionamiento.
- c) Procesos de capacitación y desarrollo de recursos humanos.
- d) Procesamiento de información.
- e) Proceso de evaluación.

a) Procesos de control.

Estas actividades están orientadas a medir el caudal, concentración y características del afluente y efluente. Los controles se realizan mediante monitoreos diarios, semanales, quincenales, mensuales o semestrales, y las características comúnmente determinadas son:

Físicas: temperatura, turbidez, la gama de sólidos (totales, en suspensión, disueltos, sedimentables, fijos y volátiles), olor, color, material retirado y producido.

Químicas: DBO, DQO, formas de nitrógeno (orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos), fósforo, grasas y aceites, metales, pH, alcalinidad y oxígeno disuelto (GD).

Biológicas: número y tipo de microorganismos, generalmente coliformes fecales y totales.

b) Procesos de evaluación del funcionamiento de las plantas de tratamiento

El funcionamiento de cada PTAR es evaluado mediante la determinación de los indicadores y parámetros principales que, entre otros, se mencionan a continuación:

- Caudal medio.
- Caudal máximo y coeficiente de pico.
- Carga de DBO, afluente y efluente.
- Carga de SST, afluente y efluente.
- Eficiencia de remoción de DBO.
- Eficiencia de remoción de SST.
- Eficiencia de nitrificación/desnitrificación.
- Eficiencia de remoción de fósforo (P).

La evaluación de estos parámetros, que miden las eficiencias y el desempeño de la PTAR, son efectuados en conjunto con el análisis del funcionamiento de las unidades.

c) Procesos de capacitación y desarrollo de recursos humanos

Cada operador de las plantas de tratamiento de aguas residuales, y de las plantas de bombeo, debe estar consciente de la importancia de su labor y del hecho de que un sistema mal operado o no suficientemente mantenido produce efluentes de baja calidad y puede convertirse en un problema de malestar público y ambiental.

d) Procesamiento de la información de la operación de las plantas de tratamiento

Con el fin de almacenar y procesar la información arrojada por las actividades de control, mantenimiento, recursos humanos e infraestructura, y poder dar una información diaria o en el momento requerido, este proceso se trabaja con cuatro enfoques:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Información diaria: con base en las mediciones a diferentes horas del día.

Información de resultados: información de resultados que se asientan en formatos presentados cada quince (15) días.

Informes técnicos mensuales: informe mensual de las actividades realizadas en el mes donde se detallan los resultados de las labores de operación y mantenimiento de la planta, los problemas encontrados y las soluciones acordadas. Se incluyen en este informe: un análisis sobre el funcionamiento de la planta; eficiencias encontradas; cumplimiento de las normas de calidad del efluente, y consideraciones sobre cambios en la red de alcantarillado como, por ejemplo, conexiones industriales.

Informe anual de operación: informe anual de los trabajos realizados, criterios y políticas trazadas en estos. Se incluye un análisis estadístico de los resultados obtenidos en el programa de monitoreo, estableciendo las variaciones de cada parámetro.

e) Procesos de operación

Los procesos de operación se extienden en cada una de las plantas de tratamiento de aguas residuales a las acciones que garantizan el funcionamiento adecuado del sistema y del proceso de tratamiento de cada planta, así como al buen funcionamiento de la infraestructura de las redes de alcantarillado.

El proceso de operación considera el desarrollo de la operación del sistema desde las siguientes perspectivas:

- a) Perspectiva sanitaria
- b) Perspectiva hidráulica
- c) Perspectiva mecánica
- d) Perspectiva eléctrica

a) Perspectiva sanitaria

Las operaciones que comúnmente se llevan a cabo con esta perspectiva son:

Medición de caudal: se realiza para garantizar un funcionamiento apropiado de la planta, de acuerdo con los criterios con que la planta fue diseñada. Como medida de control, el aforo del caudal se mide ocasionalmente durante diferentes horas del día, para determinar el promedio, el mínimo y el pico.

Muestreo afluente y efluente: el muestreo del afluente y efluente es la única forma de establecer las eficiencias de remoción y funcionamiento de la planta.

Observación del efluente: la observación visual de la calidad del efluente da una indicación del funcionamiento de la planta. En una situación normal al efluente debe tener un aspecto claro, libre de lodos o sólidos en suspensión. Una sobre carga en el sistema se manifiesta en una alta turbiedad en el efluente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Muestreo y evaluación de lodos: el muestreo de lodos se realiza para estimar la cantidad de lodo en el sistema y así evaluar su calidad, estabilidad y el estado propicio para la purga de lodos y secado.

Control de carga: constituye el método de control real del sistema, comprobando la carga volumétrica contaminante, siendo un parámetro muy importante para tener en cuenta durante el análisis del funcionamiento de toda la estación de tratamiento.

b) Perspectiva hidráulica

Consiste en la supervisión directa y continua de todo el sistema de tratamiento, con el objetivo de obtener un funcionamiento óptimo en las unidades hidráulicas que componen los procesos físicos y biológicos de la planta.

Las operaciones que comúnmente se efectúan implican entrar en los registros de inspección para sacar los sedimentos y obstrucciones acumuladas en los conductos.

Control de caudal de entrada a la planta. Este control se realiza con el fin de que no se supere el caudal máximo de diseño de la planta. En caso de presentarse lluvia intensa en el área del municipio, deben abrirse completamente las válvulas o compuertas y permitir la operación de los vertederos de exceso. En este último caso debe garantizarse que el caudal máximo de entrada hacia la planta sea el de diseño. Si se supera el valor máximo, tendrá que cerrarse la compuerta de acceso del caudal al sistema y abrir la compuerta que da al By-Pass.

Cierre de unidades de tratamiento biológico. En caso de que requiera cerrarse una o varias unidades de tratamiento biológico sin que deje de funcionar la planta, se procede tomando en cuenta que, para el caso de la PTAR Arenitas, no se considera esta posibilidad, debido a las condiciones de dimensiones de la planta y el clima local.

Tubería o cámara de alimentación. Estas tuberías o cámaras llevan el afluente a un canal que distribuye uniformemente el flujo. Con el tiempo pueden formarse obstrucciones en los conductos. Diariamente debe observarse el funcionamiento de dichas estructuras de alimentación.

c) Perspectiva mecánica

Los componentes mecánicos más comunes, encontrados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, incluyen lo relativo a bombas hidráulicas, compuertas, válvulas, rejillas y equipos aireadores.

Bombas hidráulicas. Para el caso de las bombas, la operación en condiciones exigidas por el medio en donde van a funcionar incluye capacidad (caudal), altura máxima de bombeo, rendimiento y potencia absorbida, tamaño, velocidad, flujo radial, mixto y axial, potencia necesaria, etcétera.

Es por esto por lo que la operación de las bombas está supeditada a las normas que sugiere el manual de instrucciones para la operación y mantenimiento de la unidad que esté instalada, dadas por el fabricante; por tal efecto, debe existir en la estación de bombeo una guía para la operación de la estación.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Compuertas, válvulas y rejillas. Depende de los requerimientos del sistema de eventualidades que exija su operación; cerrar o abrir válvulas y compuertas debe estar registrado en el manual de operación de la planta, pues el momento propicio lo contempla el diseño con que fue concebida la estación de tratamiento. Para el caso de rejillas, el método más elemental es remover el material contaminante grueso de las aguas residuales; es decir, en general aquellos residuos que presentan peligro para las unidades posteriores (estaciones de bombeo, válvulas, etcétera); la rejilla debe limpiarse cuando su colmatación causa represamiento del agua. La frecuencia de operación será a juicio del operador de la planta de tratamiento.

Equipos aireadores mecánicos. Estas unidades existen en sistemas donde el requerimiento de oxígeno disuelto es necesario para adelantar el tratamiento biológico que se efectúa. El proceso que requiere oxigenación está sujeto a la cantidad de demanda del componente biológico. La graduación se realiza aumentando o disminuyendo la velocidad de las unidades aireadoras y también profundizando o elevando las aspas que genera la turbulencia del volumen de agua. Estos procesos de operación se establecen según los diseños que contempla el sistema. Las acciones de operación, control y mantenimiento de las unidades mecánicas de aireación deben estar descritas en el manual de operación.

d) Perspectiva eléctrica

Equipos de alimentación y controles eléctricos. En una estación de tratamiento de aguas residuales existe el requerimiento de electricidad para el movimiento de equipos electromecánicos, para su control y para alimentación de electricidad. Comúnmente, en las estaciones su funcionamiento es esencial, y como recomendación general debe buscarse que existan dos alimentaciones independientes de distintos transformadores de la compañía eléctrica. Si una de ellas falla, la otra entra en servicio automáticamente. Los paneles de los arrancadores de los motores y los controles deben estar situados en un conjunto de control ubicado a nivel del terreno en una zona limpia y seca.

1.1.4.2 Derechos de vía y tenencia de la tierra

La infraestructura actual de alcantarillado y saneamiento, principalmente la infraestructura de cárcamos, plantas de bombeo de aguas residuales y planta de tratamiento es propiedad estatal o se encuentra en posesión legal del estado, de lo cual se encarga la unidad jurídica de la CESP. M.

En el caso de cada una de las PTAR, tanto para la planta de tratamiento Zaragoza, como para la planta de tratamiento Arenitas, se dispone de amplias superficies de terreno para las instalaciones de tratamiento, edificios administrativos y para la operación de las mismas.

En la planta de tratamiento Zaragoza se cuenta con un terreno de 212 hectáreas, como se muestra en el siguiente registro de una lista parcial de inmuebles y terrenos. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 16. Lista parcial de bienes inmuebles y terrenos de la PTAR Zaragoza

Nº	CLAVE CATASTRAL	NO. EXP	DESCRIPCIÓN DEL BIEN INMUEBLE	UBICACIÓN	SUPERFICIE M2	ESTADO JURÍDICO
26	-	24	CÁRCAMO URBANO UNIVERSITARIO	LOTE 13, MANZANA 20 CALLE CEILAN Y UNIV. COL. URBANO UNIVERSITARIO	304.10	POSESIÓN
27	BG-021-010	25	CÁRCAMO BUGAMBILIAS	LOTE 10, MANZANA 21, RÍO CHAMPOTON Y RÍO MEZCALAPA	97.97	PROPIEDAD
28	UE-038-024	26	CÁRCAMO ESPERANZA AGRÍCOLA	LOTE 24FS MANZANA 38, BLVD. CASTELLÓN Y FELIPA VELÁZQUEZ COLONIA ESPERANZA AGRÍCOLA	400.36	PROPIEDAD
29		27	CÁRCAMO LOMA LINDA	AV. NAYARIT Y CAMPECHE COLONIA LOMA LINDA	2,094.88	POSESIÓN
30		28	CÁRCAMO ROBLEDO	LOTE 49, MANZANA 33 CALLE CEIBA Y AV. PIÑÓN COLONIA ROBLEDO	220.17	
31		29	CÁRCAMO NOROESTE	LOTE 57 CALZADA CETYS Y PERIFÉRICO ORIENTE COLONIA RIVERA	553.05	POSESIÓN
32		30	CÁRCAMO PAPAGO	LOTE S/N MANZANA 2 AV. YUMA Y CARRETERA TIJUANA FRAC. PAPAGO	150.79	POSESIÓN
33	FB-012-001	31	CÁRCAMO BALBUENA	LOTE 1, MANZANA 12 AV. TEUL Y PERIODISMO	224.24	PROPIEDAD
34	1BZ-009-019	32	CÁRCAMO VILLAS DE LA REPÚBLICA	LOTE 19 MANZANA 9 BLVD. LÁZARO CÁRDENAS Y VILLA OBREGÓN FRAC. VILLAS DE LA REPÚBLICA	228.10	PROPIEDAD
35	RU-001-069	33	PLANTA POTABILIZADORA PROGRESO	LOTE 19 FRAC. III AV. SINALOA Y CAMINO COL. PROGRESO	9224.47	POSESIÓN
36		34	CÁRCAMO BRAULIO MALDONADO	LOTE S/N MANZANA 22 AV. PRESIDENTES Y TEOTIHUACÁN	469.26	POSESIÓN
37		35	CÁRCAMO REAL DEL CASTILLO	AV. AYUNTAMIENTO Y DAVID A. SIQUEIROS FRAC. REAL DEL CASTILLO	325.97	POSESIÓN
38	RU-010-100, RU- 003-237	36	LAGUNAS DE OXIDACIÓN PALACO	L11, FRAC. NTE PORCIÓN NOROESTE AL SUROESTE DE GONZÁLEZ ORTEGA	77,521.01	PROPIEDAD
39		37	OF. DE COBRO Y CÁRCAMO	CALLE 11 Y CALZADA H. COLEGIO MILITAR	2,870.62	POSESIÓN
40		38	LAGUNAS DE OXIDACIÓN ZARAGOZA	RUMBO A TIJUANA COLONIA ZARAGOZA	2,124,300.00	POSESIÓN

Fuente: CESPMM

Para la planta Las Arenitas se dispone de 603.4 hectáreas, adquiridas para la operación actual y futuras ampliaciones. Se presenta en la tabla 17.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 17. Lista parcial de bienes inmuebles y terrenos de la PTAR Las Arenitas

Nº	CLAVE CATASTRAL	NO. EXP	DESCRIPCIÓN DEL BIEN INMUEBLE	UBICACIÓN	SUPERFICIE m ²	ESTADO JURÍDICO
125		120	POZO PESCADEROS KM. 39	CALLE SEGUNDA Y 24 DE FEBRERO ESTACIÓN PESCADEROS KM. 39	470.64	POSESIÓN
126		121	PLANTA MIGUEL HIDALGO	COSTADO VÍA F.F.C.C. FRENTE A SIDERÚRGICA POBLADO MIGUEL HIDALGO	240.00	CONCESIÓN DE S.C.T.
127		122	POZO MAZÓN GUERRERO	LÍMITES DEL POBLADO MAZÓN GUERRERO	400.00	CONCESIÓN DE CNA
128		123	EQUIPO DE BOMBEO Y OFICINA DE COBRO	AVENIDA LIBERTAD Y CINCO DE MAYO POBLADO MAZÓN GUERRERO	362.60	POSESIÓN
129		124	POZO SANTANA PERALTA	DENTRO DE LA COLONIA SANTANA PERALTA JURISDICCIÓN DE ALGODONES B.C.	109.95	POSESIÓN
130	OX-002-012	125	OFICINAS DE COBRO ZONA VII, XOCHIMILCO	LOTE 12 MANZANA 3 DEL DESARROLLO URBANO XOCHIMILCO CALZADA HÉCTOR TERÁN T. Y	28,599.95	PROPIEDAD
131		126	POZO IRAPUATO	DENTRO DE LOS LÍMITES DE LA PRIMARIA FEDERAL DEL EJIDO IRAPUATO	220.50	POSESIÓN
132		127	POZO JANITZIO	DENTRO DEL CAMPO DEPORTIVO DEL EJIDO	135.00	POSESIÓN
133		128	POZO GUADALAJARA	ACCESO PRINCIPAL AL EJIDO GUADALAJARA	154.33	POSESIÓN
134		129	POZO CHIAPAS II	JUNTO A LOS LÍMITES DE LA SECUNDARIA DEL EJIDO	400.00	POSESIÓN
135		130	PLANTA LA PUERTA	ORILLAS DEL POBLADO LA PUERTA	716.00	CONCESIÓN DE CNA
136		131	POZO VERACRUZ II	DENTRO DEL CAMPO DE BEISBOL DEL EJIDO	133.16	POSESIÓN
137		132	PLANTA COMUNIDAD INDÍGENA CUCAPAH EL MAYOR	ACCESO AL KM. 54 DE LA CARRETERA A SAN FELIPE (CAMPO MOSQUEDA)	108.00	POSESIÓN
138	AA-006-004	133	CÁRCAMO EJIDO AGUASCALIENTES	C. JOSE MARÍA M. Y AV. 20 DE NOV. LOTE 4 MANZANA 6 DEL EJ. AGUASCALIENTES	1574.48	PROPIEDAD
139	13-139-007-001	134	SERVIDUMBRE NÁPOLES TRAMO DE LÍNEA 1M26 Y COLECTOR DE A.N.	LOTE 7 FRACCIÓN E PORCIÓN 1 DE LA COLONIA ZARAGOZA II, DELEGACIÓN PROGRESO	2,870.45	POSESIÓN
140	III0751002A	135	PLANTA DE TRATAMIENTO LAS ARENITAS	UBICADO A ORILLAS DEL CERRO PRIETO, CARRET. A SAN FELIPE PASANDO EL H. RENTERÍA	6,034,298.12	PROPIEDAD

Fuente: CESPM.

1.1.4.3 Costos actuales de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento

Los costos de operación y mantenimiento incluyen la operación y mantenimiento de la infraestructura de bombeo, cárcamos y plantas en el sistema de recolección de aguas residuales, y separadamente la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Los conceptos que se incluyen para operar y mantener la infraestructura de bombeo se refieren al pago de energía eléctrica, las reparaciones menores de equipos y la limpieza de equipamientos como cribas y pintura de edificios y tuberías.

En las plantas de tratamiento se consideran, entre otros conceptos, el pago del consumo de energía eléctrica, insumos químicos, control de calidad del agua de proceso, mantenimiento y reparaciones menores de equipos, mantenimiento de las instalaciones, gastos de administración para el mantenimiento de áreas dentro de las plantas.

Los costos por pago de personal y operación de vehículos se incluyen en el concepto que se denomina Gastos Administrativos, Financieros y Deuda, como se observa en la tabla 18.

El cobro de los servicios de agua y saneamiento no incluyen en su tarifa un apartado dedicado específicamente al saneamiento de las aguas residuales, por lo que el costo del tratamiento se lleva a cabo con los recursos generales que capta el organismo por el cobro general de tarifas de agua potable, al que se le agrega un porcentaje de lo consumido para el saneamiento; sin embargo, no está calculado sobre los costos reales de la operación y mantenimiento de los sistemas.

Tabla 18. Costos por servicio

Concepto	Importe	Eficiencia	m ³ Acumulados	Costo Unitario	%
Costo de producción de agua potable	324,354,412	99.56%	103,685,193	3.11	14.36
Costo de merma en producción de agua potable	1,443,045	0.44%	461,293	0.02	0.00
Costo neto de producción de agua	325,797,457	100.00%	104,146,486	3.13	14.45
Costo de distribución de agua potable	179,213,933	80.56%	83,531,252	1.73	7.99
Costo de pérdida de distribución de agua potable	43,239,709	19.44%	20,153,941	0.42	1.94
Costo neto de distribución de agua	222,453,642	100.00%	103,685,193	2.15	9.93
Costo neto de comercialización	233,180,396		83,531,252	2.79	12.88
Costo neto de recolección de aguas residuales	348,518,007		71,482,063	4.88	22.53
Costo neto de tratamiento de aguas residuales	172,824,970		63,877,366	2.71	12.51
costos operativos	1,302,774,472			15.66	72.30
Gastos administrativos, financieros y deuda pública	501,495,831		83,531,252	6.00	27.70
TOTAL DE GASTOS Y OTRAS PÉRDIDAS	1,804,270,303			21.66	100.00

Fuente: CESP. Informe de indicadores 2019.

De acuerdo con los costos totales, relacionados con cada metro cúbico de agua introducido al sistema de agua potable y saneamiento, que para la ciudad de Mexicali en el año 2019 dieron 21.66 pesos por metro cúbico, los costos de recolección y tratamiento de aguas residuales significaron un 35 % de ese costo total; es decir, 7.59 pesos por cada metro cúbico incorporado.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.4.4 Tarifas e información financiera de los organismos de agua y saneamiento.

Tabla 19. Tarifas de agua potable para el año 2020 en la ciudad de Mexicali, BC

RANGO DE CONSUMO	USO DOMESTICO	USO COMERCIAL, INDUSTRIAL Y GUBERNAMENTAL
0 a 5 m ³ cuota mínima	\$ 62.97	\$ 279.72
Excedente de 5 a 10 por cada m ³ consumido	\$ 4.11	\$ 49.45
Excedente de 10 a 15 por cada m ³ consumido	\$ 5.53	\$ 49.45
Excedente de 15 a 25 por cada m ³ consumido	\$ 6.12	\$ 49.45
Excedente de 25 a 30 por cada m ³ consumido	\$ 6.37	\$ 49.45
Excedente de 30 a 40 por cada m ³ consumido	\$ 7.80	\$ 49.45
Excedente de 40 a 50 por cada m ³ consumido	\$ 13.41	\$ 58.04
Excedente de 50 a 60 por cada m ³ consumido	\$ 16.56	\$ 58.04
Excedente de 60 a 100 adelante por cada m ³ consumido	\$ 24.04	\$ 58.04
Excedente de 100 a 500 adelante por cada m ³ consumido	\$ 24.04	\$ 60.11
Excedente de 500 a 10000 adelante por cada m ³ consumido	\$ 24.04	\$ 70.48

Fuente: Ley de Ingresos del Estado de Baja California, publicada en noviembre del 2019.

Para locales, establecimientos y desarrollos comerciales, industriales, de gobierno, turísticos y otros no domésticos, el cobro lo determinará el organismo, previo análisis, en función de las necesidades de abasto de agua, infraestructura y capacidad de diseño, de acuerdo con las siguientes tarifas:

A las redes del sistema de agua potable, por litro por segundo.....\$ 1'062,814.22

A las redes del sistema de alcantarillado sanitario, por litro por segundo.....\$ 585,906.32

La facturación total, la facturación neta, la recaudación y los costos (egresos) en el municipio de Mexicali y en la cabecera municipal, en el año 2019, se presentan en las tablas de la 20 a la 23, en las que se determina la tarifa por m³ cobrada, y la tarifa por costo real, que para la ciudad de Mexicali fue de 20.08 pesos por metro cúbico. También se incluye la facturación y la recaudación total para el mismo año, obteniéndose como resultado una eficiencia comercial de 92.75 %.

Tabla 20. Tarifa promedio de volumen de agua para el municipio de Mexicali

CONCEPTO	ACUMULADO DICIEMBRE		CRECIMIENTO	
	2019	2018	MAGNITUD	PORCENTAJE
Facturación total del volumen de agua entregado a usuarios \$(MXN)	1,589,123,570	1,577,738,857	11,384,713	0.7%
Volumen facturado m ³	83,531,252	85,309,283	-1,778,031	-2.1%
Tarifa promedio \$/m³	19.02	18.49	0.53	2.9%

Fuente: CESPM. Informe de indicadores 2019.

Tabla 21. Tarifa promedio de volumen de agua para la ciudad de Mexicali

CONCEPTO	ACUMULADO DICIEMBRE		CRECIMIENTO	
	2019	2018	MAGNITUD	PORCENTAJE
Facturación total del volumen de agua entregado a usuarios \$(MXN)	1,463,887,764	1,448,180,006	15,707,758	1.1%
Volumen facturado m ³	72,905,644	74,359,229	-1,453,585	-2.0%
Tarifa promedio \$/m³	20.08	19.48	0.60	3.1%

Fuente: CESPM. Informe de indicadores 2019.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 22. Eficiencia comercial por el servicio de agua potable para el municipio de Mexicali

CONCEPTO	ACUMULADO DICIEMBRE		CRECIMIENTO	
	2019	2018	MAGNITUD	PORCENTAJE
Facturación neta por volumen de agua \$ (MXN)	1,392,968,007	1,360,008,967	32,959,040	2.4%
Recaudación por agua \$ (MXN)	1,291,389,848	1,234,995,492	56,394,356	4.6%
Eficiencia comercial %	92.71	90.81	1.90	

Fuente: CESPM. Informe de indicadores 2019.

Tabla 23. Eficiencia comercial por el servicio de agua potable para la localidad de Mexicali

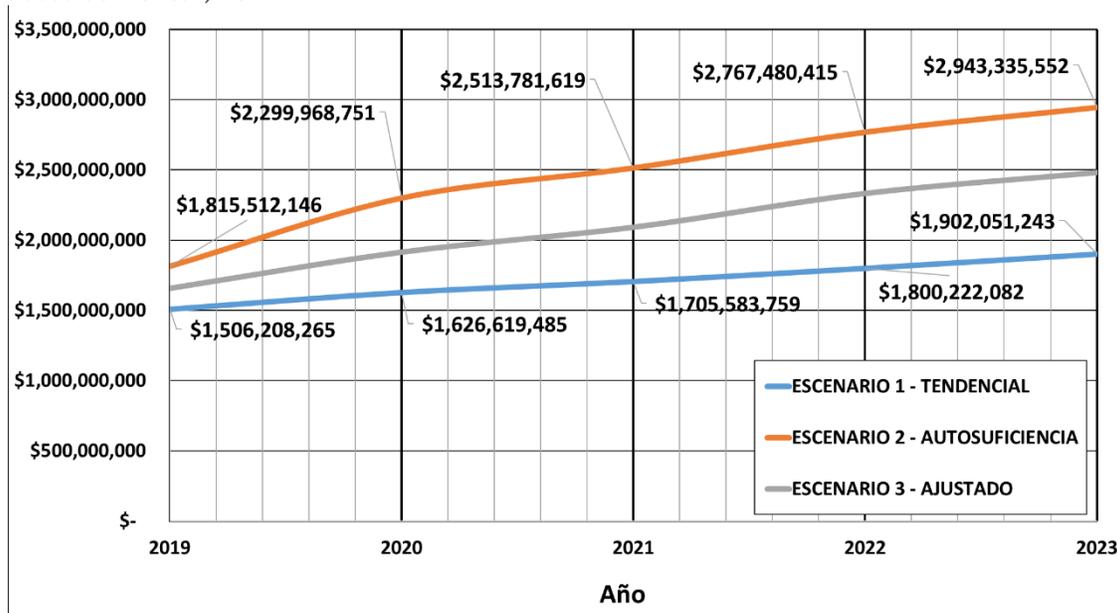
CONCEPTO	ACUMULADO DICIEMBRE		CRECIMIENTO	
	2019	2018	MAGNITUD	PORCENTAJE
Facturación neta por volumen de agua \$ (MXN)	1,282,155,300	1,246,567,193	35,588,107	2.9%
Recaudación por agua \$ (MXN)	1,189,179,418	1,067,662,399	121,517,019	11.4%
Eficiencia comercial %	92.75	85.65	7.10	

Fuente: CESPM. Informe de indicadores 2019.

En 2018 se realizó un análisis tarifario para la CESPM. Con apoyo de recursos del BDAN y de este estudio se derivaron lo siguientes escenarios de tarifas (ilustración 11):

1. TENDENCIA ACTUAL. Aplicar a las tarifas únicamente incrementos inflacionarios.
2. AUTOSUFICIENCIA. Aplicar a las tarifas ajustes inflacionarios, más los incrementos necesarios para cubrir la operación del CESP y el programa de inversiones.
3. AJUSTE FINANCIERO. Aplicar el escenario de AUTOSUFICIENCIA anterior, incluyendo financiamiento externo y subsidios.
4. OPTIMIZACIÓN FINANCIERA. Aplicar el escenario de AJUSTE FINANCIERO anterior, con las estrategias adecuadas para cubrir el programa de INVERSIONES.

Ilustración 11. Escenarios de ingresos de tarifa por servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la ciudad de Mexicali, BC



Fuente: CESPM (2019).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Se observa que los importes facturados, y que se señalan en las tablas 22 y 23 para 2019, están un poco por debajo de la línea de tendencia, por lo que difícilmente en el corto plazo podría aspirarse a emparejar los ingresos por tarifa al escenario ajustado, que permitiría incrementar los montos de inversión requeridos para mantener y construir la infraestructura de agua y saneamiento que demanda la ciudad de Mexicali.

En el 2019 los ingresos recaudados por la CESPM en el municipio fueron por \$ 1,291'389,848.00, y en lo correspondiente a la ciudad de Mexicali, la recaudación fue por \$ 1,189'179,418.00, que representan aproximadamente el 85 % del escenario tendencial.

1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento

La PTAR Arenitas, ubicada al sur de Mexicali, y que atiende el 46 % de la demanda de saneamiento, desde el año 2013, ha visto rebasada su capacidad de tratamiento, que es de 840 l/s, aunque en algunos meses del año el caudal de llegada es de 1044 /s, por lo que se requiere su ampliación.

La PTAR Zaragoza, que atiende el 54 % de la demanda de saneamiento, con capacidad de tratamiento de 1300 l/s, recibe en promedio 1127 l/s de aguas residuales en algunos meses del año, e incumple con algunos parámetros de la NOM-001-ECOL-1996, como nitrógeno y sólidos suspendidos totales.

1.2.1 Estado actual de la infraestructura de saneamiento (utilizando semáforo)

Existe una zona en el centro de la ciudad de Mexicali, donde algunos colectores principales y varias plantas de bombeo de aguas residuales han alcanzado o excedido su vida útil esperada y requieren ser reparados o sustituidos de inmediato. La mayoría de estos colectores se construyeron hace más de 50 años (ilustración 12). Cuando algún colector de esta zona colapsa o una estación de bombeo falla, las aguas residuales sin tratamiento generalmente se descargan en el río Nuevo y cruzan la frontera.

Ilustración 12. Fotos de tuberías colapsadas causan socavones y hundimientos en las calles



Fuente: CESPM (2019).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

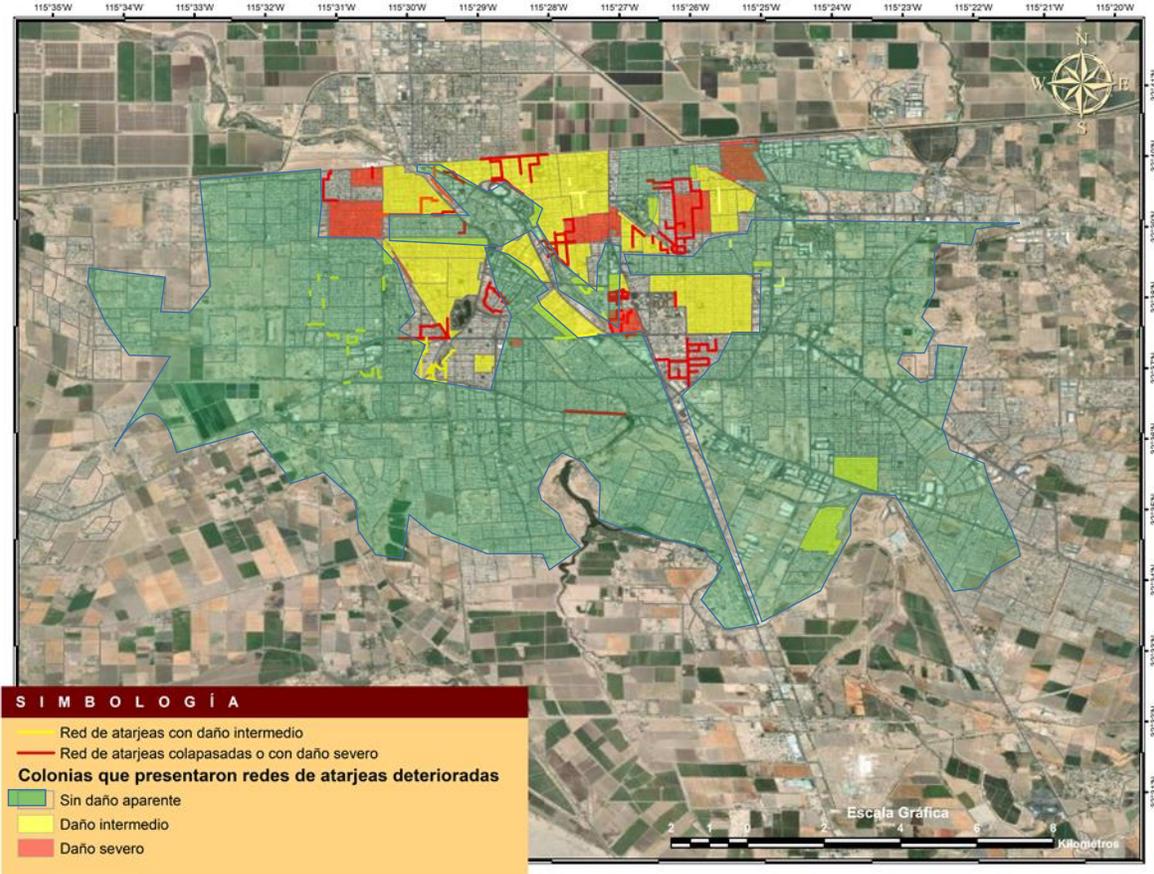
Para resolver el problema antes citado, la CESPMM elaboró el Plan Estratégico de Saneamiento (PES), con el objetivo de priorizar la rehabilitación de la infraestructura sanitaria.

Entre las acciones inmediatas, que se proponen en el plan, se incluye la rehabilitación de colectores y de plantas de bombeo (PBAR) que se consideran cruciales. La CESPMM, en el 2020, ya realizó la rehabilitación de las PBAR 1 y 3, así como la primera fase de rehabilitación de las PBAR 2 y 5. El plan considera la sustitución de aproximadamente 88,223 metros de tuberías, principalmente de concreto, las cuales se encuentran deterioradas y causan problemas de colapsos y derrames de aguas residuales sin tratamiento.

Colectores y atarjeas dañados y con vida útil cumplida

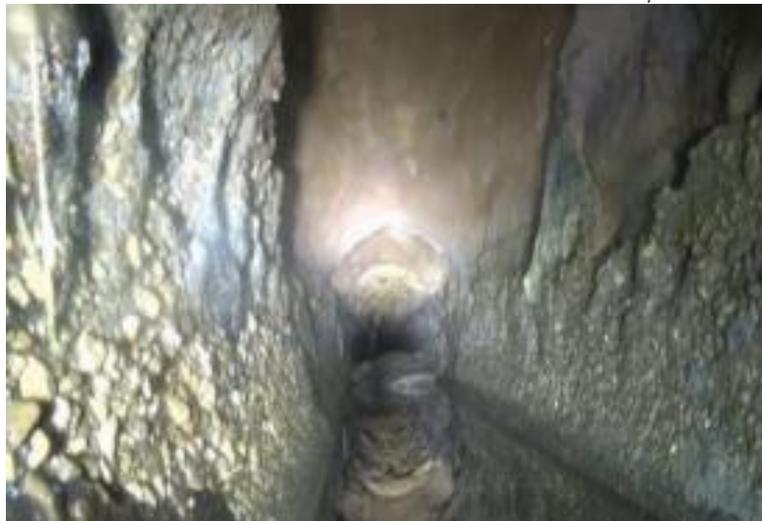
El diagnóstico de tuberías (colectores y atarjeas), elaborado para el organismo operador, establece que el 14 % de estas (aproximadamente 400 km), se instalaron antes de 1975, cerca del 23 % de las líneas (660 km) se colocaron entre 1975 y 1995, y más del 63 % (1810 km) se construyeron entre 1995 y 2015. Por otra parte, considerando el grado de deterioro se estimó que alrededor del 50 % de colectores y atarjeas ya presenta daños, que van de críticos (2 %) a notorios (48 %), por lo que si se considera esta condición para atender atarjeas y colectores con deterioro en los próximos 10 años, se requiere rehabilitar o reponer 1435 km de tuberías dañadas, equivalentes al 50 % del total de los 2871 km de tuberías; es decir, en promedio tendrán que programarse 143.5 km/año, además de la construcción de aquellas que demande el crecimiento de la ciudad.

Ilustración 13. Condición general de la red de colectores y atarjeas



Fuente: elaboración propia con información de la CESPМ.

Ilustración 14. Foto del interior de un colector donde se observa la ausencia de paredes de tubo



Fuente: CESPМ. Diagnóstico de la infraestructura de alcantarillado y saneamiento, 2016.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En un proyecto inicial se propone el reemplazo de 11,760 metros de tubería deteriorada en el sistema de alcantarillado sanitario, además de rehabilitar las PBAR 2, 4 y 5, las cuales transportan un promedio de 1450 l/s dentro del área del proyecto.

Colectores y atarjeas azolvados

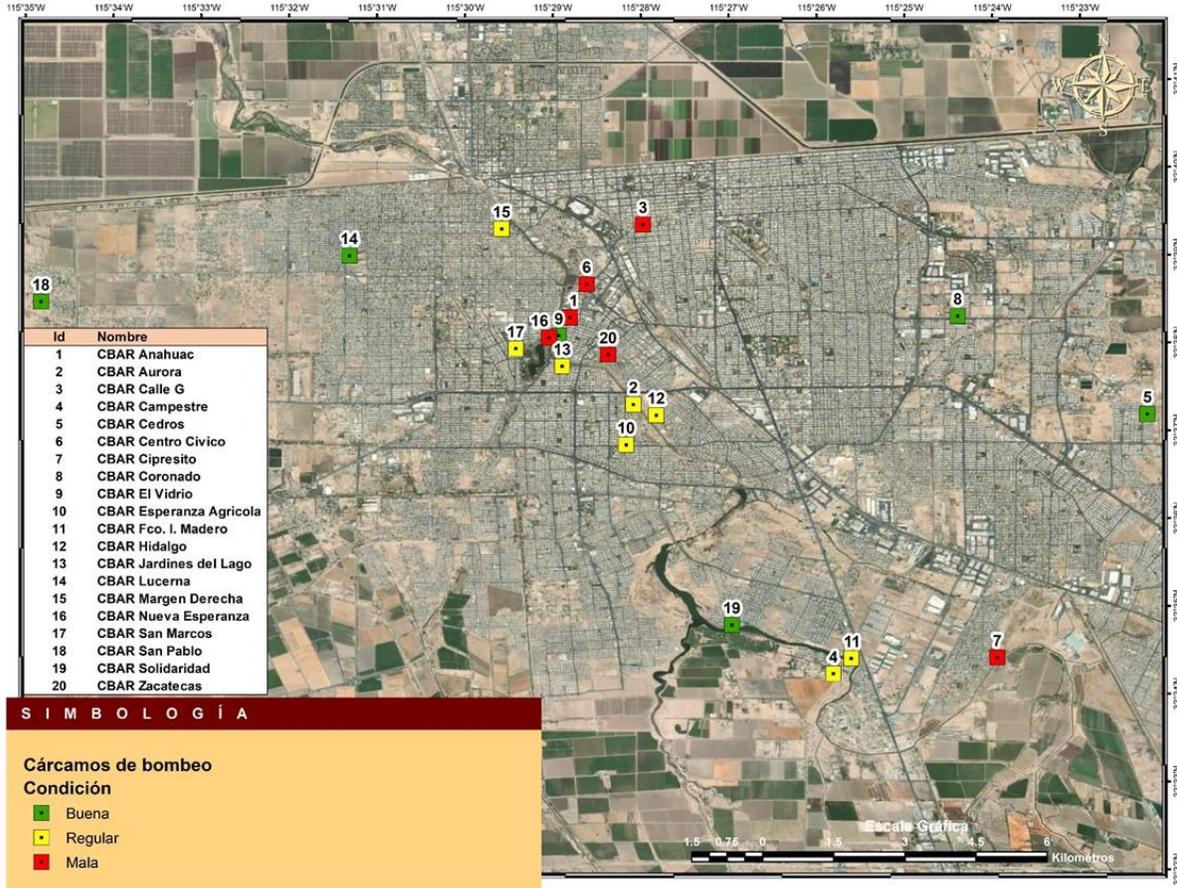
Derivado de la condición topográfica de la zona, el funcionamiento de las tuberías es con muy bajas velocidades, con alta susceptibilidad de azolvamiento y acumulación de materia orgánica que puede producir otro tipo de daño, por lo que se estima que un gran porcentaje, (45 %) de la longitud total de atarjeas y colectores que acumulan azolve que obstruye parte de su área hidráulica, obstaculizando su buena operación, requerirán de su limpieza en el corto plazo. Si se considera un plazo de cinco años, se tendrán que desazolvar 1290 km a razón de 645 km/año.

Cárcamos

Existen algunos cárcamos de bombeo que han alcanzado o excedido su vida útil esperada y, en consecuencia, requieren de reparación o sustitución de inmediato. La mayoría de los cárcamos se construyeron hace más de 30 años, con algunos esfuerzos de reposición de bombas, realizados a lo largo de los años. En el corto plazo (próximos cinco años) se requerirá la reposición de equipos de prácticamente la totalidad de los 19 cárcamos de bombeo de aguas residuales (CBAR).

Y en el plazo más inmediato se propone rehabilitar las instalaciones e infraestructura de 12 cárcamos, equivalentes al 60 % de las instalaciones que presentan el mayor deterioro, con el fin de reducir el riesgo de fallas de bombeo de aguas negras y la posible descarga de hasta 380 litros por segundo (l/s) de aguas residuales sin tratamiento, así como el transporte de flujos contaminados por el río Nuevo.

Ilustración 15. Condición general de los cárcamos del sistema de alcantarillado de Mexicali

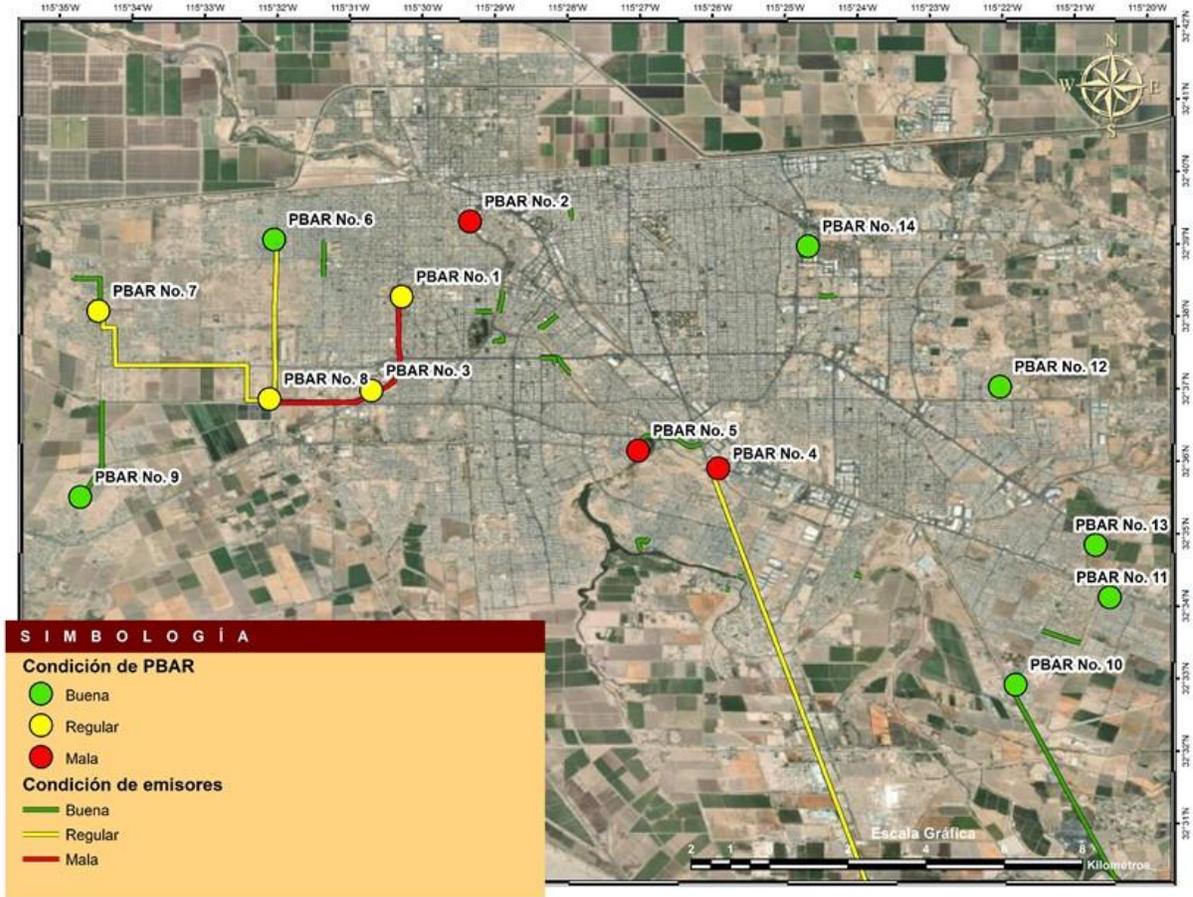


Fuente: elaboración propia

Emisores con daño o con piezas a reemplazar

Otros componentes del sistema, como los emisores principales, también presentan algún tipo de daño o deterioro y desgaste de piezas y accesorios, como válvulas y juntas que requieren reponerse para la rehabilitación de estos conductos. Se señalan de manera especial los emisores de llegada a las plantas de tratamiento, que parten de las principales PBAR, como las PBAR 3, 4 y 5, en tramos que equivalen al 50 % de los 101 km del total de emisores.

Ilustración 16. Condición general de emisores y plantas de bombeo



Fuente: elaboración propia

La planta de tratamiento Arenitas ha visto rebasada su capacidad instalada

La PTAR Arenitas, ubicada al sur de Mexicali y que atiende el 46 % de la demanda de saneamiento desde el año 2013, ha visto rebasada su capacidad de tratamiento, que es de 840 l/s, aunque en algunos meses del año el caudal de llegada es de 1044 l/s, por lo que se pretende su ampliación.

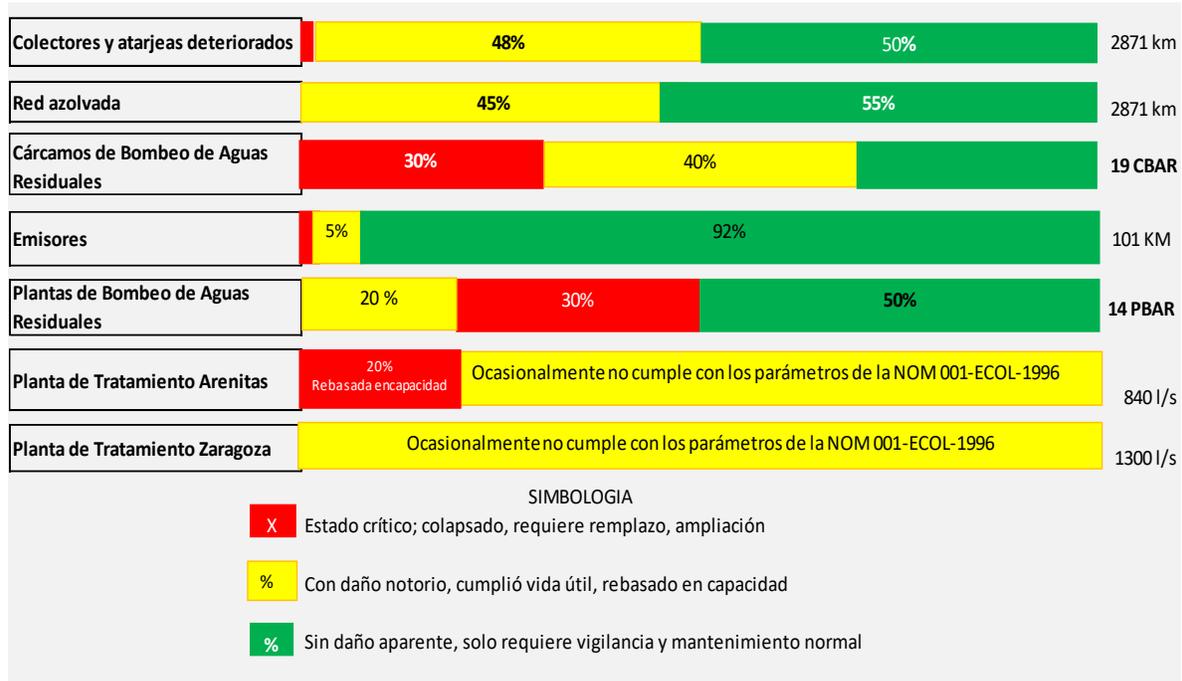
La PTAR Zaragoza ocasionalmente incumple con los parámetros de la NOM.

La PTAR Zaragoza, que atiende el 54 % de la demanda de saneamiento, con capacidad de tratamiento de 1300 l/s, recibe en promedio 1127 l/s de aguas residuales en algunos meses del año, e incumple con algunos parámetros de la NOM-001-ECOL-1996, como nitrógeno y sólidos suspendidos totales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 17. Semáforo de estado de la infraestructura de alcantarillado sanitario y saneamiento para la ciudad de Mexicali, BC



Fuente: CESPM. Diagnóstico de la infraestructura de alcantarillado y saneamiento, 2016.

1.2.2 Pertinencia de los manuales y políticas de operación

El manejo y mantenimiento de las plantas de tratamiento deben estar basados en manuales de operación y mantenimiento, donde se identifiquen claramente los procesos que hacen posible el funcionamiento óptimo, eficiente y efectivo de cada una de las PTAR e infraestructuras de las que depende el buen funcionamiento del sistema, para evitar que se produzcan interrupciones debidas a fallas de cualquiera de los elementos, procesos u operaciones, ocasionados por una deficiente operación o mantenimiento. Es importante tener en cuenta el nivel de preparación del personal hacia quien están dirigidos los manuales, y tener programas de capacitación continuos.

Es fundamental contar con personal calificado y capacitado, por lo que en el caso de la CESPM es importante que no se deje de llevar el control de competencias, tal como se ha venido haciendo mediante el seguimiento de una matriz de competencias del personal, como un instrumento clave de un manejo acertado de este tipo de equipamientos para el personal asignado al área de tratamiento, bombes y electromecánica.

Las competencias que se evalúan para este personal se presentan en la tabla 24:

Tabla 24. Competencias evaluadas al personal de la CESPM, asignado a las áreas de tratamiento, bombes y electromecánica.

Seguridad e higiene (normas)	Manejo de extintores	primeros auxilios	Trabajos en altura	Riesgo de trabajos en Vialidades	Eficiencia energética de equipos de bombeo
------------------------------	----------------------	-------------------	--------------------	----------------------------------	--



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Operación y mantenimiento en sistemas electromecánicos	Mantenimiento a motores eléctricos y variadores de velocidad	Mantenimiento a equipos y sistemas de instrumentación	Mantenimiento a equipos de bombeo	PLC básico	Conocimiento de pretratamiento y reúso de aguas residuales
Sistemas de lubricación	Electricidad	Operación de equipos Sewer	Análisis de vibración básico	Manejo de herramientas manuales	Manejo de herramienta eléctrica y neumática
Inspección Visual de equipos electromecánicos e infraestructura	Lubricación de equipos	Elaboración de reportes	Manejo de equipo de medición eléctrica	Habilidad de manejo (vigencia de licencia)	Normatividad aplicable a las aguas residuales
Rescate acuático	Operación segura de cribas	Uso y manejo seguro de hipoclorito de sodio	Uso y manejo seguro de hipoclorito de calcio	Manejo seguro de sulfato de aluminio	Manejo seguro de cloro gas
Simulacro de atención a fugas extraordinarias de cloro	Conocimiento de pretratamiento y reúso de aguas Residuales	Conocimiento de desinfección y cloración en AR (capítulo 10)	Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento	Matemáticas básicas	Toma y manejo de muestra de aguas residuales para análisis químico

Fuente: elaboración propia con información de la CESPМ.

1.2.3 Situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra

La situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra de la infraestructura de colectores, subcolectores, atarjeas, cárcamos de bombeo y plantas de bombeo está totalmente resuelta, ya que se utilizan las calles, terrenos adquiridos o predios municipales con posesión otorgada por la autoridad municipal.

De esta forma únicamente deberán preverse los derechos de vía y tenencia de la tierra para la nueva infraestructura que se construya.

1.2.4 Condiciones de los sitios de descarga y disposición final

El sitio ubicado en la zona denominada Las Arenitas se localiza a 26 km al sur de la PBAR 4, a un costado de la carretera Mexicali-San Felipe; tiene un área de 603.4 hectáreas, suficientes para las necesidades y requerimientos de la PTAR. En los alrededores no existe población y el terreno que la rodea no tiene algún uso; el tipo de vegetación es matorral, conocido como chamizo. El efluente puede ser aprovechado en diferentes usos y el resto es descargado al río Hardy.

El sitio de la PTAR Zaragoza, ubicada al sureste de la ciudad, en el km 2 de la carretera Mexicali-Tijuana, en los límites de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, ocupa una superficie total de 207 ha, de las cuales 159 son para el sistema lagunar.

El crecimiento de la ciudad prácticamente absorbe esta infraestructura. Aunque se han realizado manejos y prácticas que han reducido la generación de olores, estos aún persisten, pero mucho menos perceptibles, por lo que la CESPМ bosqueja algunos planteamientos para modificar drásticamente el proceso de tratamiento que, aunque menos económico, se reduciría notoriamente el área de la planta y los malos olores disminuirían. No obstante, primeramente se abocan los esfuerzos a la PTAR Las Arenitas.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Dicha PTAR está diseñada para manejar un flujo de 1300 l/s y una carga orgánica de 75 mg/l como DBO₅, 75 mg/l como SST y 40 mg/l como nitrógeno total promedio mensual. Con este último parámetro se han tenido dificultades para su cumplimiento.

Como se anotó, en el año 2019 esta planta trató 957 l/s, en promedio; cuenta con un tratamiento bajo los siguientes procesos: pretratamiento, lagunas aireadas, lagunas de sedimentación o facultativas, lagunas de maduración y desinfección.

1.2.5 Costos actuales de operación y mantenimiento

Los servicios de agua y saneamiento no incluyen en su tarifa un apartado dedicado específicamente al saneamiento de las aguas residuales, por lo que el costo del tratamiento se lleva a cabo con los recursos generales que capta el organismo por el cobro general de tarifas de agua potable, al que se le agrega un porcentaje de lo consumido para el saneamiento; sin embargo, no está calculado sobre los costos reales de la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento.

Los costos de operación y mantenimiento de la recolección de aguas residuales se estiman en 348.52 mdp para 71.48 millones de metros cúbicos recolectados; representan un costo unitario de 4.88 pesos por metro cúbico recolectado, mientras que el costo neto de tratamiento de aguas residuales se estima en 172.82 mdp, para un total de 63.88 millones de metros cúbicos tratados en las PTAR, equivalentes a un costo unitario de 2.71 pesos por metro tratado; representan un costo total de 7.59 pesos por metro cúbico incorporado al sistema de agua potable.

1.2.6 Capacidades financieras de los organismos

Por otra parte, Fitch Ratings-Monterrey, con fecha 7 octubre del 2019 subió la calificación nacional de largo plazo de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), calificándola con perspectiva **crediticia estable**.

Se evalúa como rango medio la legitimidad del ingreso y el riesgo operativo. También contempla el perfil financiero como débil, el cual toma en cuenta la combinación del perfil de apalancamiento y el de liquidez, y también la ausencia de riesgos asimétricos contingentes.

De acuerdo con el fortalecimiento financiero de la CESPM, y en línea con el análisis de pares, el resultado analítico de la calificación es de 'A+ (mex)'. La perspectiva crediticia estable indica que no se esperan cambios en los factores en el corto plazo.

Legitimidad de los ingresos, rango medio:

La calificadora evalúa la legitimidad de los ingresos del organismo como un factor medio. Esto considerando las características de la demanda y de fijación de precios como atributos de rango medio.

La evaluación considera un crecimiento moderado en la demanda del servicio de agua, así como una base de clientes diversa y estable.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Al cierre del 2018 se registraron 344,877 cuentas, presentando un 1.6 % de crecimiento, con respecto al ejercicio anterior, y una tasa media anual de crecimiento para el período del 2014 al 2018 (tmac14-18) de 0.7 %. De los usuarios, 76.6 % correspondió al sector doméstico, 8.8 % comercial y 14.6 % industrial y otros. La fuente principal de ingresos del organismo corresponde a las tarifas que se cobran por el servicio de agua y drenaje, así como derechos de suministro. La fijación de estas tarifas se considera un atributo de rango medio, debido a que cualquier modificación sobre las mismas debe ser primero propuesta por el Consejo de Administración, y posteriormente autorizada por el Congreso del Estado. Generalmente se autorizan incrementos en línea con la inflación y no con base en los principales costos.

En el 2018 la tarifa promedio ponderada global de la CESPMM se estimó por la agencia en 15.9 pesos por metro cúbico, cifra inferior a la del promedio del grupo de organismos calificados por Fitch (GOF), de 19.2 pesos. El incremento continuo de tarifas por encima de la inflación es necesario para mantener las finanzas sólidas, dados los costos operativos altos de los organismos operadores de Baja California.

A pesar de lo anterior, los ingresos operativos presentan un buen dinamismo, al registrar una tasa media anual de crecimiento (tmac) en los últimos cinco años de 9.3 %. En el 2018, los ingresos ascendieron a 1,582 mdp, 20.9 % superior a lo que se registró en el 2017. El crecimiento en los ingresos se explica principalmente por las acciones de la administración, las cuales están dirigidas a mejorar la eficiencia comercial. Dichas acciones le permiten compensar el efecto de los subsidios y exenciones, así como del ajuste tarifario ligado sólo a inflación.

Riesgo operativo; rango medio:

Los riesgos operativos se definen como un factor medio, considerando que los costos de los principales suministros (energía eléctrica, material químico, combustible, etcétera) se encuentran identificados y tienen volatilidad moderada. La infraestructura es adecuada, como se refleja con indicadores de eficiencias y coberturas; no obstante, se requieren actualizaciones y mantenimiento continuo.

En los últimos cinco años la CESPMM registra control en su gasto total, con una tasa media anual de crecimiento de 6.3 %. En el ejercicio fiscal 2018 los egresos crecieron 14.5 %, dinamismo inferior a los ingresos (20.9 %), por lo que los resultados operativos de la Comisión se han fortalecido en el periodo de análisis.

La CESPMM destaca en sus eficiencias operativas y coberturas, las cuales se comparan adecuadamente con el promedio del grupo de organismos calificados por Fitch (GOF). En el 2018 la Comisión registra un incremento en sus eficiencias. La eficiencia física fue de 81.8 %; la eficiencia comercial alcanzó 85.3 %, y la micromedición 99.7 %. También cuenta con coberturas sobresalientes de agua potable, alcantarillado y saneamiento: 98.4 %, 84.2 % y 68.3 %, respectivamente.

La renovación de capital es apoyada por aportaciones federales y estatales y de organismos binacionales, las cuales varían anualmente y se complementan con recursos propios. La Comisión estima que sus necesidades principales de infraestructura abarcan la reposición de redes de



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

distribución de agua potable, recolección de aguas negras y pluviales, así como edificación para la atención a usuarios. Considerando el nivel de depreciación anual (266 millones promedio anual en el período de análisis), y la inversión realizada, existen necesidades de inversión, por lo que la CESPМ trabaja para cubrirlas.

Perfil financiero-débil:

El perfil financiero se define como débil, al considerar en conjunto la mejora en sus márgenes financieros e indicadores de endeudamiento; no obstante, dicha fortaleza contrarresta por su débil posición de liquidez.

El margen de deuda neta a EBITDA, en el 2017, fue de 2.2 veces (x), y registró una tendencia decreciente en el período de análisis. Al cierre de ese año la deuda totalizó 847.8 mdp, saldo compuesto por dos financiamientos con la banca de desarrollo y con la Corporación Financiera de América del Norte S.A. de C.V. (COFIDAN). Baja California es deudor solidario del 92 % de la deuda. De acuerdo con el escenario de calificación de Fitch, se proyecta un indicador de deuda neta entre EBITDA cercano a 6x.

Por su parte, el colchón de liquidez (EBITDA, menos el servicio de la deuda, más caja entre gasto operacional) al cierre del año fue de 0.23x, lo cual está por debajo del nivel marcado en la metodología de 0.33x y, por lo tanto, el perfil de liquidez es evaluado como débil.

Riesgo añadido asimétrico-neutral para la calificación:

El factor de riesgos asimétricos es neutral para la calificación. El organismo presenta una administración eficiente que ha mantenido estabilidad en sus políticas y operación.

Sensibilidad de la calificación

La perspectiva estable indica que las fortalezas y debilidades de la CESPМ se encuentran niveladas. Mayor deuda o debilitamiento del perfil financiero que se refleje en un endeudamiento neto sobre EBITDA por encima de 6x, podría reflejarse en una baja en la calificación. Por otra parte, mantener un endeudamiento neto sobre EBITDA por debajo de 6x, y mejorar su colchón de liquidez en un nivel superior a 0.33x de manera sostenida, se reflejaría en un incremento en la calificación.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2 El déficit de saneamiento en la región

En la frontera compartida entre México y Estados Unidos, en la zona de Mexicali, los aspectos ambientales y políticos se entrelazan y se funden alrededor de una problemática común alrededor del agua, en general, y del saneamiento de las aguas residuales, en particular. La región fronteriza plantea muchos problemas, tanto para Estados Unidos como para México, en la medida en que un número cada vez mayor de usuarios domésticos, agricultores e industriales compiten por un recurso, limitado, por una parte, y con frecuencia contaminado, por lo que se da entrada a la posibilidad de conflictos regionales ocasionados por la escasez o la contaminación de los recursos hídricos.

Mientras que la expansión demográfica y económica continúa en la zona, el agua se sigue agotando y contaminando; con esto último los recursos se degradan y tienen impactos diversos, por lo que por ningún motivo deberá dejarse de prever disponer de la infraestructura necesaria y suficiente para atender las necesidades que demande el crecimiento de la zona de Mexicali.

2.1 Comparación de capacidad de diseño contra demanda actual y futura

Capacidad de diseño del sistema de saneamiento y demanda actual

Puede decirse que la capacidad de la red primaria en la ciudad es suficiente; sin embargo, para absorber las áreas de crecimiento de los próximos 30 años se requerirá nueva infraestructura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Con relación a las plantas de tratamiento, la capacidad de la PTAR Zaragoza es suficiente. Ya en la zona de aportación a esta planta se generan 1158 l/s; sin embargo, ingresan a la planta 957 l/s, pues un caudal de 201 l/s se venden sin tratar a INTERGEN, que se encarga de su tratamiento para procesos propios, por lo que la planta Zaragoza aún puede recibir 343 l/s adicionales para completar su capacidad.

Por su parte, la planta de tratamiento Arenitas se ha visto rebasada en su capacidad, que es de 840 l/s. Durante 2019 ingresaron a la planta 986 l/s con picos en promedios mensuales de 1044 l/s, pero este año se concluye el estudio para su ampliación a 1900 l/s, que se espera se realice en el corto plazo. Con la citada ampliación la capacidad de tratamiento de la ciudad de Mexicali sería 3200 l/s y una demanda total de 2144 l/s; 1943 l/s que ingresan a las plantas de tratamiento, más 201 que se derivan antes de ser tratados, liberando capacidad a la PTAR Zaragoza que así actualmente dispone de 343 l/s en capacidad.

Demanda futura

La demanda futura de saneamiento dependerá principalmente del crecimiento poblacional que, de acuerdo con el análisis a partir de los datos estadísticos censales y conteos intercensales para la localidad de Mexicali, la población esperada en forma quinquenal, utilizando el modelo geométrico de proyección de población, se muestra en la tabla 26 e ilustración 28 para las diferentes tasas de crecimiento por periodo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

De acuerdo con las proyecciones analizadas, dado que no existen proyecciones oficiales, se revisó la proyección de población por diferentes métodos, determinándose que el método geométrico con la tasa de crecimiento promedio (tabla 25) arrojó resultados similares a los datos censales, por lo que se toma como referencia para la estimación de demandas.

Para la tasa promedio, se observa que al año 2050 se obtiene como resultado una población de 1'283,857 habitantes en la ciudad de Mexicali (a nivel localidad), mientras que en un escenario de crecimiento de tasa máxima, que corresponde al periodo 1990-2015 (tasa de crecimiento $i = 0.02038$), la población esperada sería de 1'522,787 habitantes.

Tabla 25. Tasas de crecimiento de la población para la ciudad de Mexicali, BC

Periodo	Tasa de crecimiento
$i_0(90-15)$	0.02097049
$i_1(95-15)$	0.0190456
$i_2(00-15)$	0.0196732
$i_3(05-15)$	0.01209987
$i_4(10-15)$	0.01319725
$i_5(\text{promedio})$	0.01600398

Fuente: CONAPO

Tabla 26. Proyecciones de población para la ciudad de Mexicali, BC utilizando el modelo geométrico

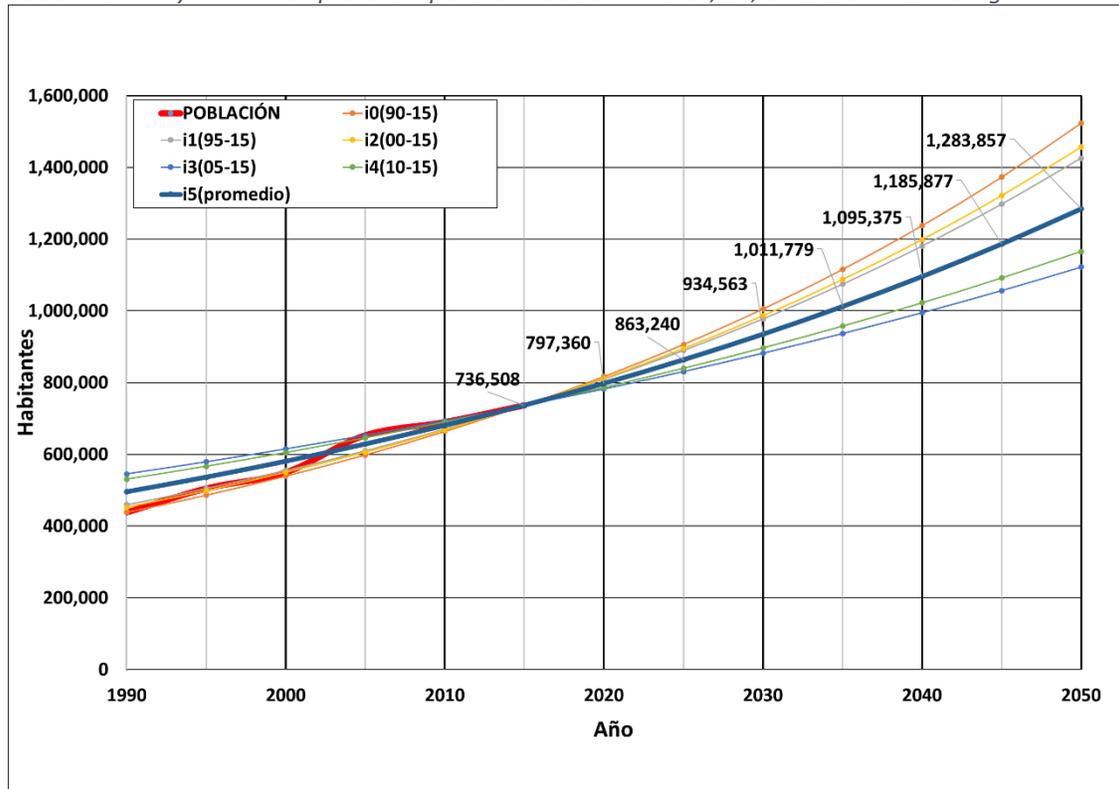
AÑO	POBLACION	POBLACION ESTIMADA					
		$i_0(90-15)$	$i_1(95-15)$	$i_2(00-15)$	$i_3(05-15)$	$i_4(10-15)$	$i_5(\text{promedio})$
1990	438,377	438,377	459,555	452,535	545,247	530,673	495,213
1995	505,016	486,311	505,016	498,836	579,042	566,627	536,129
2000	549,873	539,485	554,975	549,873	614,932	605,017	580,425
2005	653,046	598,474	609,876	606,132	653,046	646,007	628,381
2010	689,775	663,914	670,208	668,148	693,523	689,775	680,300
2015	736,508	736,508	736,508	736,508	736,508	736,508	736,508
2020		817,040	809,367	811,863	782,158	786,407	797,360
2025		906,378	889,434	894,927	830,637	839,687	863,240
2030		1,005,484	977,421	986,490	882,121	896,577	934,563
2035		1,115,427	1,074,113	1,087,421	936,796	957,321	1,011,779
2040		1,237,392	1,180,369	1,198,678	994,859	1,022,180	1,095,375
2045		1,372,692	1,297,137	1,321,319	1,056,522	1,091,434	1,185,877
2050		1,522,787	1,425,457	1,456,507	1,122,007	1,165,380	1,283,857

Fuente: elaboración propia, a partir del INEGI (1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015) y tasas CONAPO



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 18. Proyecciones de población para la ciudad de Mexicali, BC, utilizando el modelo geométrico



Fuente: elaboración propia, a partir del INEGI (1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015)

2.1.1 Demanda actual de saneamiento de aguas residuales

Como ya se ha mencionado, el alcantarillado sanitario en el área urbana de Mexicali presenta un alto porcentaje de cobertura (95.46 %), por lo que la mayor parte de las acciones se orientan a reponer tubería antigua que ya cumplió su vida útil y se encuentra deteriorada.

El resto de las acciones, en el tema de alcantarillado, se refieren a incorporar áreas nuevas que carecen del servicio, pero que son pocas, lo que se irá reflejando conforme la ciudad crezca. Sin embargo, fuera de la cabecera municipal, en la zona del Valle de Mexicali, la cobertura es muy baja (del orden de 32 %).

La demanda actual de saneamiento se encuentra rebasada en una de las plantas principales: la de Arenitas, que en el 2019 recibió en promedio 986 l/s con picos de 1044 l/s, siendo que la capacidad nominal de la misma es de 840 l/s; es decir, se presentaron caudales 204 l/s por encima de su capacidad.

En lo que respecta a la PTAR Zaragoza, aún dispone de capacidad para absorber crecimiento, y únicamente requiere adecuaciones para evitar el incumplimiento de la NOM-001-ECOL-1996 en el parámetro de nitrógeno total. El caudal promedio anual, que ingresó a esta planta en el año 2019 fue de 957 l/s; su capacidad es de 1300 l/s; 201 l/s se desviaron antes de llegar a las instalaciones hacia la planta INTERGEN, que la utiliza en sus procesos industriales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales

La demanda futura de saneamiento de la ciudad de Mexicali, una vez resuelto el déficit actual de tratamiento, estará relacionada con el crecimiento de la ciudad al requerirse nuevos colectores y emisores en las zonas de desarrollo. La demanda de tratamiento en alta proporción será absorbida por la ampliación de la PTAR Las Arenitas en 1060 l/s adicionales, que se encuentra en estudio y se espera sea concluido en el mes de diciembre del presente año.

Demanda futura de tratamiento

Para la dotación promedio por habitante de 300 l/día,

Para determinar la demanda de tratamiento se considera que solo se colecta el 70 % del agua aportada al sistema, que se estima en 300 l/hab/día, además de contemplar dos posibles escenarios de crecimiento poblacional, el primero al alza y el segundo como promedio de los últimos años. Los resultados de proyección de población y demanda mencionados se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Proyecciones de población y demanda de tratamiento de Mexicali al año 2050.

AÑO	POBLACIÓN ESTIMADA (hab)		Demanda tratamiento Q(m ³ /s)	
	i= alta	i= promedio	i= alta	i= promedio
2020	817,040	797,360	1.97	1.94
2025	906,378	863,240	2.20	2.10
2030	1'005,484	934,563	2.44	2.27
2035	1'115,427	1'011,779	2.71	2.46
2040	1'237,392	1'095,375	3.01	2.66
2045	1'372,692	1'185,877	3.34	2.88
2050	1'522,787	1'283,857	3.70	3.12

Fuente: elaboración propia.

2.1.3 Comparación de demanda actual y futura de colectores principales

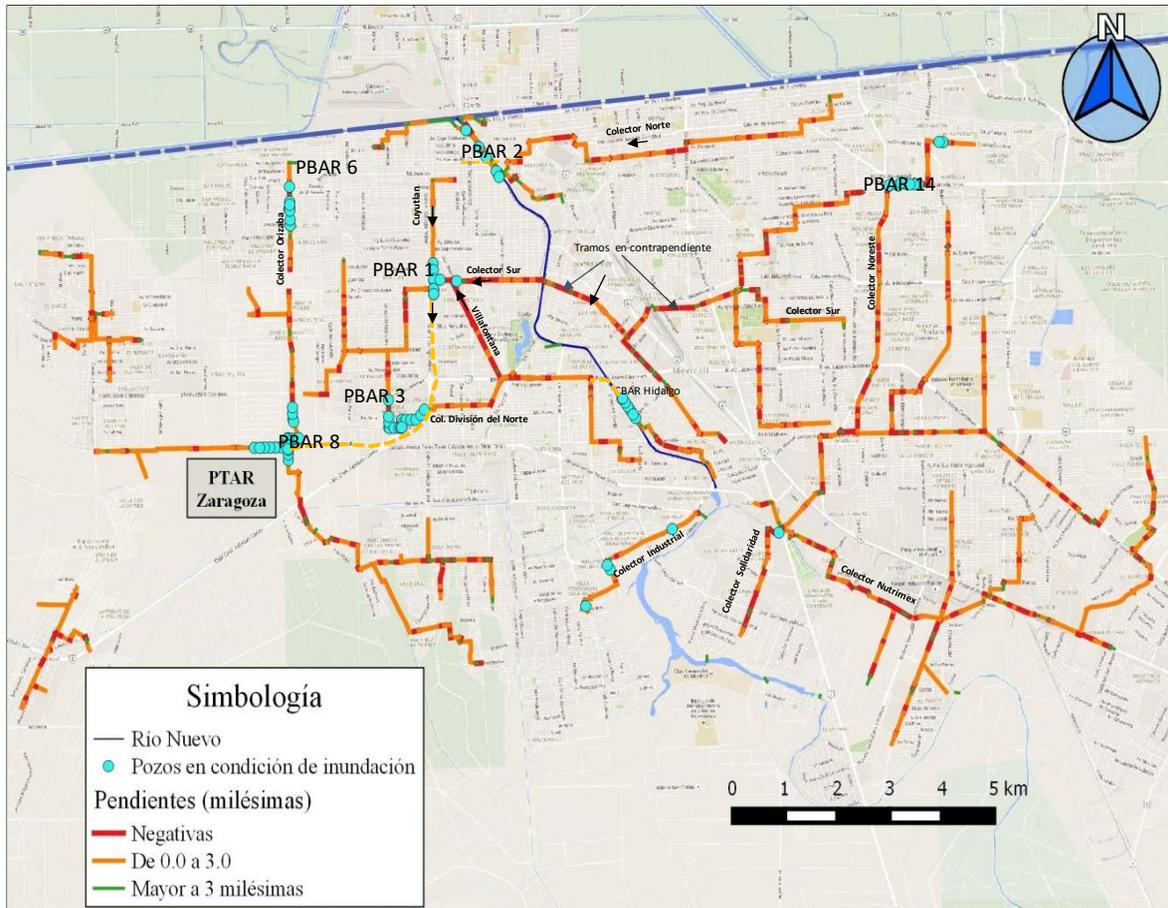
Hasta ahora los colectores principales cuentan con capacidad de conducir las aguas residuales de sus respectivas zonas de aportación, que son captadas por atarjeas y subcolectores. Los problemas de derrame han ocurrido principalmente por colapsos y daños en tuberías que se taponean con materiales que las obstruyen. Incluso la mayor parte de la infraestructura podría recibir aportaciones de áreas que aún no han consolidado su densidad poblacional, ya que sus redes de alcantarillado, de acuerdo con el diagnóstico elaborado en el 2016, presentan densidades de descargas que van de bajas a medias, salvo en algunas zonas ubicadas en el sur y sureste de la mancha urbana, donde se tienen densidades de descargas que se consideran altas.

La afirmación anterior se apoya en resultados de la aplicación de un modelo de simulación del comportamiento de los niveles en los colectores, una vez ajustados diversos parámetros del funcionamiento del sistema, entre otros, el funcionamiento de los bombeos, la incorporación de caudales a lo largo de una jornada y la información topográfica corroborada en campo.

Esta revisión se realizó como parte del Diagnóstico Técnico de la Infraestructura de Saneamiento (CESPM, 2016), pues en el caso de Mexicali no resulta sencilla la revisión de estos parámetros con cálculos manuales, debido a la secuencia antes descrita de tramos de bombeo y gravedad, en un sistema que presenta, además, el problema de tramos en contrapendiente.

La situación descrita se ilustra en la ilustración 19, que es resultado de la revisión, mediante la aplicación del modelo citado, y que formó parte del mismo estudio.

Ilustración 19. Resultados del modelo de simulación de pendientes y caudales obstruidos en la red de alcantarillado de Mexicali



Fuente: extraída del Informe de Diagnóstico Técnico de Infraestructura de Saneamiento de Mexicali, (2016).

Si bien la escala del mapa no permite obtener a detalle los tramos en contrapendiente, es posible apreciarlos, ya que destacan por estar plasmados en un tono más oscuro (rojo oscuro), observándose que es un porcentaje importante de longitudes de colectores en contrapendiente, principalmente de la red en la zona Mexicali I.

Una vez que el modelo resultó funcional, el software EPA SWMM utilizado, permitió hacer una simulación de periodos extendidos, los cuales arrojaron datos del porcentaje de llenado de las tuberías, el caudal que transportan y la velocidad. En los pozos de visita se reflejan los datos del volumen y la profundidad del agua, y en los cárcamos pudo observarse su calado con la variación del tiempo.

Los resultados de este modelo de simulación permitieron ver como es el funcionamiento de la red con la información disponible, y también hacer una evaluación general.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La condición general de la red tiene capacidad para atender las necesidades actuales y futuras; sólo en algunos tramos se genera el riesgo de que el agua se acumule en ciertas zonas de los colectores y se desborde por los pozos de visita. Estas observaciones permitieron identificar las probables ubicaciones de los problemas de la red de alcantarillado sanitario de Mexicali. Es decir, aquellos tramos que presentaron porcentaje de llenado por encima del 75 % de su capacidad.

Asimismo, es importante subrayar que la mayoría de los tramos de capacidad reducida se ubican en la zona de Mexicali I, es decir en la parte más antigua de la ciudad, donde ya desde hace muchos años se tiene un desarrollo prácticamente completo, pues en varios análisis que la CESPMM ha realizado, esta zona no disponía de áreas baldías, de tal forma que en el 2010 sólo existían 27 hectáreas totalmente sin uso.

La solución, y por tanto la demanda de nuevos colectores, se traduce en modificaciones de tramos del colector, e incluso de los cárcamos de las plantas de bombeo, para disminuir niveles de inundación causados por contrapendientes, principalmente a la llegada de las PBAR 1, 2, 3, 6 y 8, de las que señalan cuáles colectores confluyen en cada una de ellas:

De acuerdo con lo anterior se presenta la condición general de la red de colectores y subcolectores, producto de los análisis realizados, considerando lo ya expresado en el sentido de que, al simular el funcionamiento de la red, los niveles de flujo para la generalidad de las líneas se encontraron por debajo del 50 por ciento de la capacidad total; únicamente ciertos tramos presentaron obstrucción del flujo, sobre todo por la existencia de pendientes negativas; es en esos sectores en los que se requiere plantear una solución derivada de un estudio previo que culmine en proyectos de modificación.

El hecho de que las líneas de colectores y subcolectores conduzcan los flujos acumulados por debajo del 50 por ciento de su capacidad, se considera superávit; en las tablas 28 y 29 se muestran las condiciones generales de capacidad de la red, señalando en amarillo aquellos colectores que presentan zonas con obstrucción de flujos cuando estos se acumulan, y también riesgos de derrame por pozos de visita.

Los tramos de colector que se consideran con limitaciones de capacidad bajo condiciones de caudales máximos instantáneos se expresan en porcentaje de longitud del conducto, estimada con tirante arriba del 75 %; es el dato que aparece en la columna con encabezado amarillo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 28. Condición de capacidad de la red de colectores y subcolectores, zonas Mexicali I y III

Nombre de colector	Zona	Caudal Acumulado l/s	Diámetros cm (pulg)	Longitud (m)	Suficiencia en Capacidad (con superávit)	Tramo c/operación 75% ó mas de su capacidad	Capacidad insuficiente
Colector Cárcamo G (a presión)	I	14.83	45 (18)	244	100%		
Colector Cárcamo San Marcos (a presi	I	5.10	45 (18)	765	100%		
Colector Cárcamo Zacatecas (a presi	I	4.01	20 (8)	508	100%		
Colector Centro Cívico	I	10.33	20 (8)	65	100%		
Colector Churubusco	I	17.62	76 (30), 91 (36)	2763	100%		
Colector Cuyutlan	I	284.00	76 (30), 122 (48)	3360	91%	9%	
Colector División del Norte	I	161.00	76 (30)	3150	95%	6%	
Colector Hidalgo	I	27.22	45(18), 60 (24)	2360	92%	8%	
Colector Ignacio Ramírez (Panamá)	I	63.56	(36)	4021	100%		
Colector Independencia	I	41.08	45 (18), 60 (24)		100%		
Colector Lázaro Cárdenas-Anáhuac	I	144.00	45 (18), 53(21), 60(24), 76(30), 91 (36) 106 (42)	5705	100%		
Colector Lucerna	I	17.14	20(8), 30 (12)	1155	100%		
Colector Mazapil	I	42.66	45(18), 60(24) y 76 (30)	3815	100%		
Colector Nacionalista	I	63.44	53(21), 60 (24)	2200	93%	7%	
Colector Norte	I	170.75	60 (24), 76 (30), 107 (42)	4665	100%		
Colector Pasadina (Bellavista)	I	16.89	45 (18)	1317	100%		
Colector Río Nuevo (Margen Derecha)	I	9.24	35(14), 45 (18)	1375	100%		
Colector Río Nuevo (Margen Izquierda)	I	36.46	45 (18), 76 (30)	1470	100%		
Colector Sur	I	247.00	20(8), 30 (12), 35(14), 45(18), 50 (20),60 (24), 76(30)	9125	95%	5%	
Colector Venecia (Villafontana)	I	24.55	45(18), 76 (30)	1900	100%		
Sub Colector (Margen Izquierda)	I	6.56	45(18), 76 (30)	2328	100%		
Sub Colector Ayuntamiento	I	6.81	38(15), 45(18)	1266	100%		
Sub Colector Cuyutlan	I	13.98	45(18), 50 (20)	1229	100%		
Sub Colector Ejercito Nacional	I	10.33	45(18), 24 (60)	1271	100%		
Sub Colector Independencia	I	19.44	45(18), 50 (20)	924	100%		
Sub Colector Nacionalista	I	42.66	53 (21), 24 (60)	2161	100%		
Sub Colector Santa Clara	I	11.55	45(18), 60 (24)		100%		
Sub Colector Torreón	I	10.69	45(18), 60 (24)	929	100%		
Sumas Mexicali I				60071			
Colector Oeste	III	12.52	53 (21)	3692	100%		
Colector Orizaba Sur	III	106.70	76 (30, 91 (36))	2954	93%	10%	
Colector Orizaba Norte	III	52.50	(24)	1850	100%		
Colector Plutón (Santo Niño)	III	49.22	53 (21)	922	100%		
Colector Progreso	III	37.67	10, 12, 15 Y 18	2603	100%		
Colector Santa Isabel	III	55.42	20(8), 30 (12), 35 (14)	965	100%		
Colector Voluntad	III	90.30	53 (21), 60 (24). 76 (30)	2632	100%		
Sub Colector Las Palmas	III	4.25	38 (15), 53 (21)	1087	100%		
Sumas Mexicali III				16705			

Fuente: elaboración propia con información de la CESPM.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 29. Condición de la red de colectores y subcolectores de las zonas, Mexicali II y IV

Nombre de colector	Zona	Caudal Acumulado l/s	Diámetros cm (pulg)	Longitud (m)	Suficiencia en Capacidad (con	Tramo c/operación 75% ó mas de	Capacidad insuficiente
Colector Calle Primaria	II	53.47	45 (18), 61 (24)	2009	100%		
Colector Carranza	II	28.56	60 (24) y 69 (27)	312	100%		
Colector Colorado	II	18.47	60(24)	336	100%		
Colector Dorado	II	13.49	53 (21)	1498	100%		
Colector Fco. I Madero	II	19.57	45 (18)		100%		
Colector Industrial	II	86.77	30 (12, 45(14), 76(30)	3190	91%	9%	
Colector Laguna Xochimilco	II	61.74	76 (30) y 91 (36)	2883	100%		
Colector Lázaro Cárdenas-Independencia	II	97.71	91 (36) Y 106 (42)	5705	100%		
Colector Mexicali II	II	252.53	122 (48), 152 (60)	2110	100%		
Colector Montebello	II	72.92	76 (30), 36 (91)	4599	100%		
Colector Noreste (Principal)	II	95.76	60 (24, 76 (30)	8920	97%	3%	
Colector Nutrimex	II	316.70	42), 48 (122) Y 54 (137)	7117	100%		
Colector Periférico	II	33.54	76 (30), 36 (91) Y 106 (42)	1522	100%		
Colector Privadas Campestre	II	5.71	38(15), 45 (18)	1547	100%		
Colector Robledo	II	41.81	53 (21), 60 (24) Y 76 (30)	1542	100%		
Colector Solidaridad	II	30.26	45 (18), 76(30)	2118	100%		
Colector Toledo	II	29.29	45 (18), 50 (20), 60(24)	1118	100%		
Colector Tula	II	24.43	53 (21), 61 (24), 76 (30)	1845	100%		
Colector Villa Verde	II	25.03	(30)	1167	100%		
Subcolector Del Palmar	II	24.31	(24)	2150	100%		
Subcolector Monarcas	II	4.74	38 (15), 45 (18)	2150	100%		
Subcolector Vidaurri	II	38.77	60 (24)	1595	100%		
Sumas Mexicali II				51278			
Colector Abasolo	IV	8.39	45 (18)	1028	100%		
Colector Ángeles de Puebla	IV	16.16	45 (18)	2877	100%		
Colector Islas Agrarias	IV	48.00	24 (8), 30 (12),	3310	100%		
Colector Ladrilleros	IV	33.18	45 (18)	1924	100%		
Colector M4	IV	134.77	76 (30)	4904	100%		
Colector Tierra Cálida	IV	26.61	45(18), 50(20)	2307	100%		
Subcolector Abasolo	IV	31.48	45 (18), 50(20)	3134	100%		
Subcolector Rincones de Puebla	IV	0.49	45 (18)	1231	100%		
Subcolector Saturno	IV	3.04	45(18)	1028	100%		
Sumas Mexicali IV				21743			

Fuente: elaboración propia con información de la CESP.M.

2.1.4 Comparación demanda actual y futura de estaciones de bombeo principales

Las plantas de bombeo del sistema de saneamiento de Mexicali actualmente son suficientes para dar el servicio a las diferentes zonas; sin embargo, como ya se describió, algunas requieren de mantenimiento, complementar el sistema eléctrico y sustituir los equipos por condiciones de uso.

Las estaciones de bombeo, que se requiera incorporar al sistema, surgirán de las necesidades planteadas por los nuevos desarrollos urbanos, conforme se presente el crecimiento de la ciudad.

De los cárcamos de bombeo y de las plantas de bombeo de aguas residuales salen subcolectores, colectores y emisores que, como se aprecia en la tabla 30, tienen gastos instantáneos bastante superiores a los caudales medios.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 30. Gastos estimados para CBAR's y PBAR's de la ciudad de Mexicali, BC

Identificación	Gasto Medio (L/s)	Qmáximo instantáneo (L/s)	Desnivel topográfico
CBAR			
San Pablo	4.22	13.50	3.34
Calle G	15.92	50.94	3.88
Margen Derecha	14.38	46.02	1.00
San Marcos	7.24	23.17	4.15
El vidño	3.47	11.10	3.63
Anáhuac	5.78	18.50	3.73
Nueva Esperanza	4.62	14.78	4.02
Centro Cívico	0.86	2.75	3.75
Zacatecas	2.71	8.67	4.17
Jardines del Lago	11.17	35.74	5.11
Esperanza Agrícola	18.61	59.55	7.45
Aurora	7.44	23.81	6.64
Hidalgo	28.49	91.17	9.64
Lucerna	17.61	56.35	5.99
Noroeste	37.17	118.94	3.68
Coronado	4.05	12.96	9.11
Solidaridad	5.86	18.75	8.64
Cedros	20.95	67.04	5.73
Ciprecito	2.88	9.22	3.97
Madero	5.66	18.11	7.27
Campestre	2.45	7.84	4.27
PBAR			
PBAR 1	532.16	1,223.97	15.35
PBAR 2	200.55	461.27	12.22
PBAR 3	248.18	570.81	15.35
PBAR 4	870.83	2,002.91	31.89
PBAR 5	186.45	428.84	4.05
PBAR 6	65.23	150.03	10.12
PBAR 7	72.50	166.75	13.15
PBAR 8	136.61	314.20	8.15
PBAR 9	22.83	52.51	4.42
PBAR 10		-	
PBAR 11	68.99	158.68	11.19
PBAR 12	10.49	24.13	6.35
PBAR 13	22.96	52.81	38.25

Fuente: Diagnóstico Técnico de la Infraestructura, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Alcantarillado y Saneamiento (2016).

Sin embargo, las nuevas zonas de desarrollo, es decir las áreas de expansión urbana, requerirán de manera general nueva infraestructura para conducir las aguas residuales hasta las respectivas plantas de Jardimiento.

2.1.5 Comparación demanda actual y futura de plantas de tratamiento

Como se ha citado anteriormente, la oferta de tratamiento actual es la correspondiente a las capacidades de las PTAR Zaragoza y Arenitas, que tienen 1300 l/s y 840 l/s, respectivamente, para un total de 2140 l/s (2.14 m³/s).

Se espera en el corto plazo (1-2 años) contar con la ampliación de la planta Arenitas en 1060 l/s adicionales, con lo que se tendrían en total 3200 l/s (m³/s) de capacidad de tratamiento.

Habrá que esperar el resultado del estudio de factibilidad, que actualmente se realiza, para ver si la ampliación propuesta será modular; es decir, si se considera conveniente ejecutar la ampliación en varios módulos para incorporar a tratamiento el déficit actual, que es de más de 200 l/s, para dar margen a realizar el resto de la obra en el mediano plazo.

Demanda actual de plantas de tratamiento

Actualmente, con la demanda de tratamiento en las condiciones de ubicación del sistema de atarjeas, colectores y plantas de bombeo, la PTAR Zaragoza tiene un superávit en su oferta, respecto a los caudales que llegan para tratamiento, al ingresar a la misma un caudal de 957 l/s, y su capacidad es de 1300 l/s. Contrariamente, la PTAR Arenitas, con una capacidad de tratamiento de 840 l/s, se ha visto rebasada en su capacidad desde el 2013; y en el 2019, durante algunos meses



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

del año, ingresaron a la planta 1044 l/s, es decir 204 l/s por encima de su capacidad, por lo que se estudia su ampliación a una capacidad de 1900 l/s.

Demanda futura de plantas de tratamiento

Para la dotación promedio por habitante de 300 l/día; considerando dos escenarios: uno derivado de un crecimiento con la tasa promedio de un análisis de crecimiento realizado ($i=0.014366$), y otro correspondiente a la tasa mayor de los datos del periodo analizado y que corresponde al periodo 1990-2015 ($i=0.020175$); con los resultados de proyección de población se prevé que la demanda de tratamiento es la que se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Demanda de tratamiento para dos escenarios en Mexicali al año 2050

AÑO	POBLACIÓN ESTIMADA		Demanda tratamiento Q(l/s)	
	i= alta	i= promedio	i= alta	i= promedio
2020	817040.1718	797,360	1.986	1.938
2025	906377.9922	863,240	2.203	2.098
2030	1005484.299	934,563	2.444	2.272
2035	1115427.212	1,011,779	2.711	2.459
2040	1237391.638	1,095,375	3.008	2.662
2045	1372692.05	1,185,877	3.336	2.882
2050	1522786.648	1,283,857	3.701	3.120

Fuente: Elaboración propia

Comparación oferta de capacidad de tratamiento y demanda futura

La oferta de tratamiento actual es la correspondiente a las capacidades de las PTAR Zaragoza y Arenitas, que tienen 1300 l/s y 840 l/s, respectivamente, para un total de 2140 l/s ($2.14 \text{ m}^3/\text{s}$). Se espera en el corto plazo (1-2 años) contar con la ampliación de la planta Arenitas en 1060 l/s, con lo que se tendrían 3200 l/s de capacidad de tratamiento; también puede considerarse hacer esta ampliación en dos módulos.

En el escenario de la tasa de crecimiento, equivalente a la experimentada en el periodo de 1990 al año 2015, que es la tasa mayor de los periodos de análisis (tabla 32), los resultados arrojan que las plantas existentes, aún con la ampliación, resultarían insuficientes y habría que pensar en ampliar más o en construir una nueva planta que debería estar en funcionamiento a partir del 2045, para absorber el crecimiento previsto al 2050 y los años posteriores. Si el escenario de crecimiento poblacional se asemeja al de la tasa promedio, la infraestructura de saneamiento ampliada de Arenitas sería suficiente con un pequeño superávit de 80 l/s en la oferta.

Tabla 32. Comparación de la oferta y demanda futura de tratamiento de aguas residuales de Mexicali al año 2050

AÑO	POBLACIÓN ESTIMADA (hab)		Demanda tratamiento Q(l/s)		Oferta (m3/s)		Oferta-demanda (m3/s)	
	i= alta	i=promedio	i= alta	i= promedio	actual	corto plazo (*)	i= alta	i= promedio
2025	906378	863240	2.203	2.098	2.140	3.200	0.997	1.102
2030	1005484	934563	2.444	2.272	2.140	3.200	0.756	0.928
2035	1115427	1011779	2.711	2.459	2.140	3.200	0.489	0.741
2040	1237392	1095375	3.008	2.662	2.140	3.200	0.192	0.538
2045	1372692	1185877	3.336	2.882	2.140	3.200	-0.136	0.318
2050	1522787	1283857	3.701	3.120	2.140	3.200	-0.501	0.080

Fuente: elaboración propia.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2.1.6 Comparación demanda actual y futura de agua de reúso

En el 2019 se captaron en el sistema que aporta aguas residuales hacia la PTAR Zaragoza 1158 l/s; de este caudal se derivaron 201 l/s a la planta INTERGEN, por lo que ingresaron para tratamiento a la planta Zaragoza 201 l/s, y se reusaron 453 l/s, restando 502 l/s, que se descargaron en el dren Internacional.

De las aguas residuales tratadas se reutilizaron los siguientes caudales:

- 141 l/s de agua residual tratada, que se vendieron a la termoeléctrica de Mexicali.
- 306 l/s de agua residual tratada, que fueron tomados por el módulo de riego No. 20.
- 6 l/s de agua residual tratada, que se utilizaron para riego urbano.

De los caudales reutilizados todos son potencialmente demandantes de un mayor volumen; sin embargo, el único volumen que tiene algún antecedente de incremento del caudal demandado es el que se deriva a la planta INTERGEN para proceso industrial, que puede ser hasta de 250 l/s.

De 992 l/s, que ingresaron a la PTAR Las Arenitas, 376.4 se reutilizaron y 616 se descargaron al dren Dos Tubos que vierte en el río Hardy.

Las aguas residuales tratadas en Arenitas fueron reutilizadas:

- 98 l/s fueron para riego interno.
- 0.4 l/s de agua residual tratada fue tomada por la empresa Electro Estrella de Oro.
- 62 l/s se descargaron en el ejido López Mateos.
- 216 l/s fueron tomados por agricultores del módulo de riego No. 12.

En total se captaron en el sistema 2150 l/s, de los cuales 1949 l/s ingresaron a tratamiento en las dos plantas principales, 201 se derivaron sin tratar de la PTAR Zaragoza a INTERGEN, y 829.4 se reutilizaron en diversos usos, principalmente el agrícola, con lo que se obtiene un porcentaje global de reúso del 47.9 por ciento.

No existe por ahora demanda adicional; esta surgirá de la promoción que se haga para reutilizar más volumen en diversos usos, sobre todo si de ello se tiene como resultado algún ingreso por venta de agua residual tratada.

Con la ampliación de la planta Arenitas se esperan 1060 l/s adicionales de aguas residuales a la capacidad actual, lo que le dará un importante potencial de reúso de aguas residuales tratadas que podrán ser aprovechadas.

2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento

Durante varias décadas la expansión incontrolada de las áreas de urbanización impactó en un alto nivel de demanda de servicios, centrando la atención en la ampliación de coberturas y dejando en segundo término el mantenimiento y la sustitución de la infraestructura que se va haciendo antigua y obsoleta, o que se deteriora con el paso del tiempo. Esta situación se agrava a causa de una insuficiencia financiera crónica para realizar las inversiones en forma oportuna.

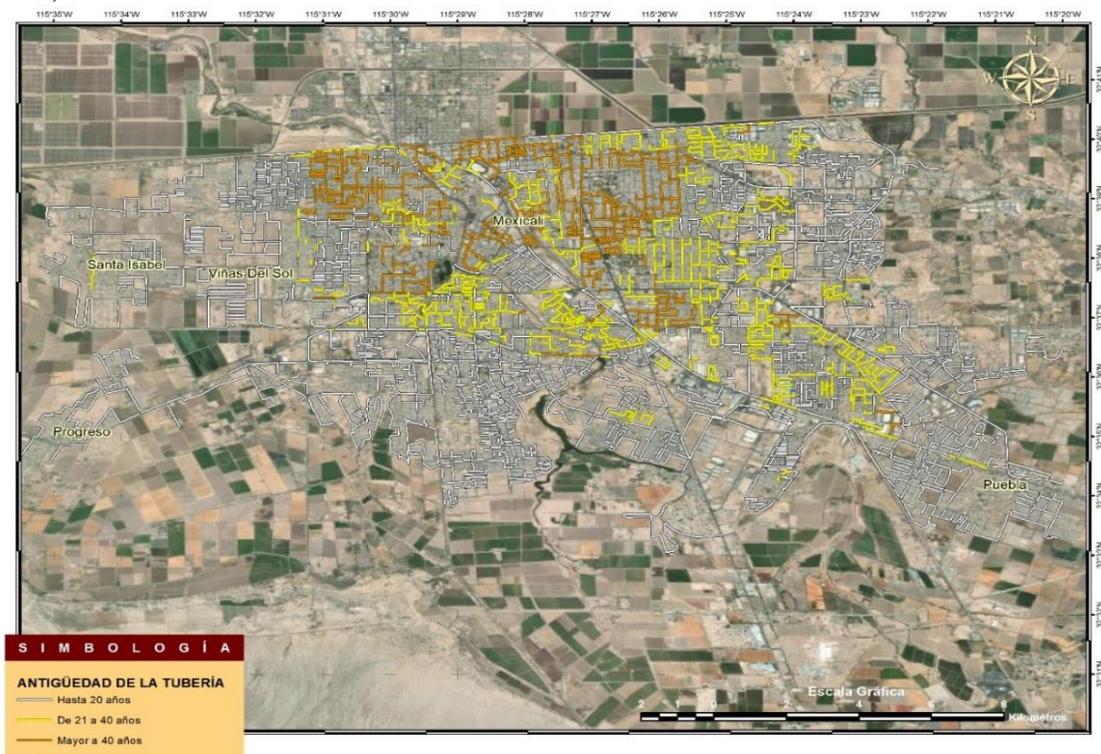
Uno de los ejemplos más claros es la instrumentación de procedimientos de reacción ante eventos emergentes, como el derrame de aguas crudas por fallas en las estaciones de bombeo, colapsos de líneas de tubería o incidencia de condiciones hidrometeorológicas extraordinarias, entre otras.

2.2.1 Reemplazo de la infraestructura que ha rebasado su vida útil

En Mexicali, conforme al diagnóstico presentado en el 2017 (ilustración 20), aproximadamente el 14 % de las tuberías del drenaje sanitario se instaló antes de 1975 (más de 45 años de antigüedad), y se ubica en la zona central de la colindancia con la línea fronteriza. En otro sector urbano, que bordea al sector anteriormente descrito, se instaló el 23 % de las tuberías entre 1975 y 1995; y finalmente, un alto porcentaje, (63 %) de ellas fueron construidas entre 1995 y el año 2020 (zona urbana que se expandió como una amplia franja exterior hacia el sureste, sur franco y suroeste).

De lo anteriormente señalado se desprende que, en un amplio sector urbano, las tuberías ya rebasaron o están en el límite de su vida útil, por lo que se tendrá que prever su reemplazo.

Ilustración 20. Distribución espacial de la antigüedad de las tuberías de drenaje sanitario en la ciudad de Mexicali, BC



Fuente: Diagnóstico Técnico de la Infraestructura, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Alcantarillado y Saneamiento de la Ciudad de Mexicali, BC

Reemplazo de colectores y atarjeas dañados y con vida útil cumplida

Conforme al diagnóstico de tuberías (colectores y atarjeas), elaborado para el organismo operador, se establece que aproximadamente el 50 % de colectores y atarjeas ya presenta daños, que van de críticos (2%) a notorios (48 %); y dentro de ese universo, el 14 % del total de 2871 km es de tuberías



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

que ya cumplieron su vida útil (más de 45 años), por lo que se necesitará su reemplazo en el corto y mediano plazos.

Con base en lo anterior, se requerirá reponer 400 km de tuberías dañadas y que ya cumplieron su vida útil; es decir, si se programa el reemplazo de estas líneas en un periodo de 10 años, se necesitará programar 40 km/año de colectores y atarjeas antiguos, en promedio, predominantemente PVC con diámetros de 8 a 14 pulgadas (tabla 33).

Tabla 33. Propuesta de reemplazo de tubería dañada y que ya cumplió su vida útil

Concepto	Diámetros (pulgadas)										suma	
	8	10	12	14	18	20	24	30	36	42		54
Atarjeas (km)	360	12	17	3								392.0
Colectores metros				1.5	3.0	0.5	2.0	1.0				8.0

Fuente: elaboración propia, a partir del Diagnóstico Técnico de la Infraestructura, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Alcantarillado y Saneamiento de la Ciudad de Mexicali, B C

Alternativa 1: Redes con tubería de PVC

La primera alternativa consiste en instalar tubería de PVC para alcantarillado con junta hermética por el sistema tradicional, realizando excavación de zanja por medios mecánicos, además de ruptura y reposición de pavimento hidráulico. La excavación debe realizarse conservando las pendientes y profundidades que marque el proyecto; el fondo de zanja debe ser de tal forma que tenga un apoyo firme y uniforme a lo largo de la tubería por medio de una plantilla de material de banco, garantizando la estabilidad del fondo de zanja y el tendido de la tubería. La siguiente ilustración muestra el proceso de instalación.

El relleno de la zanja deberá ser con material de banco compactado al 85 % de la prueba Proctor.

Ventajas del método de instalación tradicional

- Amplio conocimiento del procedimiento constructivo.
- Acceso para la reparación de conexiones a la red y albañales.
- Resistencia a la corrosión y abrasión.
- Eliminación de raíces que son atraídas por la humedad de las tuberías.
- Eliminación de raíces circundantes al área de trabajo.
- Eliminación de fugas de fluidos contaminantes o sustancias químicas.

Con base en las consideraciones mencionadas, se realizó un análisis de costos en una longitud de 100 metros, resultando un costo de \$511,625.00 para tubería de 200 mm (8"); \$528,875.00 para la tubería de 250 mm (10"); \$556,000.00 para tubería de 30 cm (12 pulgadas), y \$580,000.00 para tubería de 40 mm (14 pulgadas). La vida útil de la tubería de PVC se considera de **30 años**, cuyo costo por kilómetro lineal sería:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 34. Costo de construcción de líneas por diámetro

Diámetro cm (pulgadas)	costo /km (millones pesos)
Atarjeas	
20 (8)	5.16
25 (10)	5.28
30 (12)	5.56
35 (14)	5.80
Colectores	
35 (14)	8.58
40 (16)	9.07
45 (18)	10.38
50 (20)	11.23

Fuente: elaboración propia

Conforme a las longitudes de atarjeas y colectores que se indican en la tabla 35, los importes de inversión se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 35. Importe de las inversiones requeridas para sustitución de atarjeas

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U. (millones pesos)	IMPORTE (millones pesos)
Sustitución de atarjeas 20 cm (8")	km	360	5.16	1857.6
Sustitución de atarjeas 25 cm (10")	km	12	5.28	63.36
Sustitución de atarjeas 30 cm (12")	km	17	5.56	94.52
Sustitución de atarjeas 35 cm (14")	km	3	5.80	17.4
			Subtotal	2032.9
Sustitución de colectores 35 cm (14")	km	1.5	8.58	12.87
Sustitución de colectores 40 cm (18")	km	3.0	10.38	31.14
Sustitución de colectores 45 cm (20")	km	0.5	11.23	5.615
			Subtotal	49.6
			Total	2082.5

Fuente: elaboración propia

Alternativa 2: Encamisado de tuberías

Para la segunda alternativa se considera el encamisado de tuberías o sistema curado en sitio; consiste en la introducción de una tubería nueva en el interior de la ya existente, y se estructura a base de fibra de poliéster flexible con cubierta externa de poliuretano que, a su vez, se impregna con resina de fijación térmica especial para rehabilitación de tuberías, garantizando un período de vida de 30 años requeridos, conforme a las especificaciones de la norma ASTM. Este sistema evita tiempos excesivos de instalación, molestias al tráfico vehicular y humano, que usualmente se suscitan con el sistema tradicional de cepa abierta. Rinde instalaciones de hasta 100 m en un turno nocturno, en diámetros desde 8" a 72" (0.20 A 1.83 m).

Este proceso ofrece soluciones que permiten que los operadores de las redes de alcantarillado rehabiliten tuberías, solucionen los problemas que perciben como inminentes y minimicen las fugas, filtraciones y contaminaciones que se presentan en los sistemas.

Aunado a lo anterior, el proceso de rehabilitación puede realizarse considerando lo siguiente: CIPP (tubo curado en sitio): Rehabilitación de tuberías sin necesidad de excavación CIPP (Cured in Place



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Pipe): es una técnica que busca recuperar o rehabilitar tuberías de agua potable, pluvial, sanitaria e industrial sin la necesidad de hacer excavaciones, eliminando de esta forma infiltraciones y exfiltraciones de agua, penetración de raíces, puntos de fuga de líquidos contaminantes y sustancias químicas, pérdidas de presión y posible corrosión interna de redes de agua.

Este proceso consiste en la inversión de una manga de poliéster recubierto por una película o membrana impermeable, que es impregnada con una resina termoestable. Esta manga es confeccionada a la medida y necesidad requerida para la recuperación de un tramo o sección de una red.

La manga es introducida por una cámara, caja de inspección u otro acceso existente en la red o sistema a rehabilitar; una columna de agua, formada por un tubo de inversión es impulsada a lo largo de la tubería, invirtiendo la manga y presionándola fuertemente contra las paredes del tubo. Después de este proceso, el agua utilizada en la inversión de la manga es calentada por medio de una caldera, creando una reacción química en la resina que obliga a su endurecimiento y, de esta manera, forma un nuevo tubo al interior del existente, prolongando de esta forma su vida útil hasta por **30 años**.

Ventajas del CIPP

- Mínima o ninguna excavación.
- Fácil y rápida instalación.
- Tiempo de ejecución más rápido.
- El recubrimiento se ajusta a la forma de la tubería y conforma un solo tubo.
- Resistencia a la corrosión y abrasión.
- Posibilidad de ingreso en áreas de difícil acceso.
- Eliminación de raíces atraídas por la humedad en el interior de las tuberías.
- Eliminación de fugas de fluidos contaminantes o sustancias químicas.

Con base en las consideraciones mencionadas, se realizó un análisis de costos en una longitud de 100 metros, resultando un costo de \$1'511,612.00. El costo por metro lineal es de \$15,116.12, para una durabilidad de hasta **30 años**. Considerando esta alternativa, el importe de la inversión total del proyecto se presenta en la tabla siguiente.

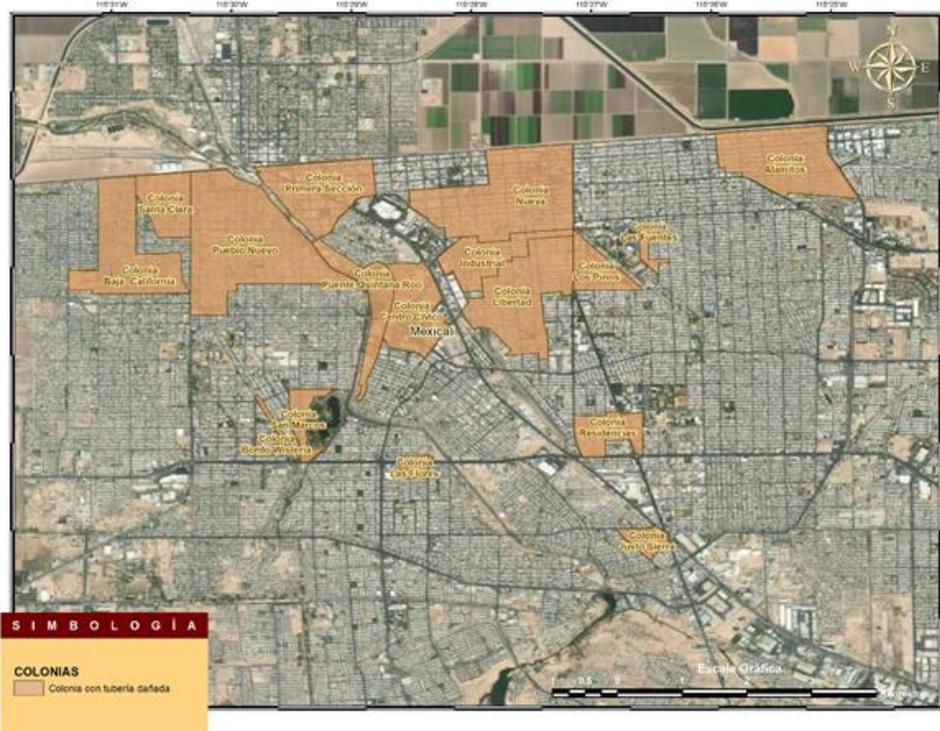
Tabla 36. Costos de sustitución de atarjeas por el método de encamisado

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U. (millones pesos)	IMPORTE (millones pesos)
Sustitución de atarjeas 20 cm (8 plg)	km	360	15.12	5443.2
Sustitución de atarjeas 25 cm (10 plg)	km	12	15.12	181.44
Sustitución de atarjeas 30 cm (12 plg)	km	17	15.12	257.04
Sustitución de atarjeas 35 cm (14 plg)	km	3	15.12	45.36
			Subtotal	5927.0
Sustitución de atarjeas 35 cm (14 plg)	km	1.5	15.12	22.68
Sustitución de atarjeas 40 cm (18 plg)	km	3.0	17.01	51.03
Sustitución de atarjeas 45 cm (20 plg)	km	0.5	17.83	8.915
			Subtotal	82.63
			Total	6009.7

Fuente: elaboración propia

De la comparación se observa que, si bien existen algunas ventajas de la alternativa 2, esta significa un costo bastante mayor que el método tradicional, por lo que se evaluará la posibilidad o necesidad de utilizarla sólo en casos muy especiales en que se demuestre que existen beneficios por ahora no valorados que justifiquen la adopción de este método.

Ilustración 21. Reposición de 11.7 km de tuberías dañadas en 17 colonias y en la ciudad de Mexicali, BC



Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Colonias en las que se repondrán tuberías que han cumplido su vida útil

No.	Colonias a reponer alcantarillado sanitario	Longitud (m).
1	Fraccionamiento San Marcos, tubería de 8" y 15" de diámetro	2,182.20
2	Colonia Centro Cívico, tubería de 8" y 15" de diámetro	1,266.00
3	Colonia Industrial, tubería de 8", 10", 12" y 18" de diámetro	1,250.15
4	Colonia Nueva, tubería de 8" y 15" de diámetro	432.00
5	Colonia Primera Sección, tubería de 8" de diámetro	298.00
6	Fraccionamiento Los Pinos, tubería de 8" de diámetro	288.00
7	Fraccionamiento Residencias, tubería de 8", 10" y 12" de diámetro	854.00
8	Colonia Alamos, tubería de 8", 10" y 12" de diámetro	234.00
9	Colonia Justo Sierra, tubería de 8", 10" y 12" de diámetro	676.00
10	Colonia Las Fuentes, tubería de 8", 10" y 12" de diámetro	328.00
11	Puente Quintana Roo, cajón existente	15.00
12	Colonia Santa Clara, tubería de 8" y 18" de diámetro	615.00
13	Colonia Baja California, tubería de 8" y 18" de diámetro	484.00
14	Colonia Pueblo Nuevo, tubería de 8" y 18" de diámetro	1,036.00
15	Colonia Bordo Wisteria, tubería de 8" y 18" de diámetro	348.00
16	Fraccionamiento Las Flores, tubería de 8" de diámetro	360.00
17	Colonia Libertad, tubería de 8" de diámetro	2,413.00

Fuente: CESPM.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada

Colectores y atarjeas deteriorados

Con el mismo razonamiento que en el punto 2.2.1, el 50 % de tuberías con daños y deterioro equivale a 1435 km de líneas de atarjeas, de los cuales 400 km se reemplazarán por haber cumplido su vida útil; restan entonces 1035 km que tendrían que rehabilitarse en el corto y mediano plazos, es decir en aproximadamente 10 años.

Cárcamos

Existen algunos cárcamos de bombeo que han alcanzado o excedido su vida útil esperada y, en consecuencia, requieren de reparación o sustitución de inmediato. La mayoría de los cárcamos se construyeron hace más de 30 años, con algunos esfuerzos de reposición de bombas realizados a lo largo de los años. En el corto plazo (próximos cinco años) se requerirá la reposición de equipos de prácticamente la totalidad de los 19 cárcamos de bombeo de aguas residuales (CBAR).

Con el fin de reducir el riesgo de fallas de bombeo de aguas negras, en lo inmediato se propone rehabilitar las instalaciones e infraestructura de 12 cárcamos que presentan el mayor deterioro, y que equivalen al 60 % de las instalaciones; y los restantes siete en los próximos tres años, para que así, en un periodo de 10 a 15 años, se programe nuevamente su rehabilitación.

Tabla 38. Relación de cárcamos a rehabilitar

Nº	Cárcamo	Nº	Cárcamo
1	CBAR Aurora	7	CBAR Jardines del Lago
2	CBAR Calle G	8	CBAR Nueva Esperanza
3	CBAR Campestre	9	CBAR Zacatecas
4	CBAR Centro Cívico	10	CBAR San Marcos
5	CBAR Esperanza Agrícola	11	CBAR Coronado
6	CBAR Hidalgo	12	CBAR Cipresito

Fuente: CESPM

Con mezcla de recursos y apoyo BEIF, se realiza un plan de rehabilitación de tres plantas de bombeo principales, a ejecutarse en el programa 2020-2021.

Tabla 39. Plantas de bombeo en programa de obras 2020-2021 para su rehabilitación

Plantas de Bombeo de Aguas Residuales Para Rehabilitar	Monto (pesos)
Planta de bombeo de aguas residuales No. 2 (segunda etapa) en proceso	\$8,480,240.00
Planta de bombeo de aguas residuales No. 2 (tercera etapa)	\$ 7,778,960.76
Planta de bombeo de aguas residuales No. 4	\$ 56,232,453.70
Planta de bombeo de aguas residuales No. 5	\$ 11,599,738.22
Total	\$ 84,091,392.68

Fuente: CESPM

Asimismo, se tienen identificadas algunas acciones de rehabilitación en varios cárcamos y la construcción de otro, con un costo de inversión de 96.51 mdp.

Tabla 40. Acciones de rehabilitación en cárcamos de bombeo de Mexicali

Concepto	Zona	Inversión mdp
Rehabilitación de 12 cárcamos de bombeo de aguas residuales.	Mexicali I y Mexicali II	82.33
Rehabilitación de los cárcamos Anáhuac, El Vidrio, San Pablo, Lucerna y pretratamiento de PBAR 8, que consiste en suministro de 10 bombas centrifugas.	Mexicali I	3.00



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Concepto	Zona	Inversión mdp
Construcción de cárcamo de bombeo de aguas residuales en calle 6ta. y Carranza.	Mexicali III	4.20
Rehabilitación de PBAR 3, que consiste en suministro e instalación de criba fina.	Mexicali I	1.98
Rehabilitación de cinco cárcamos de Gpe. Victoria, que consiste en suministro de 10 bombas centrífugas.	Gpe. Victoria	5.00
Total		96.51

Fuente: CESPIM

Colectores y atarjeas azolvados

Como ya se mencionó anteriormente, el 45 % de los 2871 km de atarjeas y colectores acumulan azolve que obstruye parte de su área hidráulica y obstaculiza su operación, por lo que requerirán de su limpieza en el corto plazo. Si se considera que esto se hará en un plazo de cinco años, se tendrán que desazolver 1290 km, a razón de 645 km/año de tuberías azolvadas.

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

La planta de tratamiento Arenitas está en proceso de contar con el proyecto ejecutivo de su ampliación en capacidad, la cual actualmente se encuentra rebasada en más de 200 l/s.

Al pasar de 840 l/s a 1900 l/s, el incremento de la capacidad en 1060 l/s, bajo el escenario de crecimiento de la población, con una tasa promedio respecto al periodo de análisis ($i = 0.016$) de ese crecimiento poblacional en la región, el proyecto cubriría las necesidades de tratamiento más allá del año 2050, año en que ya debe tenerse resuelta la alternativa para ampliar la capacidad de saneamiento. En un caso diferente, conforme a una tasa de crecimiento de la población alta, como la presentada para la ciudad de Mexicali en el periodo 1990-2015 ($i = 0.03$), la capacidad de las plantas, considerando la ampliación de Las Arenitas, alcanzaría hasta un poco más del año 2040, por lo que para entonces ya deberá tenerse resuelta la alternativa de ampliación de la capacidad de saneamiento.

El complemento de cobertura para el resto de los años tendrá que verse en la mejora del proceso de tratamiento en la PTAR Zaragoza, para aprovechar la capacidad disponible, que es de alrededor de 180 l/s, y buscar la opción de aprovechar alguna de las plantas existentes en la zona metropolitana.

Ilustración 22. Infraestructura de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Mexicali, BC



Fuente: INEGI

2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general

El reforzamiento del sistema de saneamiento en general tiene que ver con la ampliación de la capacidad de la planta de tratamiento Las Arenitas, que se encuentra rebasada en su capacidad; la adecuación y rehabilitación de la PTAR Zaragoza, para obtener la calidad requerida; reponer y rehabilitar tuberías antiguas y deterioradas; sustituir equipos de bombeo, y modernizar las estaciones y cárcamos, así como rehabilitar colectores y emisores.

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

En el año 2003 la PTAR Zaragoza tenía muchas deficiencias, debido a que no fueron concluidas las obras de rehabilitación de años anteriores, por lo que el efluente cumplía eventualmente con los parámetros de calidad que especifica la NOM-001SEMARNAT-1996. Por esta razón existían muchas quejas de la ciudadanía por la emisión de malos olores que eran percibidos a varios kilómetros a la redonda de la PTAR por tratarse de un sistema a base de lagunas de estabilización; el proceso se mejoró con aireación.

Esta planta nuevamente requiere adecuaciones y arreglos, ya que han continuado los problemas para cumplir con la normatividad en el parámetro de nitrógeno total.

La PTAR Las Arenitas, desde el comienzo de su operación, en marzo del 2007, tuvo problemas en el cumplimiento a la NOM-001-SEMARNAT-1996, por errores en las bases de diseño y un bajo tiempo de retención hidráulico (TRH).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Sin embargo, con la creación de una laguna artificial, denominada Humedal, se cumple con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996, aunque ya esta planta de tratamiento se encuentra rebasada en capacidad, y está en estudio la ampliación y revisión de procesos para mejorar la calidad del efluente.

La estrategia general en el manejo correcto de lodos debe contener acciones de: prevención, reúso o revalorización y disposición ambientalmente adecuada. La prevención consiste en reducir potencialmente la generación de lodos, al disminuir la contaminación y uso del agua.

El reúso de los lodos generados puede lograrse reciclando el agua, metales u otros materiales residuales generados en los procesos de producción; sin embargo, lo que no pueda ser revalorizado debe ser dispuesto de manera ambientalmente adecuada y segura. Dependiendo de los diferentes procesos, pueden presentarse las siguientes alternativas generales:

a) Lodo peligroso por la presencia de contaminantes tóxicos, de acuerdo con lo establecido en México por la norma NOM-052-ECOL-1993.

Tabla 41. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

Contaminantes determinados en forma total	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

b) Lodo no peligroso, porque las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la NOM-052-ECOL-1993, o bien por lo que establece la NOM-004-SEMARNAT-2002, en la que se define la clasificación de los biosólidos como excelente o buena, en función de su contenido de metales pesados, como muestra la tabla siguiente, en clase A, B y C, en función de su contenido de patógenos y parásitos

Tabla 42. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos peligrosos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella s.p.p NMP/g en base seca	Huevos de helminto/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 43. Aprovechamiento de biosólidos

Clase	Tipo	Aprovechamiento
A	Excelente	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación
B	Excelente o bueno	Los establecidos para la clase B y C Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación
C	Excelente o bueno	Los establecidos para la clase C Usos forestales Mejoramiento de suelos Usos agrícolas

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

2.2.6 Cambios en los programas de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento

El manejo y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado y saneamiento deben estar basados en manuales de operación y mantenimiento en donde se identifiquen los procesos que hagan posible el funcionamiento óptimo, eficiente y efectivo de cada una de las unidades en las que se basa la operación del sistema, sin que se produzcan interrupciones debidas a fallas de cualquiera de los elementos, procesos u operaciones, ocasionados por una deficiente operación o mantenimiento.

Cada manual de operación y mantenimiento debe tener en cuenta el nivel de preparación de la persona hacia quien está dirigido. Es común encontrar manuales escritos con un lenguaje técnico elevado, a nivel de ingeniero, cuando los equipos y unidades son operados por obreros o técnicos de menor preparación académica, lo que conduce a que se haga caso omiso del manual, al encontrarse ininteligible por su redacción.

Asimismo, de nada sirve contar con buenos manuales si no se da la oportunidad de capacitación a los operadores, por lo que los programas en ese sentido son imprescindibles.

Adicional a esto, la preparación de programas especiales para dar mantenimiento a cada componente del Sistema de Alcantarillado y Saneamiento tendrá que ser un instrumento de trabajo y vigilancia de la buena operación para dar un servicio más eficiente.

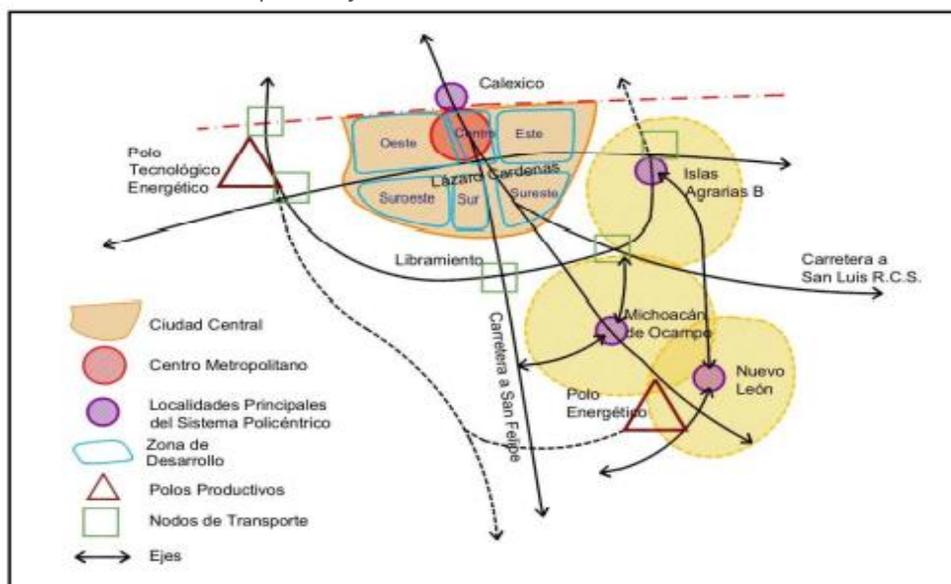
3 Alternativas para atender la demanda futura de saneamiento en la región

De acuerdo con el Plan Estratégico de la Zona Metropolitana de Mexicali 2015-2029, la cobertura del suelo para el período de 2010-2050 muestra cambios importantes; la superficie urbana representará casi 1.47 veces la extensión urbana del año 2010; es decir, en el período de 40 años. Este crecimiento que se da en forma dispersa y desordenada afecta primero las áreas agrícolas y tierras de pastoreo, y con menor incidencia a las zonas rústicas de vegetación natural y cuerpos de agua que circundan las áreas urbanizadas actuales.

Asimismo, el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Mexicali 2025, define que el concepto de estructura espacial, que caracteriza a la ciudad de Mexicali y su contexto, se ha venido construyendo desde su origen, como parte de un conglomerado agrícola que paulatinamente dio lugar a la aparición de localidades aisladas, interdependientes entre, sí y vinculadas funcionalmente a una ciudad concentradora de los servicios comerciales y administrativos. En los próximos años los procesos urbano-rurales, que caracterizaban a este espacio, se irán transformando al consolidar el papel de cada centralidad dentro de un espacio metropolitano soportado por una estructura policéntrica que mantendrá una fuerte vinculación en los procesos ligados al transporte. Por otro lado, los impactos derivados del crecimiento de la ciudad y su papel concentrador de servicios, determina la necesidad de identificar localidades periféricas con capacidad de soportar los procesos de desconcentración de la ciudad.

En este tenor, el modelo de estructura urbana, propuesta al 2025 (ilustración 23), destaca al centro de población como una red policéntrica y de nodos productivos y de transporte, dependientes de una ciudad central compacta sectorizada (Mexicali), articulada por corredores regionales e interurbanos hacia donde poco a poco se orientará la expansión de la ciudad.

Ilustración 23. Estructura de la expansión futura de la mancha urbana de Mexicali



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Mexicali 2025



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Dada la presión intensa por los desarrollos industriales e inmobiliarios, se tiende a continuar extendiéndose hacia las zonas definidas como no convenientes para el crecimiento urbano. Sin lugar a duda, uno de los retos principales será satisfacer la demanda de servicios básicos.

En lo referente a la capacidad instalada de las aguas residuales sanitarias, la ciudad de Mexicali muestra un alto porcentaje de redes instaladas, proporción que, sin embargo, requiere ampliarse en el futuro para atender el crecimiento esperado.

3.1 Planteamiento de alternativas

La alternativa para enfrentar el crecimiento de la población y, por ende, del área urbana de Mexicali, es aprovechar la infraestructura de saneamiento existente en las plantas de tratamiento, tanto de la PTAR Zaragoza, que aún dispone de aproximadamente 340 l/s para llegar al límite de su capacidad, mientras que la PTAR Arenitas, cuya capacidad ha sido rebasada en aproximadamente 204 l/s, pero que actualmente se encuentra en estudio la factibilidad de ampliarla a 1900 l/s, sería la opción para captar en mayor proporción los volúmenes que se generarán como producto del crecimiento urbano.

El crecimiento seguirá siendo disperso y se dará principalmente sobre áreas agrícolas productivas, esperando que la densidad media en estas zonas de crecimiento sea del orden de 48.15 hab/ha; se busca como meta que esta densidad se incremente a 60 habitantes/ha.

3.1.1 Planteamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción

Las áreas de expansión urbana, generadas por el crecimiento de la ciudad de Mexicali, demandarán nueva infraestructura de drenaje y saneamiento, que habrá que dotar conforme a las tendencias del crecimiento de la población; como objetivo se busca alcanzar una alta cobertura con una buena eficiencia en los servicios. En el dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema de alcantarillado, se procura programar las obras por etapas, vigilando, por supuesto, la congruencia entre los elementos que lo integran y entre las etapas que se propongan para integrarlo.

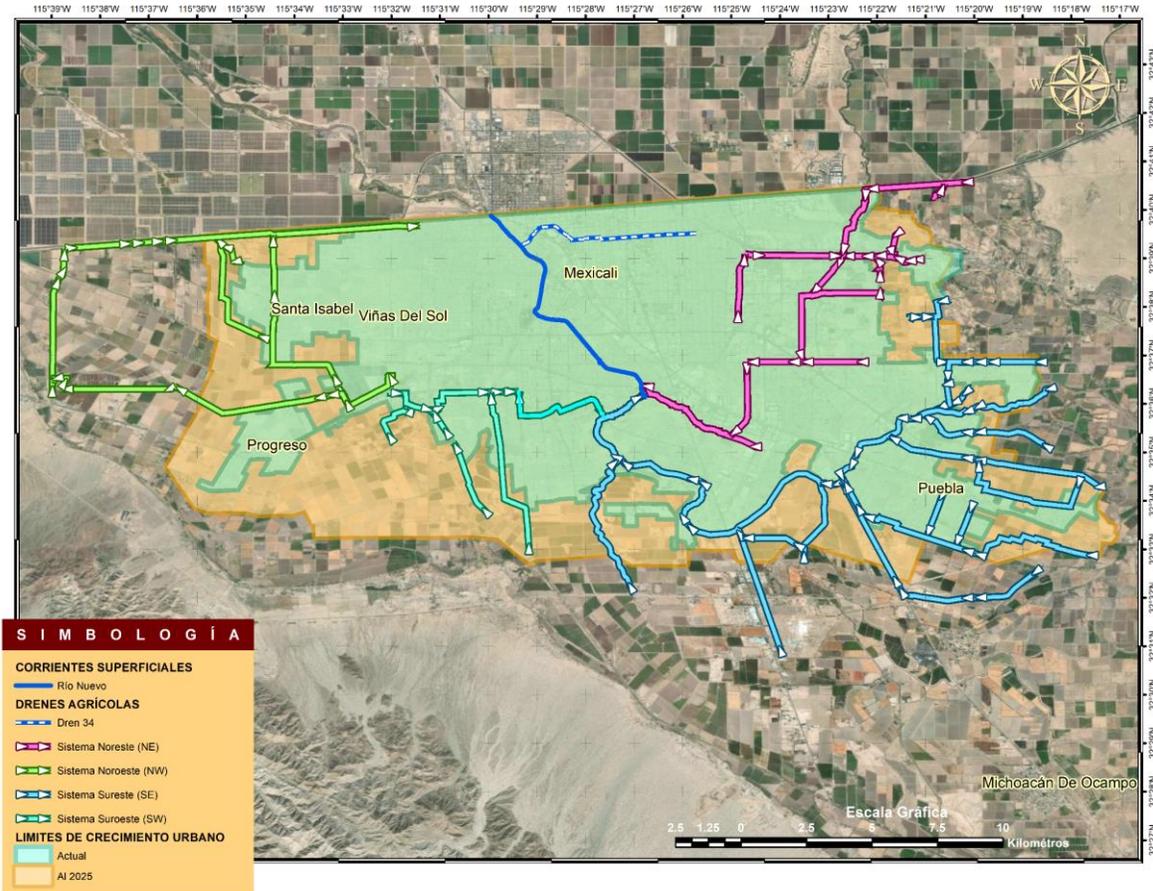
La primera consideración fue tomar en cuenta el funcionamiento del sistema actual, que se basa en la subdivisión de dos grandes sectores de infraestructura de captación y recolección, con el objeto de conducir las aguas residuales a cada una de las PTAR.

Derivado del análisis de esta subdivisión en dos grandes sectores, y las condiciones de operación en lo referente a las capacidades disponibles de cada una de las plantas de tratamiento, otro factor importante a considerar es la condición topográfica de la zona, por lo que se buscó comprender las tendencias generales del drenaje superficial y buscar aprovecharlas para la propuesta del trazado de obras y su relación con las infraestructuras ya existentes, como la vial y el drenaje pluvial y agrícola que cruza la ciudad, estos dos últimos íntimamente relacionados.

En el esquema que se muestra en la ilustración 24 puede apreciarse esta interrelación, donde también se observa que de alguna manera cualquier derrame o escurrimiento de cierta magnitud

tiende a fluir hacia el otro lado de la frontera; en la franja externa de la mancha urbana las flechas señalan la tendencia general del drenaje superficial.

Ilustración 24. Drenaje pluvial y tendencias del drenaje superficial en Mexicali, BC

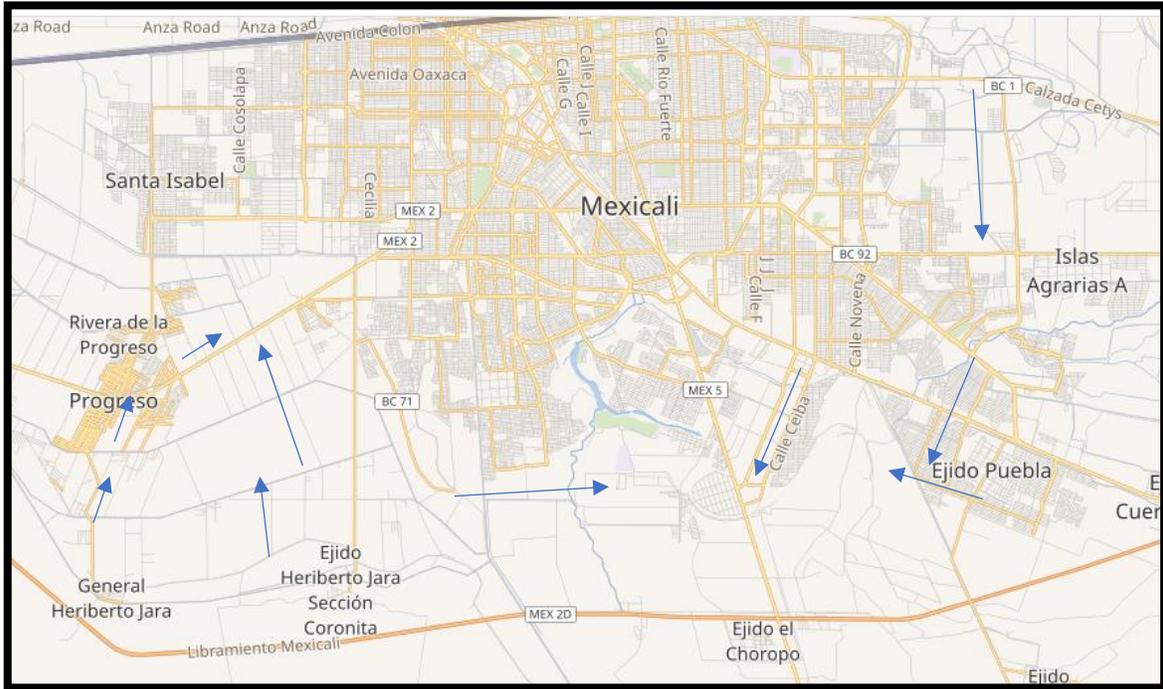


Fuente: CESPM

La franja externa de la mancha urbana es el límite estimado de crecimiento al 2025, el cual sirvió de base para extenderla un poco más hacia el exterior y estimar el límite de esta extensión para el año 2050. Sobre la traza del crecimiento estimado al 2025, se proyectó un límite urbano exterior, calculado conforme a diferentes proyecciones.

Las tendencias en cuanto a trazas urbanas predominantes en cada área de expansión se aprecian en la ilustración 25.

Ilustración 25. Trazas generales de urbanización en diferentes zonas de posible expansión de la ciudad de Mexicali



Fuente INEGI

Planteamiento de alternativas de colectores:

El planteamiento de alternativas que se presenta es un arreglo factible de colectores y subcolectores, que concentrarán las aguas residuales captadas por la red de saneamiento y las conducirán hacia las dos plantas de tratamiento actualmente en operación. De estas, la PTAR Zaragoza actualmente dispone de más de 340 l/s de capacidad para incrementar volúmenes de tratamiento, y en la PTAR Arenitas se encuentra en estudio para su ampliación de 840 a 1900 l/s.

Esta red se identificó con base en los factores que se describen a continuación:

- Que fuera una zona de crecimiento factible en la que se observa que existen asentamientos humanos en áreas cercanas a la mancha urbana actual.
- Que la dirección predominante de la topografía de la zona facilite la concentración de las aguas residuales hacia la PTAR más cercana, Zaragoza en el poniente, o Arenitas al sur de la ciudad.
- Que la traza de calles se basara en vialidades existentes en la zona, o cercanas a ella, y en la dirección predominante de la infraestructura vial de áreas aledañas para basar en ellas la orientación general de líneas de colectores propuestos.

La planeación general del proyecto para atender la demanda futura de colectores y subcolectores se inició con la definición de las rutas de trazo de la red.

Para la zona cercana a la PTAR Zaragoza el “arreglo”, propuesto con base en los criterios antes citados, topografía y traza de calles, se presenta en la ilustración 26.

Ilustración 26. Red de colectores para la zona de expansión del área de influencia de la PTAR Zaragoza



Fuente: elaboración propia

La longitud de la red primaria, identificada en el planteamiento de colectores y subcolectores para la zona de influencia de la PTAR Zaragoza, tiene 39.63 kilómetros:

Para las rutas de trazo de los colectores y emisores en la zona cercana a la PTAR Arenitas, al sur de la ciudad, el “arreglo” propuesto, con base en los criterios antes citados de topografía y traza de calles, se orienta desde los extremos noreste y suroeste hacia un sitio central desde dónde se enviarán las aguas residuales con rumbo al sur, hacia donde se ubica la PTAR (ilustración 27).

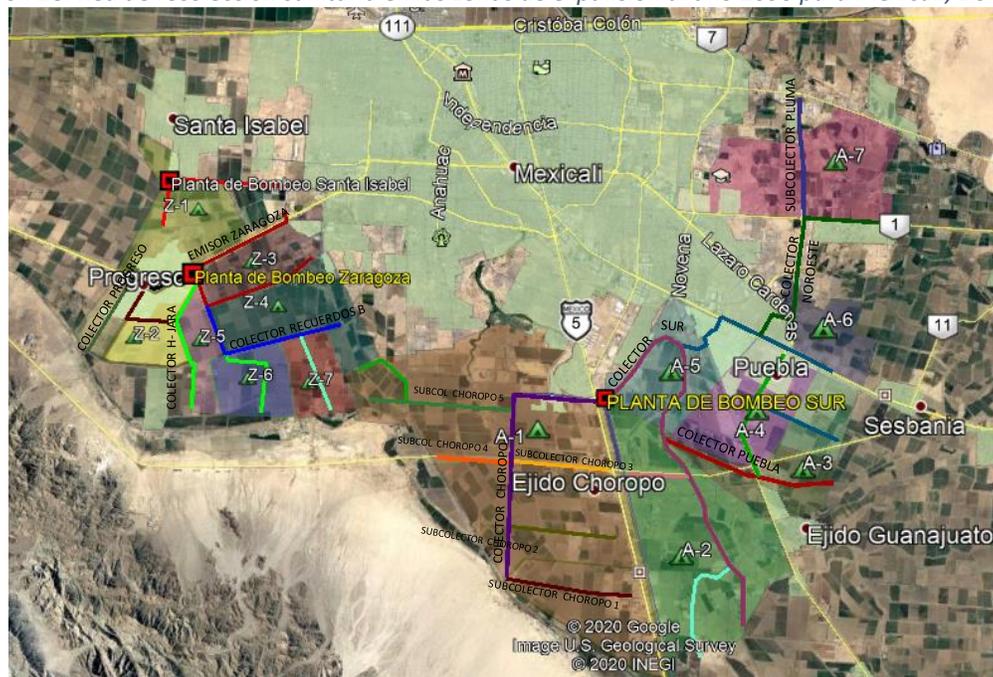
Ilustración 27. Infraestructura de ampliación de la red de colectores para la zona de expansión del área de influencia de la PTAR Zaragoza



Fuente: elaboración propia

La red primaria, identificada en el planteamiento de colectores y subcolectores para la zona de influencia de la PTAR Arenitas, refleja una longitud aproximada de 106.3 kilómetros.

Ilustración 28. Red de recolección sanitaria en las zonas de expansión al año 2050 para Mexicali, BC





COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Fuente: elaboración propia

3.1.2 Planteamiento de alternativas para plantas de bombeo principales

Las plantas de bombeo principales son aquellas que concentran mayores caudales para ser enviados a colectores o emisores que tienen por objetivo conducir las aguas residuales hacia las plantas de tratamiento existentes.

Las estaciones se planean tomando en cuenta los caudales máximos y mínimos de contribución de las áreas de aportación, en el horizonte de planeación del proyecto.

El volumen de almacenamiento permitirá un tiempo máximo de permanencia de 30 minutos de las aguas residuales.

Para la ubicación de estas estructuras, deben considerarse al menos los siguientes factores:

- a) Topografía del terreno a elegir.
- b) Geotecnia (mecánica de suelos).
- c) Comunicaciones y accesos.
- d) Alimentación eléctrica, en baja y alta tensión.
- e) Terreno con superficie disponible.

Los dos primeros incisos se refieren a que para definir la localización de las estaciones de bombeo deben considerarse las condiciones físicas del lugar y su situación con respecto a las obras de toma y descarga. El lugar debe ser estable, sin peligro de derrumbes, lejos de cruces con arroyos y en un terreno consistente. La falta de esta última característica aumenta el costo de la estructura, ya que no es igual excavar en un terreno rocoso que en una arcilla frágil. Puede aseverarse que para una misma profundidad los problemas de ademe se incrementan con suelos menos estables.

CARACTERÍSTICAS DEBIDAS AL TIPO DE AGUA QUE SE BOMBEA. Las transformaciones biológicas y químicas del agua provocan dos de los problemas más importantes asociados al funcionamiento de un cárcamo de bombeo de agua residual, y que son: 1) La corrosión de las bombas e instalaciones complementarias, y 2) La presencia de gases malolientes, tóxicos, y en algunos casos explosivos. Ambos problemas se relacionan con la producción de sulfuro de hidrógeno (H₂S), y el segundo con metano (CH₄).

Plantas y cárcamos de bombeo que requieren rehabilitación

Para que la red de alcantarillado opere y pueda transportar el agua captada en las atarjeas hasta las respectivas plantas de bombeo, se requiere mantener las plantas y cárcamos de bombeo funcionando en buenas condiciones, para lo cual es necesario rehabilitar parte de esta infraestructura y construir aquellos otros elementos que hagan falta para una mejor operación de la red.

Conforme al diagnóstico detallado en el subcapítulo 2.2.2 es necesario rehabilitar varias plantas y cárcamos de bombeo de aguas residuales, ubicados en diferentes colonias de la ciudad, y que se enlistan a continuación:

- Rehabilitación de 12 cárcamos de bombeo de aguas residuales.
- Rehabilitación de los cárcamos Anáhuac, El Vidrio, San Pablo, Lucerna y pretratamiento de la PBAR 8, que consiste en suministro de 10 bombas centrífugas.
- Rehabilitación de la PBAR 3, que consiste en suministro e instalación de criba fina.
- Construcción de cárcamo de bombeo de aguas residuales en 6ta. y Carranza.
- Rehabilitación de cinco cárcamos de Guadalupe Victoria, que consiste en suministro de 10 bombas centrífugas.

Además de la rehabilitación de los cárcamos y plantas de bombeo señalados, se requiere incorporar varias plantas y cárcamos para atender el crecimiento y áreas de expansión de la ciudad en las diferentes zonas de Mexicali.

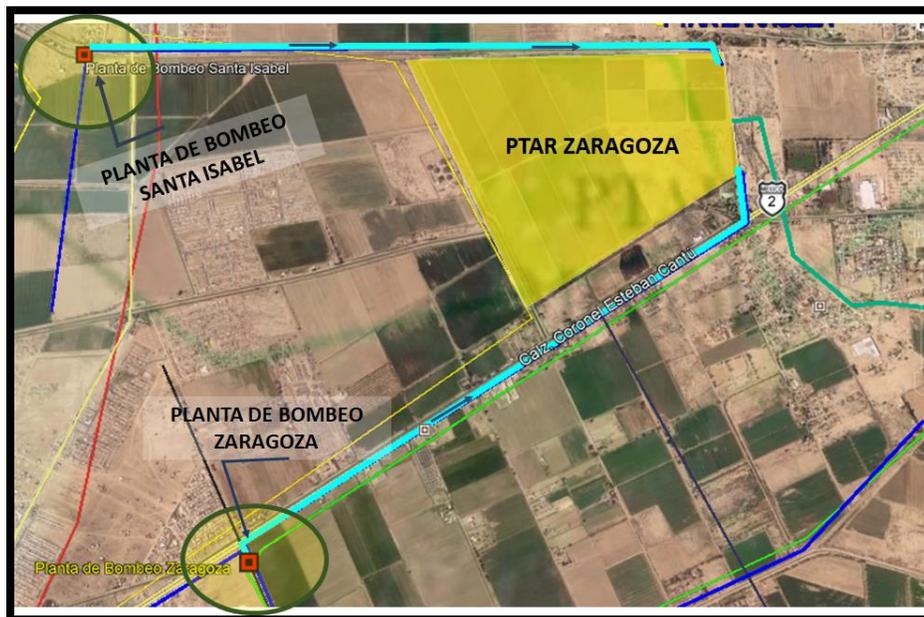
Planteamiento de alternativas de plantas de bombeo principales en las zonas de crecimiento

En la zona de saneamiento Mexicali III, que corresponde a la zona de influencia de la PTAR Zaragoza, las plantas de bombeo principales que es necesario construir son:

- PBAR Santa Isabel
- PBAR Zaragoza

Es decir, en la configuración de la red propuesta, las plantas de bombeo principales en el área de influencia de la PTAR Zaragoza son las identificadas como PBAR Zaragoza, ubicada al suroeste de la planta de tratamiento en mención, a un costado de la carretera a Tijuana, en una zona bien comunicada, con fácil acceso y energía eléctrica cercana, así como amplios terrenos disponibles, y la **PBAR Santa Isabel**, al oeste de la planta de tratamiento. Ver la ubicación de estas plantas de bombeo en la ilustración 29.

Ilustración 29. Ubicación de las PBAR en la zona de influencia de la PTAR Zaragoza



Fuente: elaboración propia

Las alternativas a revisar se relacionan con el tipo de material a utilizar en el conducto emisor, ya que de esto depende, además del costo de inversión y de los costos de operación y mantenimiento, la frecuencia y facilidad de reparaciones.

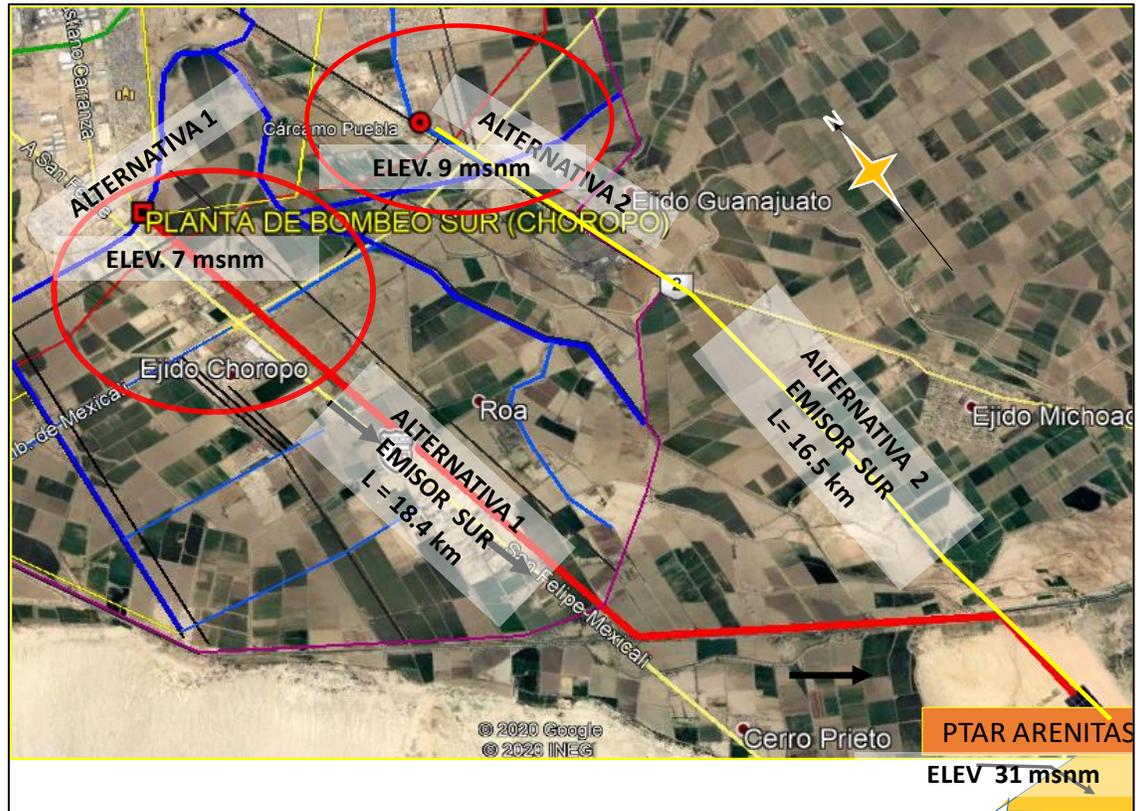
Los materiales más frecuentemente utilizados en la región de Mexicali son los plásticos, el PVC y el PEAD; sin embargo, existen diferencias que habría que evaluar, por lo que la alternativa 1 para ambas plantas de bombeo de aguas residuales es utilizar tuberías de PVC, mientras que la alternativa 2 es utilizar tuberías de conducción de PEAD.

En la zona de saneamiento Mexicali IV, que corresponde al área de influencia de la PTAR Arenitas, la planta de bombeo principal es la identificada como PBAR-Sur.

Alternativa 1 para la PBAR Sur

Construir una planta de bombeo (PBAR Sur), localizada al sur de la ciudad, cruzando el río Nuevo, al norte de la planta de tratamiento Arenitas, a un costado de la carretera a San Felipe en la zona del ejido Choropo. La zona está bien comunicada y tiene fácil acceso, con disponibilidad de líneas de energía eléctrica cercanas y amplios terrenos disponibles. De esta planta de bombeo se conduciría la totalidad de los caudales concentrados de las áreas de crecimiento y expansión de la ciudad de Mexicali, que se ubican en la zona de saneamiento Mexicali IV.

Ilustración 30. Ubicación alternativa 2 de la PBAR Sur en la zona cercana al ejido Puebla



Fuente: elaboración propia

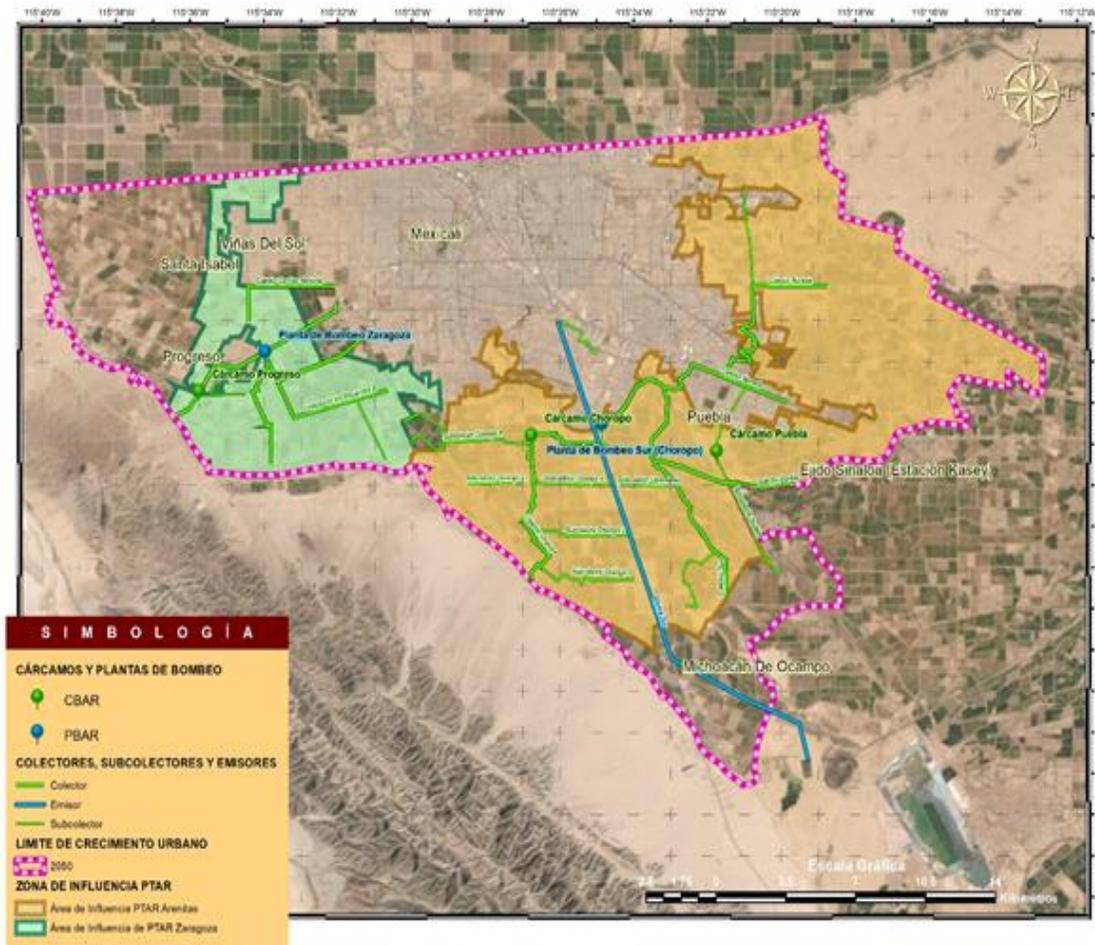
Alternativa 2 para la PBAR Sur

La alternativa 2 consiste en construir dos plantas de bombeo de aguas residuales de menor capacidad de caudal en lo individual, pero que conjuntamente sean equivalentes a la capacidad propuesta para la PBAR Sur en la alternativa 1. Una de las plantas se propone en un sitio localizado a un costado de la carretera a San Felipe, inmediatamente al sur del cruce de esta carretera con el río Nuevo, y se identifica como PBAR Sur-Choropo, y la segunda planta estaría ubicada en el ejido Puebla, cercana a la actual PBAR 10, y se identifica como PBAR Sur-Puebla, como se observa en la ilustración 30.

3.1.3 Planteamiento de alternativas para plantas de tratamiento

Las alternativas para enfrentar el crecimiento del área urbana de Mexicali se basan en aprovechar la infraestructura de saneamiento de la PTAR Zaragoza, que aún dispone de aproximadamente 340 l/s para llegar al límite de su capacidad, mientras que en la PTAR Arenitas, cuya capacidad ha sido rebasada en aproximadamente 204 l/s, actualmente se encuentra en estudio la factibilidad de ampliarla a 1900 l/s, lo que sería la opción para captar en mayor proporción los volúmenes que se generarán como producto del crecimiento urbano.

Ilustración 31. Zonas de influencia por PTAR, áreas de expansión al año 2050 para Mexicali, BC



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La ampliación de la PTAR Arenitas daría opción a captar la demanda de tratamiento de aguas residuales, tanto de la expansión de la ciudad hacia el suroeste de la mancha urbana, como del sur, suroriente y oriente de la ciudad, tal como se observa en la ilustración 31.

Las alternativas que se han estado considerando para la ampliación de la PTAR Arenitas son seis tipos de procesos para el tratamiento de las aguas residuales que ingresen a la planta, con el fin de estar en posibilidades de comparar la inversión necesaria para su construcción y operación.

Uno de los inconvenientes que presenta cualquier proceso de mejoramiento es la proyección de la población servida; en este caso el municipio de Mexicali registra un alto índice de crecimiento y un marcado cambio en su actividad económica, por lo que surge la necesidad de considerar primordialmente las afectaciones de este comportamiento. Estas condiciones implican un crecimiento no sólo en el caudal de servicio de las plantas de tratamiento de aguas residuales, sino también en las características de las aguas a tratar, de manera tal que la optimización de procesos y la infraestructura de la planta permitan mejorar la capacidad y el alcance de las modificaciones a la misma.

Tabla 44. Alternativas de tratamiento para la ampliación de la PTAR Arenitas

Alternativa	Nombre de principales procesos	Número de módulos
1	Lodos activados(convencional) Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s
2	Sedimentador primario Filtro percolador Laguna anaerobia, laguna facultativa y laguna de maduración Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s
3	Reactor anaerobio de flujo ascendente Lodos activados aeración extendida Digestión anaerobia de lodos en exceso	4 @ 475 l/s
4	Reactor alta carga Laguna anaerobia, laguna facultativa y laguna de maduración Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s
5	Reactor alta carga/baja carga Wetlands Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s
6	Aireación sobreextendida Wetlands Digestión anaerobia de lodos en exceso	3 @ 634 l/s

Fuente: elaboración propia con información de la CESPMM

Cada una de las opciones analizadas considera equipamientos y procesos de tratamiento cuyo objetivo es cumplir con la normatividad en la materia, además de que toman en cuenta la infraestructura existente.

Es importante considerar que conforme pase el tiempo se tendrán que ir adecuando las condiciones de la tecnología que se utilice, las eficiencias que se requieren y los costos de operación y mantenimiento, por lo que se recomienda coordinar con todos aquellos que tengan injerencia en el control de las descargas y el manejo de residuos, aplicar los correctivos que procedan y ejercer los controles necesarios, ya sea para que la o las empresas se hagan cargo de mejorar la calidad de sus descargas o para aplicar los costos de tratamiento adecuados, de forma que el sistema de



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

tratamiento tenga la suficiencia para la modernización; es decir, para que pueda contarse con recursos que paguen el tratamiento de las aguas que recibe la planta.

Es importante promover entre los usuarios acciones que reduzcan las cargas contaminantes dentro de las instalaciones del sistema, con el fin de que el sistema de tratamiento se mantenga con capacidad de dar buenos resultados.

Estas acciones pueden ser, por ejemplo, separar de las aguas no contaminadas las aguas residuales que contengan contaminantes tóxicos y orgánicos, evitar el arrastre de tierra y materiales contaminantes con el agua de limpieza hasta los desagües y limpiar lubricantes y grasas de las zonas de arrastre de las aguas a desalojar por el drenaje sanitario.

En ese sentido, con el apoyo de tales acciones previas, se estará en posibilidad de controlar la calidad de las descargas de aguas residuales no domésticas que sean vertidas al alcantarillado municipal, a efecto de contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales de menor costo, ya que se lograrían economías de escala en su operación.

3.1.4 Planteamiento de alternativas de infraestructura para el reúso de agua

La disponibilidad cada vez más limitada del recurso hídrico ha creado la necesidad de buscar nuevas fuentes de suministro y una mejor gestión de los recursos para suplir las necesidades de la población y disminuir el impacto sobre el medio ambiente. Las aguas residuales aparecen entonces como una opción para el uso eficiente de agua con beneficios adicionales.

Las características técnicas de los proyectos de reutilización son variables de unos casos a otros, dependiendo fundamentalmente del tipo de reúso que se pretenda, de las condiciones específicas de disponibilidad de agua residual y de los usuarios del agua regenerada.

Considerando lo hasta aquí expuesto, para Mexicali es necesario que la planeación de los sistemas de reutilización se realice sobre la base de objetivos claramente definidos.

Ilustración 32. Proceso de proyectos de reúso de aguas residuales tratadas



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En general, la planeación para definir alternativas para generar y distribuir aguas residuales tratadas para su reuso se lleva a cabo en tres fases sucesivas, que incluyen una primera etapa a nivel conceptual, una investigación preliminar de viabilidad y la planificación de las instalaciones. En el proceso es muy importante mantener la participación de la opinión pública, que aportará orientación muy valiosa.

La secuencia lógica de planeación del reuso de aguas residuales tratadas comienza con una fase inicial o conceptual; es ahí donde se identifican los usuarios potenciales, es decir, el mercado de estas aguas.

El desarrollo actual en el campo de la tecnología de regeneración de aguas residuales tratadas permite obtener efluentes de agua de diversas calidades, incluso hasta un nivel tan alto como el del agua potable; la finalidad es conseguir un producto que sea adecuado para ser empleado en diferentes tipos de reutilización: industrial, agrícola, recreativo, municipal, etcétera.

En una segunda fase, dependiendo del censo y las características de los usuarios potenciales, ya que de ello derivará la calidad del efluente requerida, podrán determinarse los costos de tratamiento y traslado de las aguas regeneradas, que aspectos legales y administrativos habrá que cumplir y los aspectos ambientales.

Como tercera fase será necesario definir alternativas de tratamiento; escala de los proyectos; modulación, de ser requerida; redes de distribución; instalaciones especiales, como plantas de bombeo; financiamiento, y la recuperación de inversiones.

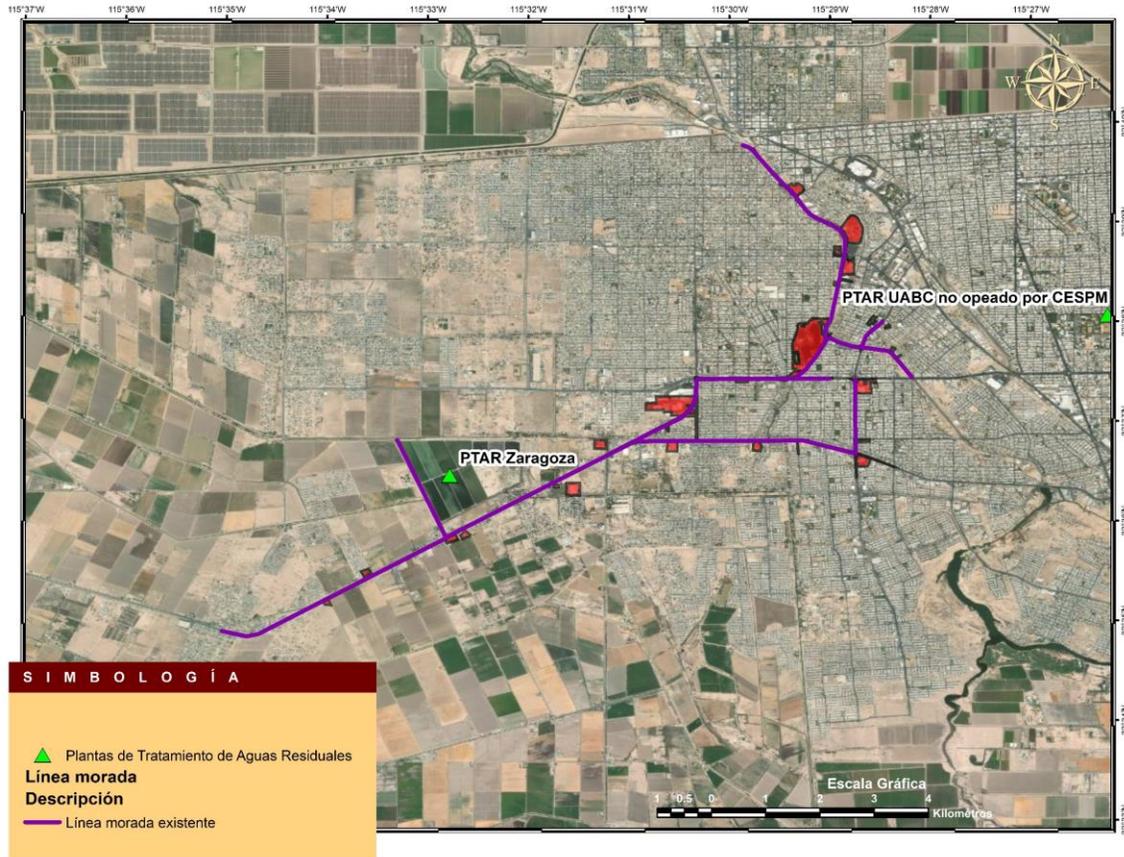
En Mexicali una parte del agua tratada en la actualidad ya es reutilizada, principalmente en riego agrícola y en usos públicos urbanos, mediante tratamiento específico en plantas más pequeñas. Sin embargo, aún sigue teniendo potencial de reuso, además de que las descargas se irán incrementando conforme se presente el crecimiento de la ciudad. Entre los usos potenciales los más comunes son:

- Lavado de automóviles.
- Limpieza de calles.
- Limpieza de gasolineras.
- Riego agrícola.
- Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.
- Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles y moteles.
- Riego de áreas verdes, jardines y camellones a cargo del ayuntamiento.
- Riego de campos de golf.
- Riego y limpieza en cementerios.
- Sistema contra incendios.
- Sistemas de enfriamiento industrial.
- Uso en excusados.
- Recarga de acuíferos.
- Áreas públicas de conservación municipal.

Lo anterior da una idea del potencial de líneas moradas a desarrollar y de la ampliación de las existentes.

De las infraestructuras para reúso de las aguas residuales a desarrollar en la ciudad de Mexicali podrían ser varias plantas de tratamiento para regenerar aguas tratadas en las plantas principales, o bien aprovechar las plantas existentes para prolongar las líneas moradas, o de ellas derivar líneas moradas hacia posibles usuarios interesados.

Ilustración 33. Línea morada actual, que parte del tratamiento terciario de la PTAR Zaragoza



Fuente: elaboración propia con información de la CESPМ

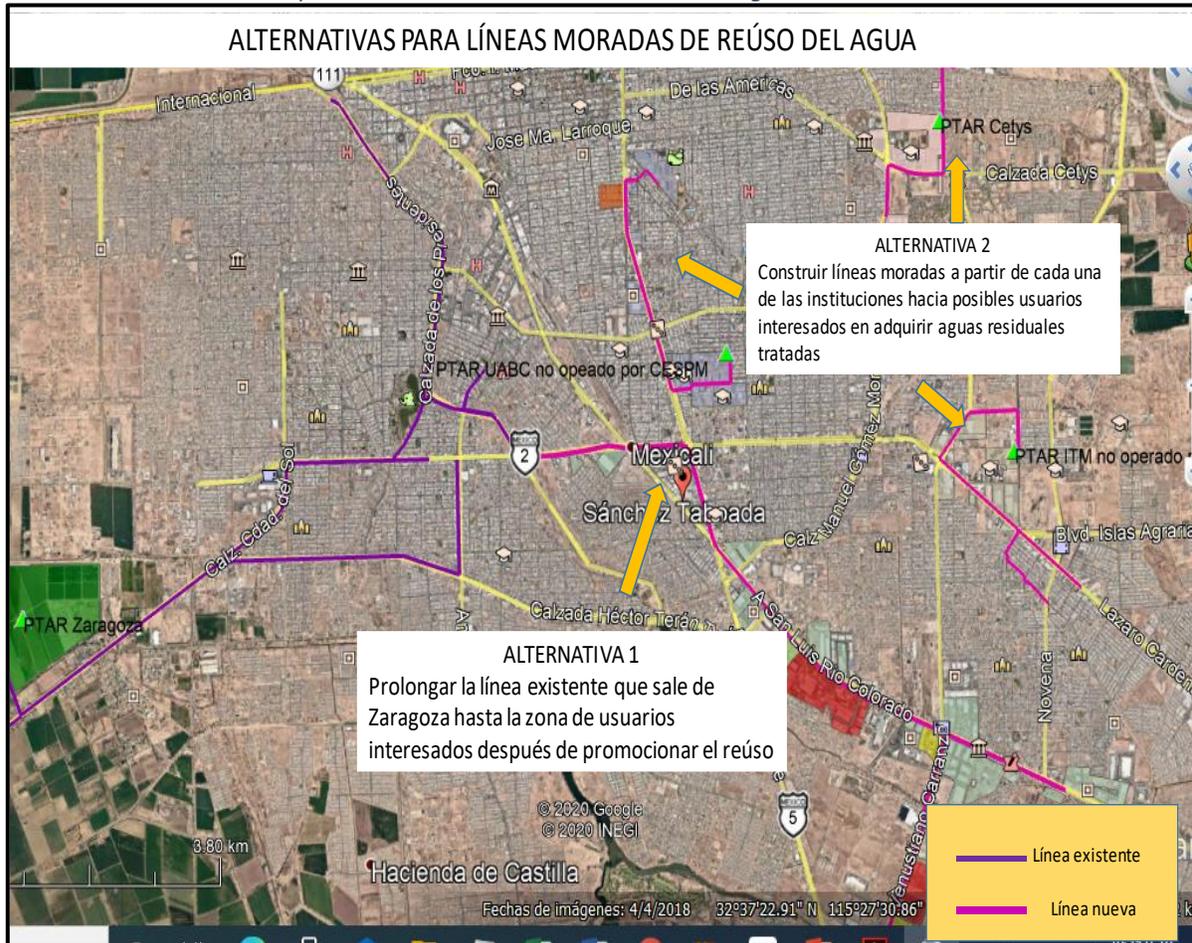
Planteamiento de alternativas de redes de reúso de aguas residuales:

Alternativa 1. Prolongar a partir de la avenida Montemorelos la línea morada que parte de la PTAR Zaragoza hacia el suroriente, por el bulevar Lázaro Cárdenas hasta la avenida Juárez, y por esta hacia el suroriente, hasta la zona de parques industriales, que se ubica por la carretera a San Luis Río Colorado.

Alternativa 2. Construir líneas moradas a partir de cada una de las plantas de tratamiento, localizadas en las instituciones educativas públicas hacia posibles usuarios interesados.

Las alternativas planteadas se muestran en la siguiente ilustración:

Ilustración 34. Alternativas para nuevas líneas moradas de reúso de aguas residuales tratadas



Fuente: elaboración propia

3.1.5 Planteamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

La realidad que han padecido las ciudades fronterizas, relacionada con un proceso acelerado de urbanización, trajo consigo un crecimiento anárquico y, como una de las consecuencias, la carencia de espacios verdes y zonas de recreo, favoreciendo el deterioro de áreas importantes, en el sentido de la sustentabilidad urbana, dejando de aprovechar recursos naturales para mejorar el medio natural, las ciudades y la calidad de vida de sus pobladores y proteger los escasos recursos naturales.

Dentro de los terrenos de la PTAR Arenitas se construyó un humedal y se ha venido desarrollando un parque ecológico que brinda un tratamiento adicional para mejorar la calidad del agua; el sitio se ha convertido en un refugio de múltiples especies nativas como la víbora de cascabel, los perritos de la pradera, iguanas y varias especies de aves migratorias.

Desde hace varios años existe en Mexicali la visión de desarrollar un parque metropolitano, que se ha denominado Las Arenitas, en el que se busca fomentar la recreación natural, la educación ambiental y un espacio verde para la ciudadanía.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Este parque se ubica dentro de los terrenos de la PTAR Arenitas e incluye el aprovechamiento de una zona arbolada, vivero, corredores a desarrollar y aprovechamiento del humedal existente que considere su ampliación, o bien un humedal adicional con fines demostrativos. El desarrollo de este parque implica reutilizar parte de las aguas residuales tratadas.

Las superficies para aprovechar son las siguientes:

- 120 hectáreas forestadas.
- 99 hectáreas de humedal.
- 33 hectáreas de planta de tratamiento.
- humedal con fines de demostración, con capacidad de 30 l/s (a construir).

El humedal, de 99 hectáreas, fue construido y diseñado para funcionar como biofiltro y eliminar sedimentos y contaminantes de aguas residuales parcialmente tratadas. Procesos químicos naturales y microorganismos que viven en la vegetación de los humedales descomponen los materiales orgánicos con el paso del tiempo y, en última instancia, mejoran la calidad del agua. Desde su construcción en el 2009, el humedal de Las Arenitas ha mejorado la calidad del agua de los efluentes de la planta. Desde el comienzo de su operación fue planteada una ampliación, una vez que se verificara el buen funcionamiento del mismo, y es una acción que pretende llevarse a cabo en el corto plazo.

Esta acción del humedal, y el desarrollo del Parque Metropolitano, constituyen dos acciones de infraestructura complementaria a impulsar en el corto plazo.

3.2 Dimensionamiento de alternativas usando criterios de resiliencia

Se entiende el concepto de resiliencia como la capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad, expuestos a una amenaza, para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente; en particular, mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas por conducto de la gestión de riesgos (UNISDR, 2016).

En infraestructura y sistemas de agua potable y 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).

Considerando que la resiliencia de un sistema no se conoce con precisión, sino “a posteriori”, luego de un evento, lo que puede evaluarse “a priori”, en términos de resiliencia, son probabilidades que resultan de un proceso estocástico. Sólo cuando el evento ocurra se conocerá si un sistema era efectivamente resiliente (Gay, 2013).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Construir infraestructura con características de resiliencia implica planificar adecuadamente, de manera que no se comprometa la resistencia y durabilidad de la obra y se aseguren los recursos financieros necesarios para construir y mantener la infraestructura durante su vida útil.

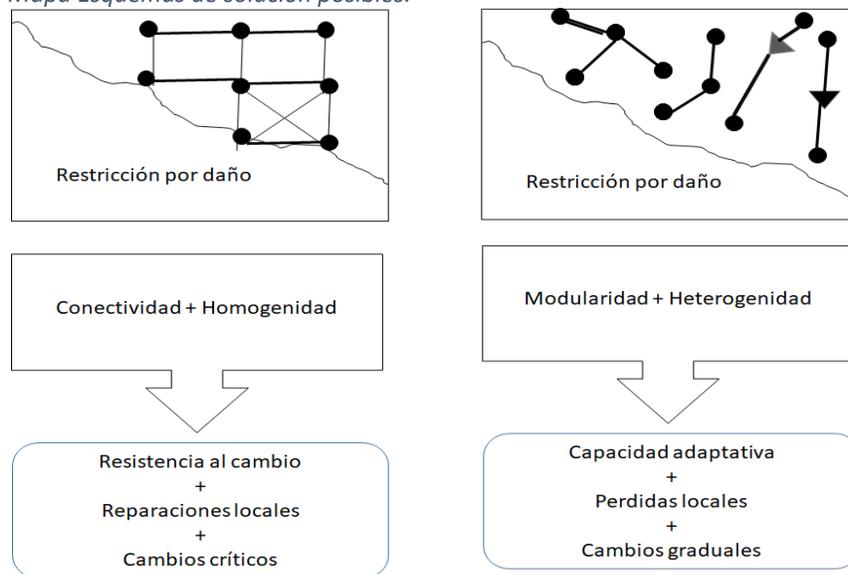
Es también importante considerar las necesidades y demandas de la población a la hora de diseñar y entender el contexto para garantizar la viabilidad de los proyectos.

El concepto de resiliencia es un concepto que ha sido discutido ampliamente y modificado a partir de su definición: en ocasiones se define como un estado y un proceso, o bien como una propiedad (intrínseca o adquirida) que conlleva diversas características como diversidad, modularidad (adaptabilidad), redundancia, interdependencia, conectividad y además flexibilidad.

Esta definición se apoya en el hecho de que los servicios (o las funciones) que deben asegurarse por los sistemas públicos, por ejemplo, se enfrentan a muchas perturbaciones; y deben, en consecuencia, adaptarse para responder a sus disfunciones (a esto se le llama resiliencia de respuesta inmediata o de corto plazo). Sin embargo, la resiliencia inmediata no es una característica aislada; está asociada, por una parte, a una estrategia técnica, enfocada a limitar el grado de daño del sistema, mediante a) Una capacidad adecuada y una resistencia y de absorción de las perturbaciones y, por otra parte, b) Una estrategia más organizacional, centrada en acelerar el retorno a la normalidad por una gestión optimizada de medios y recursos.

La capacidad del sistema para funcionar en modo degradado es un tercer nivel de acción que está ligado a los dos primeros y es la búsqueda de la resiliencia de largo plazo, la cual pasa por un proceso de mejoramiento continuo, que se orienta a incrementar la resiliencia de corto plazo, aprovechando el conocimiento y adaptación del sistema para actuar en alguno de los tres niveles ya citados, lo cual involucra un proceso de operación y mantenimiento en las mejores condiciones.

Ilustración 35. Mapa Esquemas de solución posibles.





COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Un sistema se dice con características de adaptabilidad (modularidad) cuando sus diferentes componentes poseen una autonomía relativa de funcionamiento. Este principio es frecuentemente aplicado en los procesos industriales complejos, con el fin de evitar que una descompostura provoque el paro de la cadena de producción. Un sistema modular tiene la tendencia a reaccionar gradualmente y de forma previsible, mientras que un sistema cerrado e interconectado tiende, al contrario, a reaccionar de manera súbita e imprevisible ante una alteración de su medio ambiente.

3.2.1 Dimensionamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción

Es fundamental tomar en cuenta que la red de colectores principales, así como la red de captación son elementos muy importantes, básicos de los sistemas de saneamiento. En la elección de alternativas de estos elementos se valoran diversos factores que abarcan desde el tipo de sistema de captación y transporte de las aguas residuales (gravedad, a presión, por vacío), el tipo de material de las tuberías y la ruta a seguir, entre otros factores a considerar para definir la red de colectores que dará servicio a las nuevas zonas de crecimiento de la ciudad de Mexicali.

Para la ciudad de Mexicali, el tipo de sistema como punto de partida tiene que ser al menos mixto, en el sentido de que difícilmente, para las condiciones topográficas y de la ubicación de las plantas de tratamiento existentes, la red pudiera funcionar totalmente a gravedad, entonces la operación del sistema se hace combinando conductos a gravedad y a presión mediante bombes, como se ha desarrollado hasta ahora el sistema existente.

La alternativa sería un sistema de alcantarillado por vacío, el cual, aunque se presentan condiciones para instalarlo, y es un tipo de sistema cuyos equipamientos existen en el mercado desde hace muchos años, y del que se dice, además, que conforme se han dado los avances tecnológicos en equipos hidroneumáticos, son más seguros. Sin embargo, en nuestro país realmente no existe experiencia, por lo que, si se pretenden aprovechar las ventajas de este tipo de sistema, como tuberías de menor diámetro, zanjeo menos profundo, menor control de pendientes, el alcantarillado por vacío pudiera ser utilizado en menor escala en alguna colonia, en particular, y probar su eficiencia y efectividad.

En este caso hemos optado por buscar alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción en zonas de expansión de la mancha urbana de Mexicali al año 2050, con el sistema convencional apoyado en plantas de bombeo en aquellas zonas en las que topográficamente se dificulta conducir el agua a ciertos sitios únicamente por gravedad.

Configuración de la red de colectores y subcolectores con base en el impacto por ubicación

Las opciones de obras de captación y conducción, que se proponen para dar cobertura a la demanda futura de saneamiento, tomarán en cuenta los factores que pueden modificar su costo y durabilidad, así como las relativas a la ubicación y al tipo de material a utilizar.

El factor de ubicación se relaciona, asimismo, con la localización de las PTAR, el aprovechamiento en lo posible de las pendientes naturales del terreno y el impacto en diversos efectos sobre diferentes condiciones relacionadas con objetivos de cobertura de saneamiento urbano.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Los proyectos considerados a nivel de identificación proporcionan información con un gran margen de incertidumbre. Es importante, sin embargo, considerar el hecho de que las alternativas y proyectos involucrados inciden en importantes aspectos de la realidad regional sobre los que no existen criterios definidos de prioridad y valuación.

Por lo anterior pareciera conveniente abordar un ejercicio de evaluación que, dentro de la simplificación que el nivel de análisis permita, pueda hacerse una presentación "sintética" más que una presentación "amplia", donde puede observarse en forma desagregada el impacto que las alternativas y proyectos tienen sobre diferentes aspectos que refieren diferentes impactos del proyecto.

Cuanto mayor sean los requerimientos, y cuanto más largo sea el plazo de ejecución de los mismos, menor será el valor que dichos parámetros adjudiquen al proyecto. Inversamente, el parámetro restante considera el ámbito de influencia de la obra de infraestructura, asignando valores descendientes, según la importancia y urgencia que tengan las obras.

El criterio de "castigar" las obras de infraestructura de más largo plazo, responde exclusivamente al hecho de no disponer de estimaciones coherentes sobre dimensiones y costos.

Para proponer el orden en que pudieran realizarse las obras relacionadas con la red de colectores y subcolectores, se plantean algunos atributos que se describen a continuación, como aquellos que pueden darnos una guía, sobre todo en el sentido de poder distribuir las inversiones asociadas a cada tipo de infraestructura en diferentes plazos de programación.

Conforme a los atributos de impacto de la infraestructura de saneamiento, antes citados, como guía para evaluar los elementos de esta infraestructura, enseguida se hace una descripción un poco más amplia de las condiciones que se valoran en cada uno de ellos.

1. **Posibilidad de incremento en la cobertura de servicio en el mediano plazo;** esta condición se refiere a calificar que tan posible es que en un plazo de 2 a 5 años el conducto sea parte de una infraestructura que permita incorporar habitantes de la ciudad que aún no cuentan con los servicios de drenaje sanitario.
2. **Posibilidad de generar efectos multiplicadores y o de encadenamiento (con otras zonas de crecimiento);** esto es que al momento de construir la infraestructura sirva para incorporar las áreas o zonas de la ciudad más alejadas, y que sin ella no sea posible conectarse al sistema de tratamiento.
3. **Grado de accesibilidad al saneamiento de la zona en el corto plazo,** considerando su ubicación; con ello se evalúa si con esta obra la zona donde se ubica se incorpora a la red de saneamiento en un corto plazo, 1 a 3 años.
4. **Posibilidad de mejora de zona habitada;** esta situación se refiere al hecho de que la obra de referencia puede, de inmediato, una vez construida, mejorar la condición de una colonia o zona urbana que ya está habitada desde hace tiempo, pero carece del servicio de alcantarillado sanitario.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

5. **Posibilidades de recuperación de la inversión pública;** este atributo se refiere a la posibilidad de que la obra en cuestión pueda formar parte de un contrato de Asociación Público-Privada, y no a que la inversión sea compartida con socio privado y al final del periodo del contrato la infraestructura sea del organismo operador.
6. **Grado de riesgo de derrame y escurrimiento transfronterizo;** esto se refiere a evaluar el riesgo de que de no existir la obra, y se encuentre habitada la zona, las descargas escurran hacia el otro lado de la frontera con Estados Unidos.

Para las alternativas de colectores principales y obras de captación y conducción, se valorarán dos aspectos primordiales: la condición de ubicación en el sistema y el material a utilizar.

Considerando la suma de los porcentajes o puntuaciones para cada atributo, en cada uno de los colectores, subcolectores y emisores de la red de captación y conducción para las zonas de crecimiento urbano de la ciudad de Mexicali, conforme se detallan en la tabla siguiente, se valorarán todos ellos, y la suma de los seis atributos de impacto constituirán la calificación total de priorización de cada elemento, teniendo como máximo 1.80 puntos.

Tabla 45. Criterios y puntaje de impacto de la obra para priorización programática de inversiones

ATRIBUTO DE IMPACTO DEL PROYECTO		MUY ALTA	ALTA	MEDIO	BAJA	TOTAL
1	Posibilidad de incremento en la cobertura de servicio en el corto plazo (antes del 2025).	0.3	0.25	0.25	0.20	1.00
2	Posibilidad de generar efectos multiplicadores y o de encadenamiento con otras zonas de crecimiento.	0.3	0.25	0.25	0.20	1.00
3	Accesibilidad al saneamiento de la zona en el corto plazo, considerando su ubicación.	0.3	0.25	0.25	0.20	0.75
4	Mejora de zona actualmente habitada.	0.3	0.25	0.25	0.20	1.00
5	Posibilidades de recuperación de la inversión pública.	0.3	0.30	0.20	0.20	1.00
6	Grado de riesgo de derrame y contaminación transfronteriza.	0.3	0.30	0.20	0.20	1.00

Fuente: elaboración propia

Una vez calificados los proyectos, se determinó considerar los rangos que a continuación se describen, y que representan el impacto y la urgencia de cada proyecto, con el objeto de asociarlos a diferentes periodos de programación o ejecución:

Tabla 46. Rangos de puntaje de priorización de proyectos asociados a periodos de ejecución

N°	RANGO DE CALIFICACIÓN	PERIODO DE EJECUCIÓN PROPUESTO
1	Puntaje de priorización 1.60 -1.80	2022-2024
2	Puntaje de priorización 1.45 -1.55	2025-2030
3	Puntaje de priorización 1.30 -1.40	2031-2050

Fuente: elaboración propia

Con el objetivo descrito, es decir evaluar el impacto de cada tipo de conducción, se identifica la infraestructura requerida, la cual se enlista en las tablas 47 y 48, así como en función de los puntajes de calificación y los periodos en los que se programa su ejecución.

Tabla 47. Red de colectores, subcolectores y emisores de la zona de influencia de la PTAR Arenitas

CONDUCTOS	DIÁMETRO (pulgadas)	LONGITUD (metros)	CRITERIO DE IMPACTO						PUNTAJE PRIORIZACIÓN	PERIODO DE EJECUCIÓN
			1	2	3	4	5	6		
Emisor Sur	48	18400	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.80	2022-2024
Emisor Efluente Sur Arenitas	60	9500								2022-2024
Colector del Sur TRAMO A	36	5023	0.30	0.30	0.25	0.30	0.30	0.30	1.75	2022-2024
Subcolector la Pluma	18	4170	0.30	0.30	0.25	0.25	0.20	0.30	1.60	2022-2024
Colector del Sur TRAMO B	30	3480	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20	0.30	1.45	2025-2030
Colector Noreste TRAMO A	30	6370	0.30	0.30	0.25	0.20	0.20	0.30	1.55	2025-2030
Colector Noreste TRAMO B	24	7826	0.25	0.30	0.25	0.20	0.20	0.30	1.50	2025-2030
Colector Choropo	30	4500	0.20	0.30	0.25	0.20	0.20	0.30	1.45	2025-2030
Colector Choropo	24	2280	0.25	0.30	0.25	0.20	0.20	0.30	1.50	2025-2030
Colector del Sur TRAMO C	24	5862	0.20	0.25	0.25	0.20	0.20	0.30	1.40	2031-2050
Subcolector	20	4625	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.30	2031-2050
Subcolector Roa	20	4090	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.30	2031-2050
Colector Choropo	20	2720	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.30	1.35	2031-2050
Subcolector Choropo 1	18	4275	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.30	1.35	2031-2050
Subcolector Choropo 2	18	3710	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.30	1.35	2031-2050
Subcolector Choropo 3	18	3340	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.30	1.35	2031-2050
Subcolector Choropo 4	20	4860	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.3	2031-2050
Subcolector Choropo 5	18	2466	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.3	2031-2050
Subcolector Choropo Aux	18	2726	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.3	2031-2050
Colector Puebla	24	6070	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.30	1.35	2031-2050
		106293								

Fuente: elaboración propia

Ilustración 36. Red de colectores y subcolectores en el área de crecimiento de Mexicali al año 2050, zona de influencia PTAR Arenitas

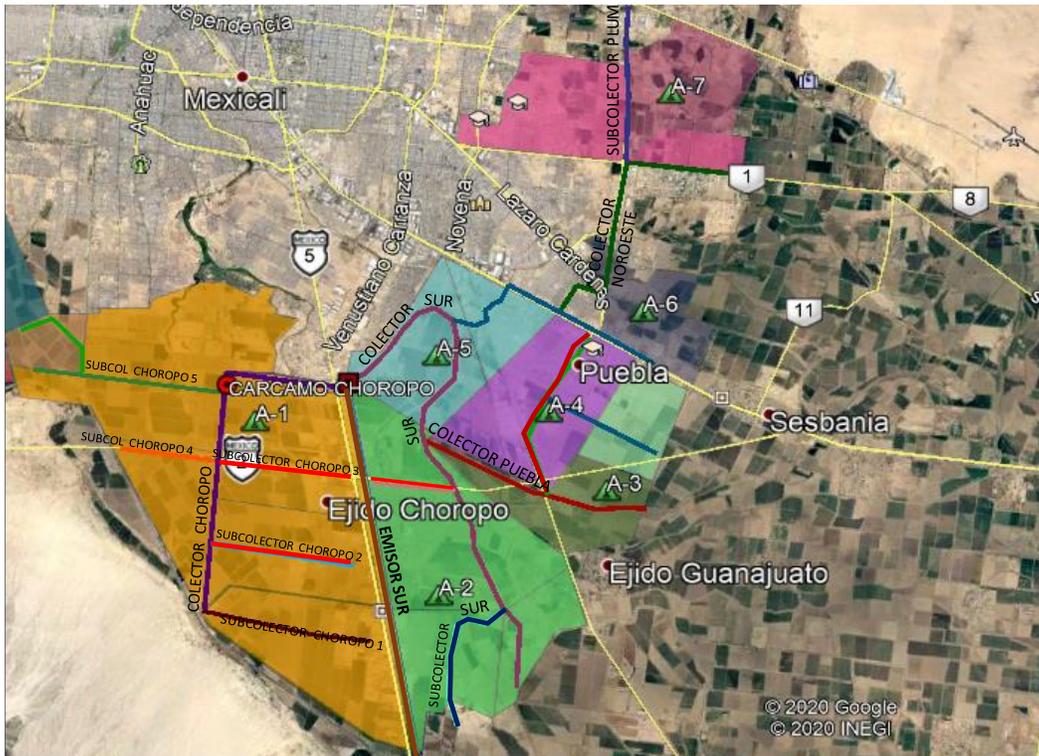
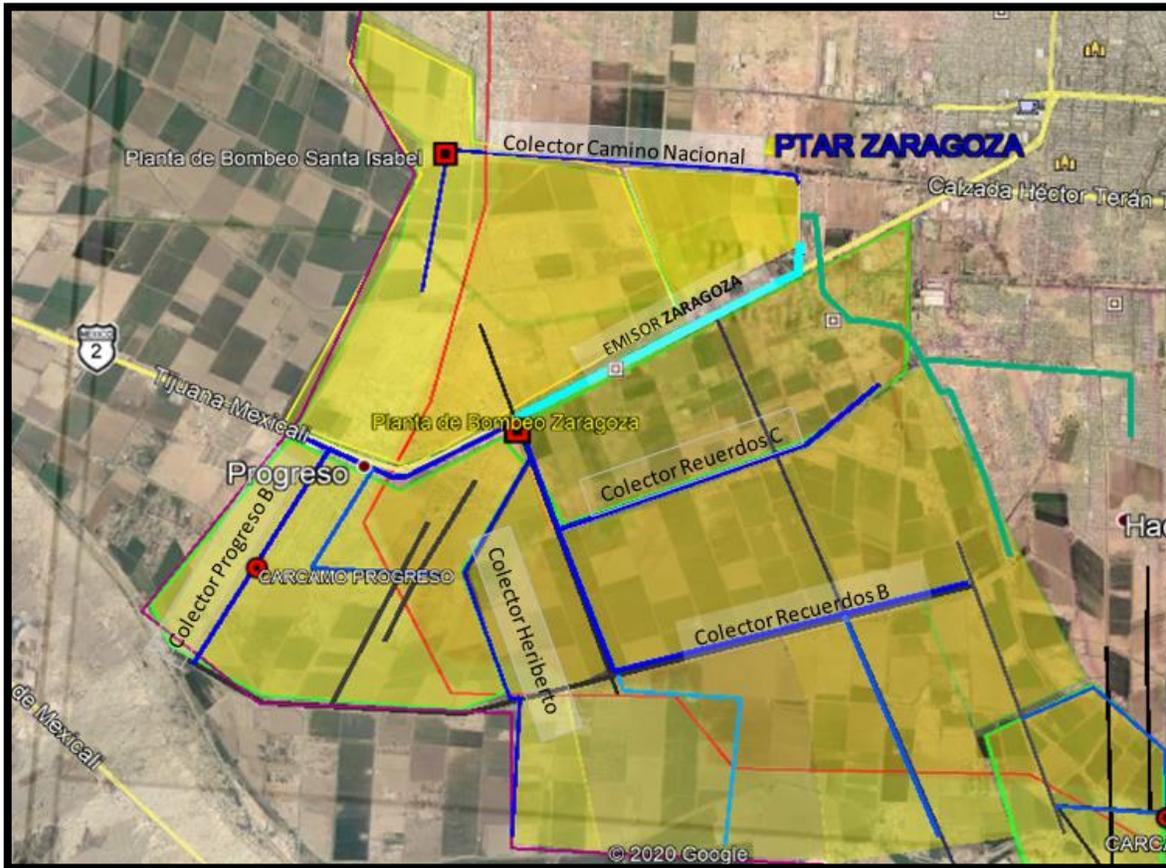


Tabla 48. Red de colectores, subcolectores y emisores de la zona de influencia de la PTAR Zaragoza

CONDUCTOS	DIÁMETRO (pulgadas)	LONGITUD (metros)	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	CRITERIO 5	CRITERIO 6	PUNTAJE PRIORIZACIÓN	PERIODO DE EFECTUACIÓN
ZONA OESTE										
Colector Recuerdos (emisor Zaragoza)	36	4025	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.80	2022-2024
Colector Camino Nacional	20	5670	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.30	1.60	2022-2024
Colector Recuerdos B	20	5965	0.20	0.30	0.20	0.20	0.30	0.30	1.50	2025-2030
Colector Recuerdos	20	3980	0.20	0.30	0.20	0.20	0.20	0.30	1.40	2031-2050
Colector Recuerdos	30	1325	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.30	2031-2050
Subcolector	18	2620	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.30	2031-2050
Subcolector Coronita	18	3200	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.30	2031-2050
Colector H Aja	20	4745	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	1.30	2031-2050
Colector Progreso	24	2737	0.20	0.20	0.20	0.25	0.20	0.30	1.35	2031-2050
Colector Progreso	20	2898	0.20	0.20	0.20	0.25	0.20	0.30	1.35	2031-2050
		37165								

Fuente: elaboración propia

Ilustración 37. Red de colectores y subcolectores en el área de crecimiento de Mexicali al año 2050, zona de influencia PTAR Zaragoza



Fuente: elaboración propia

Dimensionamiento hidráulico

De acuerdo con el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (CONAGUA), el flujo dentro de las tuberías se analizará bajo un sistema a superficie libre, y las tuberías seguirán en lo posible la



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

pendiente del terreno. En el caso que nos ocupa, se emplearán las pendientes de diseño mínimas, que cumplan con las condiciones de tirante mínimo y máximo dentro de una tubería, así como las de velocidades máximas y mínimas en la conducción del flujo.

La red de captación y conducción para las zonas de expansión urbana de Mexicali se muestra en las ilustraciones 36 y 37 para cada una de las áreas de influencia de la PTAR Zaragoza y de la PTAR Arenitas, respectivamente.

Para cada colector y subcolector se muestra el área de captación en hectáreas, que será la base para estimar los caudales a conducir por cada conducto.

La zona de expansión más extensa, que cubre desde el oriente de la ciudad, rodea la mancha urbana actual, pasando por el sureste, sur y un poco hacia el suroeste; corresponde al área de captación de aguas residuales, que serán transportadas a la PTAR Arenitas.

Gastos de diseño

Para el cálculo de los gastos de diseño en las redes de alcantarillado, de acuerdo con el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) (CONAGUA, 2009, pág. 66), se establece el criterio de valorar el gasto de dotación de drenaje sanitario como un porcentaje del gasto de consumo de agua potable. Los gastos de diseño que se emplean en los proyectos de alcantarillado sanitario son: a) Gasto medio b) Gasto mínimo c) Gasto máximo instantáneo d) Gasto máximo extraordinario. Los tres últimos se determinan a partir del primero.

Considerando que el sistema de alcantarillado sanitario debe construirse herméticamente, no se adicionará al caudal de aguas residuales algún volumen por infiltraciones.

Se establece el criterio de valorar el gasto de dotación de drenaje sanitario como un porcentaje del gasto de consumo de agua potable.

Gasto medio

El gasto medio es el valor del caudal de aguas residuales en un día de aportación promedio al año. Para calcular el gasto medio de aguas residuales, requiere definirse la aportación de aguas residuales de las diferentes zonas identificadas en los planos de uso de suelo.

La aportación es el volumen diario de agua residual entregado a la red de alcantarillado, la cual es un porcentaje del valor de la dotación de agua potable. En zonas habitacionales, se adopta como aportación de aguas residuales el 75 % de la dotación de agua potable, considerando que el 25 % restante se consume antes de llegar a las atarjeas. En función de la población y de la aportación, el gasto medio de aguas residuales en cada tramo de la red se calcula con:

$$Q_{med} = \frac{A_p \cdot P}{86\,400}$$

donde:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Q_{med} es el gasto medio de aguas residuales en l/s.

A_p es la aportación en litros por habitante al día.

P es la población en número de habitantes.

86 400 son el número de segundos al día.

En función de la población y de la aportación, el gasto medio de aguas residuales en cada tramo de la red se calcula con:

$$Q_{med} = \frac{A_p \cdot A}{86\,400}$$

donde:

Q_{med} .-es el gasto medio de aguas residuales en l/s.

A_p .- es la aportación en litros por metro cuadrado al día o litros por hectárea al día.

A .- es el área de la zona.

86 400 son el número de segundos al día.

Gasto máximo instantáneo

El gasto máximo instantáneo es el valor máximo de escurrimiento que puede presentarse en un instante dado. Su valor es el producto de multiplicar el gasto medio de aguas residuales por un coeficiente M , que en el caso de la zona habitacional es el coeficiente de Harmon.

$$Q_{max.inst.} = M \cdot Q_{med}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

dónde:

P es la población servida acumulada hasta el punto final (aguas abajo) del tramo de tubería considerada, en miles de habitantes.

Gasto máximo extraordinario

El gasto máximo extraordinario es el caudal de aguas residuales que considera aportaciones de agua que no forman parte de las descargas normales, como bajadas de aguas pluviales de azoteas, patios, o las provocadas por un crecimiento demográfico explosivo no considerado.

En función de este gasto se determina el diámetro adecuado de las tuberías, ya que se tiene un margen de seguridad para prever los caudales adicionales en las aportaciones que pueda recibir la red. Para el cálculo del gasto máximo extraordinario se tiene:

$$Q_{max.ext.} = C_s \cdot Q_{max.inst.}$$

C_s es el coeficiente de seguridad adoptado.

$Q_{max.inst.}$ es el gasto máximo instantáneo.

En cuanto al tipo de material a utilizar, habrá que decir que ningún tipo de tubería es totalmente adecuada para todas las condiciones y necesidades, por lo que cada caso tendría que ser evaluado.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Por ejemplo, las tuberías de hierro y concreto requieren atención especial a las condiciones del suelo, la calidad del agua conducida e incluso las condiciones topográficas.

Tabla 49. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso)

MATERIAL	DIAMETRO (rango mm)	VENTAJAS	INCONVENIENTES
MATERIALES EN CONDUCTOS RIGIDOS			
Concreto	En masa: 300 - 400 Armado sin camisa: 500 - 5000	<p>Apropiado para aplicaciones donde se requieran grandes diámetros</p> <p>Se fabrican a medida</p> <p>Son económicas</p>	<p>Falta de resistencia a la corrosión de los ácidos.</p> <p>Ataques químicos de aguas residuales transportadas</p> <p>Resistencia especialmente crítica, a la corrosión que genera el sulfuro de hidrógeno en importantes cantidades.</p> <p>Los vertidos a altas temperaturas, son</p>
Asbesto cemento	Clases 1,500, 2,400 y 3,300: Clases 4,000, y 5,000: 250 mm - 1,067	<p>Tienen la durabilidad del concreto</p> <p>Pesan mucho menos que el concreto</p> <p>Amplia variedad de clasificación de sus</p>	<p>Detrioros en entornos corrosivos de sulfuro de hidrógeno</p> <p>Detrioros en entornos de aguas residuales ácidas</p>

Fuente: elaboración propia

Tabla 50. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso)

MATERIAL	DIAMETRO (rango mm)	VENTAJAS	INCONVENIENTES
MATERIALES EN CONDUCTOS FLEXIBLES			
Fundición dúctil	80 -1200	<p>Alta resistencia a la presión interior</p> <p>Buenas para estanquedad</p> <p>Lisas</p>	<p>Sensibles a la corrosión por ácidos</p> <p>Proteger mediante revestimientos interiores y exteriores</p>
Hierro dúctil	75 - 1370	<p>Gran resistencia para soportar cargas externas</p> <p>Alto grado de dureza y ductilidad, adecuado para la mayoría de obras de alcantarillado sanitario y cruces de ríos</p> <p>Adecuado en instalaciones de tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Particularmente susceptibles a la corrosión en aguas residuales que contengan ácidos, y suelos agresivos.</p> <p>El recubrimiento externo es estandar y en situaciones de de corrosión extrema pudiera requerirse una protección de</p>
Plástico	PVC-U: 110 - 1000 PVC-U Estructurado: hasta 1500 mm PE:	<p>Ligeros</p> <p>Económicos</p> <p>Baja rugosidad</p> <p>Flexibles</p> <p>No favorecen el desarrollo de hongos y algas.</p>	<p>Prestaciones mecánicas menor las de hormigón y metálicos</p> <p>Alto coeficiente de dilatación térmica</p> <p>Envejecimiento (50 años de vida útil aproximadamente)</p>
Policloruro de vinilo (PVC)	100 - 610	<p>Químicamente inertes a la mayoría de los residuos alcalinos y ácidos</p> <p>Resistentes a los ataques biológicos</p> <p>Durabilidad</p> <p>Inmune a todo tipo de corrosión subterránea causada por reacciones galvánicas o electroquímicas en suelos agresivos</p> <p>Bajo peso</p> <p>Alta relación peso-resistencia</p> <p>Largas longitudes</p>	<p>Posible inestabilidad química debido a la exposición a la luz solar</p> <p>Deflexión excesiva bajo cargas en trinchera, cuando es instalada inapropiadamente</p> <p>Deflexión excesiva cuando es sometido a altas temperaturas de las aguas residuales</p> <p>Fragilidad cuando es expuesto a temperaturas muy bajas</p>

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Las tuberías más utilizadas y aceptadas desde los años sesenta del siglo pasado son, sin duda, las de policloruro de vinilo (PVC) con antecedentes exitosos, principalmente en aplicaciones de tuberías subterráneas. El segundo termoplástico en importancia, que se usa en el mercado de las tuberías subterráneas, es el polietileno (PE), que es de alto peso molecular y proporciona una excelente resistencia a los agentes químicos, por lo que no se ven alteradas ante la presencia de terrenos corrosivos, terrenos ácidos con bajo nivel de pH o alto contenido en sulfatos.

En general, el PVC es más fuerte, ofrece un mejor índice de expansión y contracción, uniones más rápidas y fáciles, y una instalación de accesorios menos complicada, en comparación con el PE.

Trazo general de las líneas de tuberías

De conformidad con las recomendaciones de CONAGUA, el trazo de los tramos de tuberías entre pozos de visita, deberán diseñarse en línea recta. Las tuberías no deben cruzar lotes o terrenos particulares. No se acepta la colocación de tubería de drenaje por banquetas o camellones, dado lo complicado de las labores de mantenimiento y limpieza. En todas las calles, con anchos mayores de 12 m con camellón, tales como bulevares o avenidas, deberá instalarse doble línea colectora por cada arroyo; en caso de que sean andadores o calles angostas, se aceptará una sola

Profundidad de zanjas

En drenaje la profundidad de la zanja para la instalación de tuberías se hará en función de los niveles de terreno natural y niveles de plantilla de diseño y el ancho de la zanja. La profundidad mínima debe satisfacer dos condiciones:

- El colchón mínimo necesario para evitar rupturas del conducto, ocasionadas por cargas vivas que, en general, para tuberías con diámetros hasta de 45 cm, se acepta de 90 cm, y para diámetros mayores de 45 cm, se acepta de 1.00 a 1.50.
- La plantilla apisonada sobre la que se sienta la tubería de drenaje podrá tener diferentes espesores en función de su diámetro. Nunca será menor de 10 cm de espesor. La plantilla para las tuberías de drenaje sanitario será de arena o tepetate fino. Para casos especiales podrá ser de gravilla. Las tuberías deberán quedar perfectamente sentadas sobre la plantilla para evitar fracturas. Las tuberías deben quedar perfectamente alineadas, tanto en lo horizontal como en lo vertical. La tubería se colocará con la campana hacia aguas arriba y se empezará su colocación de aguas abajo hacia aguas arriba.

Dimensionamiento de conductos

Conforme a las características topográficas y la acumulación de caudales en las zonas críticas, se efectuó la revisión de los conductos con diámetros propuestos para cada una de las zonas.

Las condiciones básicas del proyecto es que el sistema tenga la capacidad para atender la demanda futura y, como ya se detalló, se tomará en cuenta la densidad actual y de saturación, la durabilidad de los materiales y equipos empleados.

Velocidad mínima

La velocidad mínima se considera aquella con la cual no se permite depósito de sólidos en las atarjeas que provoquen azolves y taponamientos. La velocidad mínima permisible es de 0.3 m/s,



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Velocidad máxima

La velocidad máxima es el límite superior de diseño, con el cual se trata de evitar la erosión de las paredes de las tuberías y estructuras de drenaje sanitario. La velocidad máxima permisible depende de los tipos de materiales de las tuberías.

Por ejemplo, para los plásticos PVC, PEAD, la velocidad máxima es de 5 m/s; y en poliéster reforzado y acero sin recubrir, es 3 m/s.

Diámetro mínimo

La experiencia en la conservación y operación de los sistemas de alcantarillado, a través de los años, ha demostrado que para evitar obstrucciones, el diámetro mínimo en las tuberías debe ser de 20 cm (8 in); para casos especiales, previamente justificados, podrá emplearse un diámetro mínimo de 15 cm (6in)

Dimensionamiento de las líneas de conducción

En las tablas 51 y 52 se presenta el cálculo de caudales medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario, y la revisión de capacidad por tubería, considerando la acumulación de volúmenes en su concentración hasta la respectiva planta de bombeo y emisor correspondiente.

En la tabla 52 se muestran los caudales medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario para cada conducto, incluyendo la concentración y acumulación de gastos para su revisión, respecto a la capacidad de conducción y para determinar si cumple este requisito, lo cual se señala en la última columna.

Destaca que la población total atendida para definir los caudales es de 722,813 habitantes; 531,216 en el área de captación de los volúmenes que se descargan hacia la PTAR Arenitas, y 191,597 habitantes en la zona de captación de aguas residuales de la PTAR Zaragoza, superior al crecimiento esperado para una tasa alta, que es de 705,747 habitantes en el horizonte de planeación al 2050.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 51. Áreas de aportación y población atendida por colector y gasto medio colectado a la PTAR Arenitas

ZONA	Area	Habitantes a conectar	LÍNEA_NOMBRE	L (m)	D (pulg)	(Cap tubo) (l/s)	S	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
A-1		243360	ACUMULADOS CHOROPO A	4500	30	1,940.2	0.014	592	1,284	1,925
	269	10777	SUBCOLECTOR CHOROPO AUX	2726	18	265.6	0.004	26	57	85
	1,772	70894	SUBCOLECTOR CHOROPO 4	4860	20	583.3	0.011	172	374	561
	1,212	48495	SUBCOLECTOR CHOROPO 1	4725	18	398.4	0.009	118	256	384
	1,003	40133	SUBCOLECTOR CHOROPO 2	3710	18	325.3	0.006	98	212	318
	412	16480	SUBCOLECTOR CHOROPO 3	3340	18	265.6	0.004	40	87	130
	612	24494	SUBCOLECTOR CHOROPO 5	2466	18	265.6	0.004	60	129	194
			COLECTOR CHOROPO C	2720	20	725.2	0.017	215	467	701
			COLECTOR CHOROPO B	2280	24	1,031.2	0.013	315	684	1,025
	803	32101	COLECTOR CHOROPO A	4500	30	1,037.1	0.004	78	169	254
A-2		89374	ACUMULADOS COLECTOR SUR		36	1,686.4	0.004	217	471	707
	929	27862	COLECTOR SUR	5023	36	1,686.4	0.004	68	147	220
			COLECTOR SUR B	3480	30	1,037.1	0.004	150	324	487
			COLECTOR SUR C	5862	24	572.0	0.004	84	182	274
	755	22642	SUBCOLECTOR ROA	4090	20	351.8	0.004	55	119	179
	398	11937	COLECTOR SUR C	2180	20	351.8	0.004	29	63	94
	898	26933	SUBCOLECTOR LIBRAMIENTO	2113	20	351.8	0.004	65	142	213
A-3	714	32109	COLECTOR PUEBLA	6070	24	572.0	0.004	78	169	254
A-4		42396	ACUM. SUBCOLECTOR PUEBLA		20	351.8	0.004	103	224	335
	1,213	30337	SUBCOLECTOR PUEBLA	4625	20	351.8	0.004	74	160	240
	482	12059	SUBCOL. FUENTES DE PUEBLA	3140	18	265.6	0.004	29	64	95
A-5		42244			36	1,686.4	0.004	103	223	334
	820	28712	COLECTOR SUR	6700	36	1,686.4	0.004	70	151	227
	387	13532	COLECTOR NORESTE TRAMO A	2600	30	1,037.1	0.004	33	71	107
A-6	634	25371	COLECTOR NORESTE TRAMO A	3770	30	1,037.1	0.004	62	134	201
A-7		56363			24	572.0	0.004	137	297	446
	843	25288	SUBCOLECTOR LA PLUMA	4170	18	265.6	0.004	61	133	200
	784	23516	SUBCOLECTOR LA PLUMA	4170	18	265.6	0.004	57	124	186
	252	7559	COLECTOR NORESTE TRAMO B	2792	24	572.0	0.004	18	40	60
		531216	ACUMULADOS COLECTOR SUR	5023	36	2,385.0	0.008	700	1,518	2,277
			EMISOR SUR	18400	48	4,448.2	0.006	1,291	2,802	4,203
Z-1	1,093	27337	COLECTOR CAMINO NACIONAL	5670	20	351.8	0.004	66	144	216
Z-2	881	22022	COLECTOR PROGRESO	2737	24	572.0	0.004	54	116	174
	566	14154	SUBCOLECTORr CORONITAS 2	2798	18	265.6	0.004	34	75	112
	315	7868	COLECTOR PROGRESO B	2898	20	351.8	0.004	19	41	62
Z-3		19574			30	1,037.1	0.004	48	103	155
	365	10954	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 30'	1325	30	1,037.1	0.004	27	58	87
	287	8620	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 20'	3980	20	351.8	0.004	21	45	68
Z-4	1,111	49973	COLECTOR RECUERDOS B	5965	20	430.8	0.006	121	264	395
Z-5	361	18027	COLECTOR H AJA	4745	20	351.8	0.004	44	95	143
Z-6	592	29601	SUBCOLECTOR CORONITA	3200	18	265.6	0.004	72	156	234
	501	25063	SUBCOLECTOR	2620	18	265.6	0.004	61	132	198
		191597	COLECTOR A LOS RECUERDOS	4025	36	1,686.4	0.004	399	866	1,300

Fuente: elaboración propia



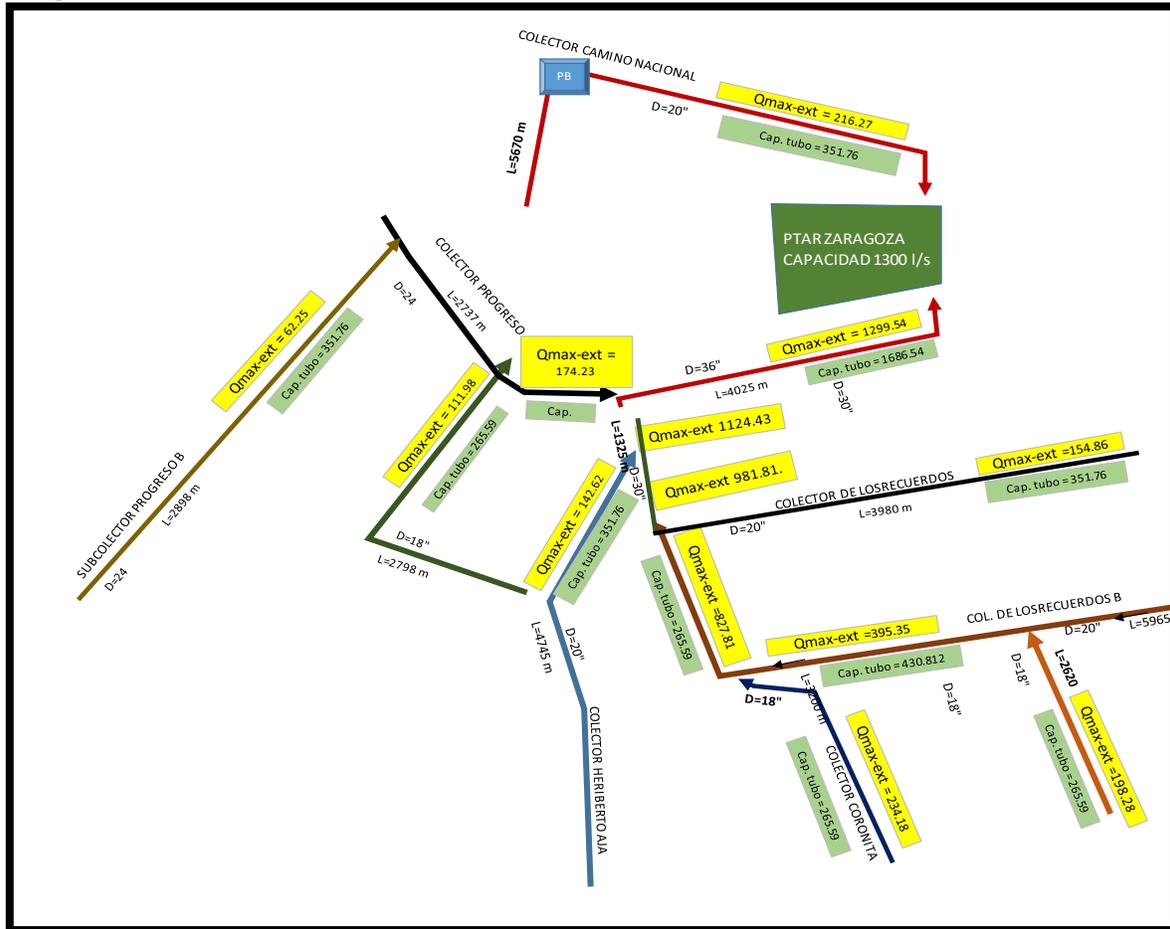
COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 52. Revisión de caudales máximos extraordinarios y capacidad por conducto de la red

LÍNEA_NOMBRE	L (m)	D (pulg)	(Cap tubo) (l/s)	S	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	CONDICION
ACUMULADOS CHOROPO A	4500	30	1,940.2	0.014	592	1,284	1,925	CUMPLE
SUBCOLECTOR CHOROPO AUX	2726	18	265.6	0.004	26	57	85	CUMPLE
SUBCOLECTOR CHOROPO 4	4860	20	583.3	0.011	172	374	561	CUMPLE
SUBCOLECTOR CHOROPO 1	4725	18	398.4	0.009	118	256	384	CUMPLE
SUBCOLECTOR CHOROPO 2	3710	18	325.3	0.006	98	212	318	CUMPLE
SUBCOLECTOR CHOROPO 3	3340	18	265.6	0.004	40	87	130	CUMPLE
SUBCOLECTOR CHOROPO 5	2466	18	265.6	0.004	60	129	194	CUMPLE
COLECTOR CHOROPO C	2720	20	725.2	0.017	215	467	701	CUMPLE
COLECTOR CHOROPO B	2280	24	1,031.2	0.013	315	684	1,025	CUMPLE
COLECTOR CHOROPO A	4500	30	1,037.1	0.004	78	169	254	CUMPLE
ACUMULADOS COLECTOR SUR		36	1,686.4	0.004	217	471	707	CUMPLE
COLECTOR SUR	5023	36	1,686.4	0.004	68	147	220	CUMPLE
COLECTOR SUR B	3480	30	1,037.1	0.004	150	324	487	CUMPLE
COLECTOR SUR C	5862	24	572.0	0.004	84	182	274	CUMPLE
SUBCOLECTOR ROA	4090	20	351.8	0.004	55	119	179	CUMPLE
COLECTOR SUR C	2180	20	351.8	0.004	29	63	94	CUMPLE
SUBCOLECTOR LIBRAMIENTO	2113	20	351.8	0.004	65	142	213	CUMPLE
COLECTOR PUEBLA	6070	24	572.0	0.004	78	169	254	CUMPLE
ACUM. SUBCOLECTOR PUEBLA		20	351.8	0.004	103	224	335	CUMPLE
SUBCOLECTOR PUEBLA	4625	20	351.8	0.004	74	160	240	CUMPLE
SUBCOL. FUENTES DE PUEBLA	3140	18	265.6	0.004	29	64	95	CUMPLE
COLECTOR SUR	6700	36	1,686.4	0.004	70	151	227	CUMPLE
COLECTOR NORESTE TRAMO A	2600	30	1,037.1	0.004	33	71	107	CUMPLE
COLECTOR NORESTE TRAMO A	3770	30	1,037.1	0.004	62	134	201	CUMPLE
SUBCOLECTOR LA PLUMA	4170	18	265.6	0.004	61	133	200	CUMPLE
SUBCOLECTOR LA PLUMA	4170	18	265.6	0.004	57	124	186	CUMPLE
COLECTOR NORESTE TRAMO B	2792	24	572.0	0.004	18	40	60	CUMPLE
ACUMULADOS COLECTOR SUR	5023	36	2,385.0	0.008	700	1,518	2,277	CUMPLE
EMISOR SUR	18400	48	4,448.2	0.006	1,291	2,802	4,203	CUMPLE
COLECTOR CAMINO NACIONAL	5670	20	351.8	0.004	66	144	216	CUMPLE
COLECTOR PROGRESO	2737	24	572.0	0.004	54	116	174	CUMPLE
SUBCOLECTORr CORONITAS 2	2798	18	265.6	0.004	34	75	112	CUMPLE
COLECTOR PROGRESO B	2898	20	351.8	0.004	19	41	62	CUMPLE
COLECTOR DE LOS RECUERDOS 30'	1325	30	1,037.1	0.004	27	58	87	CUMPLE
COLECTOR DE LOS RECUERDOS 20'	3980	20	351.8	0.004	21	45	68	CUMPLE
COLECTOR RECUERDOS B	5965	20	430.8	0.006	121	264	395	CUMPLE
COLECTOR H AJA	4745	20	351.8	0.004	44	95	143	CUMPLE
SUBCOLECTOR CORONITA	3200	18	265.6	0.004	72	156	234	CUMPLE
SUBCOLECTOR	2620	18	265.6	0.004	61	132	198	CUMPLE
COLECTOR A LOS RECUERDOS	4025	36	1,686.4	0.004	399	866	1,300	CUMPLE

Fuente: elaboración propia

Ilustración 39. Esquema general de la acumulación de caudales y capacidad de los tubos, zona de la PTAR Zaragoza



Fuente: elaboración propia

3.2.2 Alternativas para plantas de bombeo principales

La alternativa de las plantas de bombeo que se proponen, y que en su momento se construyan, considerando lo hasta aquí planteado, es que estas plantas estarán equipadas, de tal forma que se busca minimizar riesgos derivados de errores humanos, al automatizar los equipos y monitorear y controlar las variables del flujo y electromecánicas durante su operación.

Para la ciudad de Mexicali, dependiendo de las cargas hidráulicas y caudales, se requieren varias plantas de bombeo de mayor equipamiento y varios cárcamos de menor equipamiento, para ir incorporando zonas de crecimiento y conducir el agua residual hacia cada una de las PTAR existentes en la ciudad.

Zona de influencia de la planta de tratamiento Zaragoza (zona de expansión Mexicali III)

Tabla 53. Caudales acumulados para las plantas de bombeo, zona PTAR Zaragoza

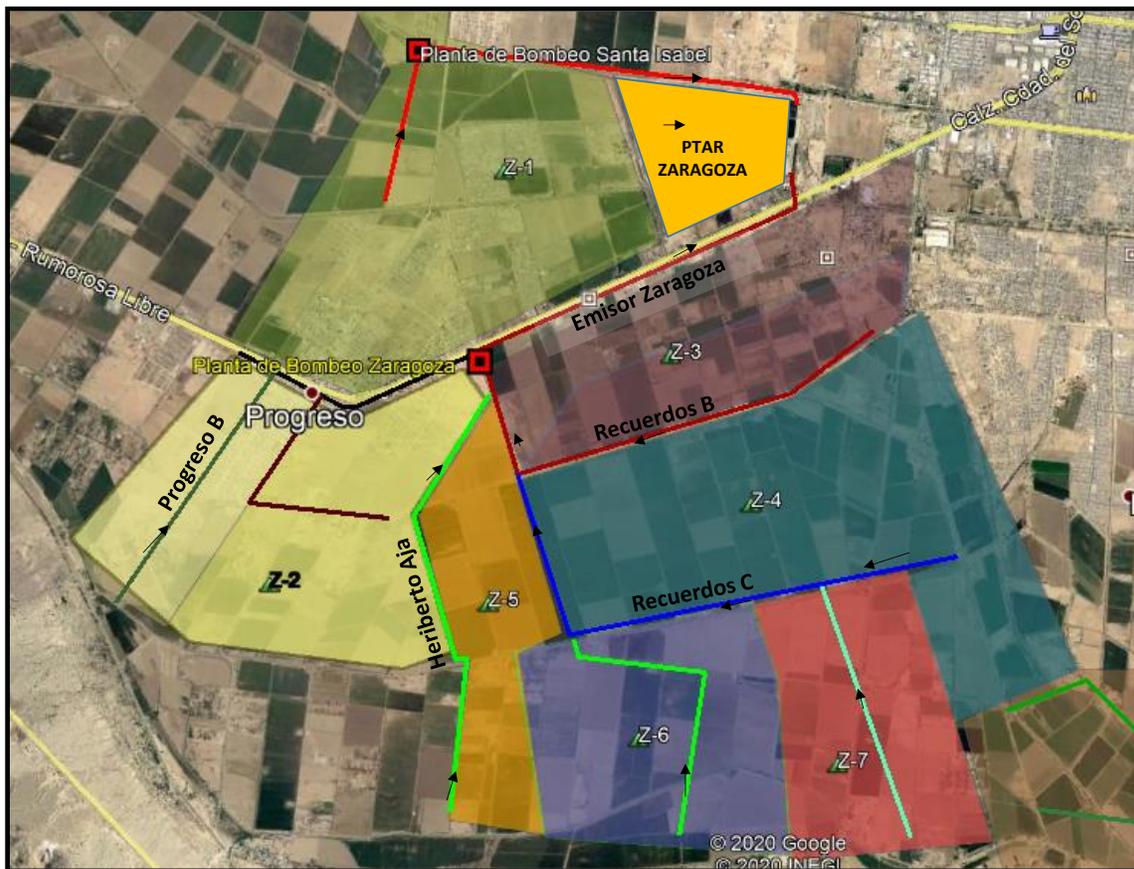
AREA DE INFLUENCIA PTAR ZARAGOZA

ZONA	Superficie (ha)	Habitantes (50 hab/ha)	factor de habitantes nuevos	habitantes a conectar	Colectores			Emisores		
					Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
Z-1	1094	54,700	0.5	27,350	66		140	66	144	216
Z-2	881	44,050	0.5	22,025	54	116	174			
Z-3	652	32,600	0.6	19,560	48	103	155			
Z-4	1111	55,550	0.9	49,995	122	264	395			
Z-5	361	18,050	1.0	18,050	44	95	143			
Z-6	592	29,600	1.0	29,600	72	156	234			
Z-7	501	25,050	1.0	25,050	61	132	198	399	866	1299

Fuente: elaboración propia

La zona Z-1 corresponde al área de captación de la PBAR Santa Isabel, y el caudal máximo instantáneo ($Q_{max-inst}$) que le corresponde es de 144 l/s; la acumulación de los caudales de las zonas Z-2 a la Z-7 pertenece a la PBAR Zaragoza cuyos caudales máximos instantáneos acumulados son de 866 l/s, que se conducirán mediante bombeo a la PTAR Zaragoza, como se muestran en la tabla 54.

Ilustración 40. Zona de influencia de la planta de tratamiento Zaragoza (zona de expansión Mexicali III)



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Zona de influencia de la planta de tratamiento Arenitas (zona de expansión Mexicali IV)

Tabla 54. Caudales de los colectores y el acumulado en los emisores de las PBAR principales de la zona de influencia de la PTAR Arenitas

ZONA	Superficie (ha)	Habitantes (50 hab/ha)	factor de habitantes nuevos	habitantes a conectar	Colectores			Emisores		
					Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
A-1	6084	304,200	0.8	243,360	592	1284	1925	592	1284	1925
A-2	2979	148,950	0.6	89,370	217	471	707			
A-3	714	35,700	0.9	32,130	78	169	254			
A-4	1214	60,700	0.5	30,350	103	224	335			
A-5	1207	60,350	0.7	42,245	102	223	334			
A-6	634	31,700	0.8	25,360	62	133	201			
A-7	1879	93,950	0.6	56,370	137	297	446	699	1517	2277
PBAR SUR								1290	2801	4202

Fuente: elaboración propia

Los caudales acumulados de la zona A-1 a la zona A-7 se concentran en la **PBAR Sur** cuyos caudales se transportarán mediante bombeo a la PTAR Arenitas, como se muestran en la tabla 54.

En las siguientes tabulaciones se describen los cálculos de requerimientos de potencia de bombeo para enviar el agua residual por los emisores en cada una de las zonas hacia la respectiva planta de tratamiento.

Debe considerarse que cada PBAR requiere una unidad de pretratamiento y sin excepción de una planta de emergencia, ya que el bombeo de aguas residuales no debe suspenderse al faltar el suministro eléctrico, por lo que tiene que tomarse en cuenta y considerar los espacios suficientes para ello, pues la planta de emergencia deberá contar necesariamente con la instalación eléctrica adecuada, como el interruptor de transferencia que tiene como función conectar el sistema eléctrico de la planta a las instalaciones del bombeo en el momento de falla del suministro eléctrico.

Cárcamo de bombeo

El cárcamo es en general la estructura receptora de uno o más colectores de la red sanitaria y es desde esta estructura desde dónde se movilizan las aguas negras, ya sea hacia una planta de tratamiento o a otra estación de bombeo de mayor capacidad o elevación topográfica.

La estructura de los cárcamos de bombeo debe ser de concreto reforzado. Las paredes exteriores que quedan enterradas, así como las interiores que se encuentran por debajo del nivel máximo del agua, deben ser tratadas con un revestimiento que evite filtraciones.

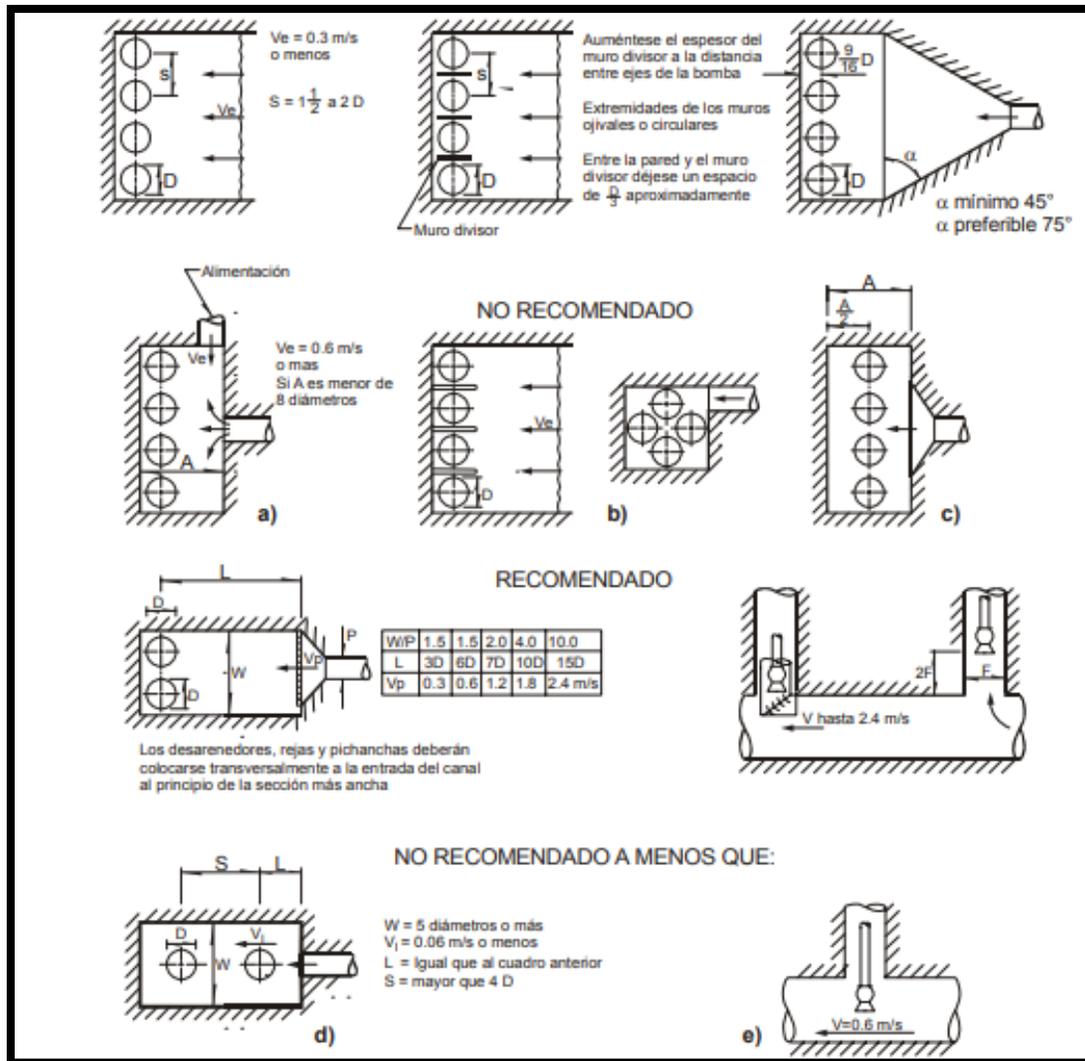
Las secciones más empleadas son las cuadradas y rectangulares, ya que permiten una mejor utilización del espacio y una fácil separación entre la cámara de bombeo y la seca. Sin embargo, en cárcamos profundos el empleo de secciones circulares conviene, pues son más resistentes a las sobrecargas que las rectangulares.

Las dimensiones de cada cárcamo deben obedecer a las reglas de la hidráulica en lo que se refiere al equilibrio entre el influente y efluente. Es decir, el agua de llenado debe estar en equilibrio con el

agua de vaciado, mediante las bombas, y tomar en cuenta los gastos máximos de los alimentadores para la selección de los equipos de bombeo.

Para el diseño del cárcamo se recomienda que el agua llegue con baja velocidad, con flujo recto y uniforme (ilustración 41), simultáneamente a todas las bombas. No se recomiendan cambios bruscos en el tubo de succión, el cárcamo y el tubo de alimentación.

Ilustración 41. Recomendaciones para cárcamos de bombeo



Fuente: Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS)-Conagua

Si las bombas trabajan en un mismo cárcamo operarán mejor sin muros divisorios, siempre y cuando no estén en operación al mismo tiempo, en cuyo caso el uso de separaciones es recomendable. Si se usan paredes de separación con fines estructurales y las bombas van a operar intermitentemente, debe dejarse un espacio entre cada pared o división. Si es necesario usar estas paredes, habrá que aumentar la dimensión (S) por medio de la amplitud de la pared para corregir el espacio en la línea central, ya sea que las terminales de los separadores sean en forma redonda u ojival.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Alternativas de diseño del cárcamo:

Para fines de diseño de las estaciones de bombeo se tienen dos opciones: cárcamo seco o cárcamo húmedo (circular o rectangular).

La opción de cárcamo seco consta de dos compartimientos, en uno se contiene el agua y es contiguo e independiente de los equipos de bombeo; si la forma es circular el anillo exterior corresponde al cárcamo húmedo y el interior corresponde al cárcamo seco y es dónde se alojan los equipos de bombeo.

Algunas de las ventajas de este tipo de cárcamos que pueden mencionarse son la accesibilidad a los equipos para su mantenimiento y reparación, disponibilidad de equipos para el manejo de mayores caudales y variación de cargas.

Caudales de diseño

Las consideraciones básicas de proyecto de las plantas de bombeo se refieren, entre otros aspectos básicos, a los gastos de bombeo con que cada estación trabajará, considerando un gasto máximo igual al del día de máximo consumo, y deberán considerarse capacidades de bombas para los gastos mínimo y menores que el máximo, mientras se llega al horizonte de diseño.

El periodo de diseño para las estructuras civiles deberá ser el máximo posible dentro de las limitaciones de financiamiento, eligiéndose un mínimo de 20 años.

Bombas

Desde el punto de vista hidráulico, las bombas deberán ser capaces de manejar sólidos sin disminuir su eficiencia hidráulica y sin riesgo de atascos.

Los equipos de bombeo pueden ir aumentando a medida que lo requieran las necesidades. Deberá obtenerse y analizarse la información relacionada con la Carga Dinámica Total (CDT): alturas de succión y descarga y alturas totales, estáticas y dinámicas, que se tendrán bajo las diferentes condiciones de bombeo.

El número de bombas a instalar dependerá del gasto, sus variaciones y seguridad del sistema, con un mínimo de dos bombas para el 100 % del gasto de proyecto, cada una. Inclusive se aconseja tener equipos de bombeo para manejar el 200 % del gasto de diseño de la estación. Este valor puede reducirse, pero en general es conveniente un valor mínimo de 150 % del gasto de diseño.

Motores eléctricos.

Considerar: tipo, velocidad, voltaje potencia y sobrecarga, reguladores de velocidad, corriente de

subestación eléctrica.

Considerar: tipo, capacidad, dimensiones, tableros y contactos.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tuberías, válvulas y accesorios

Consideración general a la economía. Accesibilidad para reparaciones y operación. Pendientes, apoyos, atraques, desfuegos, amortiguadores de golpe de ariete, protección contra corrosión y cargas externas.

Edificios complementarios.

Habrà de procurarse que la arquitectura y el acceso a la estación de bombeo sean funcionales y que la operación no cause molestias a la vecindad. Los materiales de muros, pisos, etcétera, tendrán que requerir poco mantenimiento. Las estaciones situadas en áreas residenciales deberán, de preferencia, ser subterráneas y muy silenciosas. El problema puede también resolverse con el uso de bombas sumergibles.

Servicios, talleres, almacén, vigilancia.

Automatización

Generalmente, las bombas para aguas residuales, utilizadas en estaciones de bombeo de transferencia, trabajan en forma intermitente, debido a la oscilación de los caudales de llegada; por esto es recomendable una operación totalmente automatizada.

Para conducir el agua captada en los colectores de la zona sur a la planta de tratamiento Arenitas, una vez ampliada, se propone construir y equipar una nueva planta de bombeo con capacidad de hasta 1500 l/s, de la que partiría un emisor de 60 pulgadas, hasta el sitio de tratamiento.

Dimensionamiento de las plantas de bombeo principales

Las plantas de bombeo principales con que cuenta el sistema de alcantarillado y saneamiento, es decir, aquellas en las que se tienen los puntos de mayor concentración de caudales, como las PBAR 1,3 y 8, que envían aguas residuales a la PTAR Zaragoza, y la PBAR 4, y PBAR 10, que hacen lo propio hacia la PTAR Las Arenitas, se encuentran en los programas de rehabilitación en ejecución a partir del 2020, con mezcla de recursos: Federación, Estado y BEIF.

Sin embargo, también es importante considerar que en los próximos 30 años se cumplirán al menos dos ciclos de vida útil de los equipos de bombeo, y quizás deberán, asimismo, adecuar o modernizar los equipamientos de control y automatización de estas plantas y de las que se construyan para dar servicio en las zonas de crecimiento al año 2050.

Las plantas de bombeo para enviar nuevos volúmenes a las plantas de Arenitas y Zaragoza tendrán que incluirse en los programas de construcción de los próximos años y seleccionar los sitios adecuados.

Plantas de bombeo para la zona de influencia de la PTAR Zaragoza

En el área de influencia de la PTAR Zaragoza se ubican como principales la PBAR Zaragoza, que concentra los volúmenes de una extensa área de la zona de expansión, ubicada al suroeste de la ciudad, y la PBAR Santa Isabel que es más pequeña, pero auxiliaría a una zona de expansión aldeaña a Santa Isabel en el poniente de la ciudad.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La PBAR Zaragoza, ubicada en el área del ejido Zaragoza, en el poniente de la ciudad, es la planta de bombeo que mayor caudal enviará a la planta de tratamiento Zaragoza, por el emisor Zaragoza, que es el conducto que transporta el agua de esta planta y tiene una longitud de 1325 m con un diámetro de 76 cm (36 pulgadas).

La comparación de alternativas se hará solamente sobre los materiales de las tuberías de los emisores a presión, ya que de ello dependerán, además del costo de inversión, los costos de operación y mantenimiento.

La alternativa 1 de la PBAR Zaragoza y de la PBAR Santa Isabel será el uso de tubería de PVC en los emisores correspondientes.

La alternativa 2 de ambas PBAR, Zaragoza y Santa Isabel, será el uso de tubería de PEAD en los emisores correspondientes.

Para todos los casos la potencia requerida en HP se calculará con la expresión $HP = \gamma QH / 76n$: donde

γ = densidad del agua a bombear:

Q = caudal de bombeo

H = Carga dinámica total (pérdidas por fricción + pérdidas locales)

n = eficiencia del conjunto motor bomba

Dimensionamiento de las plantas de bombeo del área de influencia de la PTAR Zaragoza, zonas de saneamiento Mexicali III.

Tabla 55. Potencia requerida en la PBAR Zaragoza en la zona de expansión Mexicali III.

Material del emisor <<	PVC (alternativa 1)			PEAD (alternativa 2)		
Caudales	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
	399.24	866.36	1,299.54	399.24	866.36	1,299.54
Carga estática (m)	1					
Carga dinámica (m)	1.95	5.47	11.05	2.69	8.94	18.87
Potencia requerida (HP)	15.015	91.43	277.21	20.79	149.50	473.32

Fuente: elaboración propia

Tabla 56. Datos del emisor de la PBAR Zaragoza en la zona de crecimiento (Mexicali III)

TUBERIA EMISOR	MATERIAL	Diámetro (pulgadas)	LONGITUD (m)
ZARAGOZA (PVC))	PVC	36	4025
ZARAGOZA (PEAD)	PEAD	36	4025

Fuente: elaboración propia

Planta de bombeo Santa Isabel: esta planta de bombeo, aunque es relativamente pequeña, permitiría atender una zona de crecimiento que en parte ya cuenta con infraestructura.

Tabla 57. Potencia requerida PBAR Santa Isabel en el área de expansión al 2050, Mexicali III

Material del tubo	PVC (alternativa 1)			PEAD (alternativa 2)		
Caudales	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
	66.44	144.18	216.28	66.44	144.18	216.28



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Material del tubo	PVC (alternativa 1)			PEAD (alternativa 2)		
Carga estática (m)	1					
Carga Dinámica (m)	1.85	5.00	10.02	2.51	8.11	17.03
Potencia requerida (HP)	2.37	13.88	41.8	3.22	22.53	71.08

Fuente: elaboración propia

Tabla 58. Datos del emisor de la PBAR Santa Isabel en la zona de crecimiento (Mexicali III)

NOMBRE EMISORL	MATERIAL	Diámetro (pulgadas)	Longitud (m)
EMISOR CAMINO NACIONAL	PVC	20.00	5,670.0
EMISOR CAMINO NACIONAL	PEAD	20.00	5,670.0

Fuente: elaboración propia

Plantas de bombeo para la zona de influencia de la PTAR Arenitas

Considerando la ubicación de las áreas de captación de las que se concentrarán las aguas residuales, se plantearon dos alternativas a dimensionar:

Alternativa 1

Construir una PBAR en la que se concentre la totalidad de los caudales de las áreas de expansión y crecimiento al año 2050 de la zona de saneamiento Mexicali IV, que corresponde a una amplia zona que rodea la actual mancha por el noreste, sureste, sur y suroeste. Esta PBAR se ubicaría a un costado de la carretera a San Felipe, un poco al sur del cruce de esta con el río Nuevo, cuyo emisor se localizaría paralelamente al actual emisor que sale de la PBAR 4.

Para esta alternativa el emisor para enviar las aguas residuales concentradas en la PBAR-Sur tendría una longitud de 18.400 m y un diámetro de 1.22m (48 pulgadas) en PVC o de 1.52 (60 pulgadas) si es en PEAD.

Tabla 59. Potencia requerida en la nueva PBAR Sur en la zona de expansión por crecimiento Mexicali IV

Material del emisor-Sur	PVC (48 pulgadas) (opción 1)			PEAD (60 pulgadas) (opción 2)		
	Qmed (l/s)	Qmax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)	Qmed (l/s)	Qmax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)
Caudales	1,291.15	2,801.79	4,202.69	1,291.15	2,801.79	4,202.69
Carga estática (m)	26					
Carga dinámica (m)	35.76	72.00	129.51	43.36	107.78	210.01
Potencia requerida (HP)	890.34	3890.66	10,496.79	1,079.41	5,824.03	17,021.89

Fuente: elaboración propia

Tabla 60. Datos del emisor de la PBAR-Sur en la zona de crecimiento (alternativas 1 y 2 Mexicali IV)

MATERIAL Sur	TUBERÍA	Diámetro (pulgadas)	Longitud (m)
EMISOR SUR	PVC	48.00	18,400.00
EMISOR SUR	PEAD	60.00	18,400.00

Fuente: elaboración propia

La alternativa 2

Consiste en construir dos plantas de bombeo de aguas residuales, en lugar de una sola, de tal forma que el caudal bombeado por ambas plantas sea equivalente a la PBAR que se describe en la alternativa 1.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Una de estas plantas se localizaría en el mismo sitio que la PBAR descrita en la alternativa 1, y la segunda planta se ubicaría en las inmediaciones del ejido Puebla, cerca de la PBAR 10 existente.

Para esta alternativa se considera que cada PBAR tendría su propio emisor, el primero de 18.4 kilómetros, y el segundo de 16.5 km.

Tabla 61. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Puebla, para los diferentes caudales

Material del tubo	PVC (1.07 m)(42 pulgadas)			PEAD (1.22 m) (48 pulgadas)		
Caudales	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
	1,291.15	2,801.79	4,202.69	1,291.15	2,801.79	4,202.69
Carga estática (m)	24					
Carga dinámica (m)	29.17	48.39	78.73	33.20	67.36	121.29
Potencia requerida (HP)	394.08	1419.38	3,459.48	448.83	1,975.78	5,329.94

Fuente: elaboración propia

Tabla 62. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Choropo, para los diferentes caudales

Material del tubo	PVC (1.07 m)(42 pulgadas)			PEAD (1.22 m) (48 pulgadas)		
Caudales	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
	592.00	1,283.60	216.28	66.44	144.18	216.28
Carga estática (m)	26					
Carga dinámica (m)	30.13	45.83	69.62	33.33	60.45	103.55
Potencia requerida (HP)	344.17	1,123.50	2586.3	380.83	1,496.64	3846.64

Fuente: elaboración propia

Tabla 63. Datos del emisor de la PBAR-Sur Choropo en la zona de crecimiento

TUBERIA	Diámetro (pulgadas)	LONGITUD (km)
EMISOR SUR CHOROPO PVC	42	18.4
EMISOR SUR-PUEBLA PVC-	42	16.5

Fuente: elaboración propia

3.2.3 Dimensionamiento de alternativas para plantas de tratamiento

Las plantas de tratamiento existentes seguirán en operación y serán la infraestructura en la que se de soporte al tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Mexicali.

La PTAR Zaragoza que comenzó operaciones en el año 1969, y fue rehabilitada en el año 2005, cumplió con los requisitos de la normatividad después de la citada rehabilitación; sin embargo, en años recientes en ocasiones incumple con el parámetro de nitrógeno total, por lo que se requiere una revisión de esta planta con el objetivo de optimizar las estructuras y los procesos utilizados para determinar los ajustes o modificaciones que garanticen un funcionamiento tal que permita a la planta cumplir con los parámetros estipulados en la NOM-001-ECOL-1996 en donde se establecen los límites admisibles en el efluente descargado.

En el caso de la PTAR Las Arenitas, se encuentra en estudio su ampliación para incrementar su capacidad actual, de 840 l/s a 1,900 l/s, lo cual implicará obviamente la construcción de infraestructura para conducir los volúmenes adicionales, es decir un nuevo emisor y una planta de



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

bombeo que permita enviar los caudales de incremento, y complementariamente el emisor del influente.

Descripción de los procesos incluidos en cada una de las opciones analizadas:

Todas las alternativas conllevan un pretratamiento que es un proceso para separar los sólidos de mayor tamaño como basura, plásticos mediante diversas tramas de enrejado o tamizado, usando para ello tamices de diverso grosor, que de manera general son:

- **Rejas gruesas:** con separación entre barras aproximadamente de 5 cm, con inclinación de 30°.
- **Rejas medianas:** separación entre barras de 2 a 5 cm, con inclinación de 45°.
- **Rejillas:** separación de barras 1 a 2 cm, con inclinación de las barras de 70°.
- **Cedazos finos:** separación del orden de 1/4" a 1/32" (6mm a 1mm de separación).

Luego se utilizan desarenadores para retirar partículas minúsculas de arena que pueden estar disueltas en ella y que los tamices no pueden filtrar.

Es común que el pretratamiento se realice antes de las plantas de tratamiento, como es el caso para la PTAR Arenitas, ya que el agua llega por emisores a presión, por lo que el pretratamiento se realiza en las plantas de bombeo.

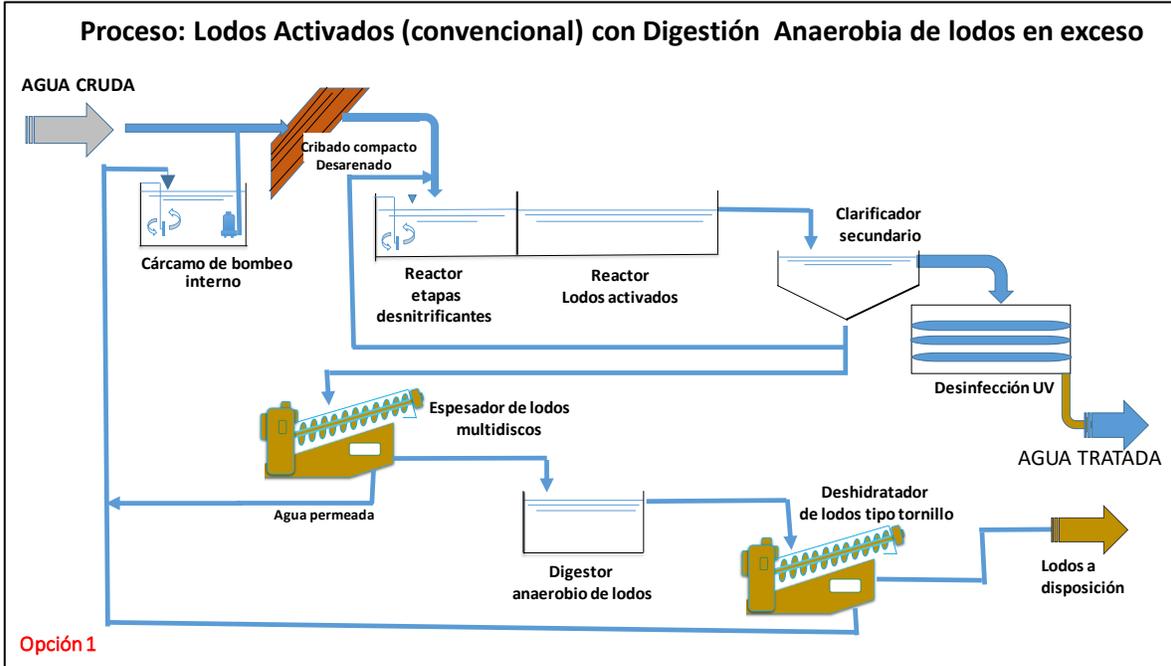
La descripción de los procesos y sus arreglos esquemáticos se presentan en las siguientes tablas e ilustraciones.

Tabla 64. Procesos de la alternativa 1 para la ampliación de la PTAR Arenitas

Alternativa 1	Nombre de Principales Procesos
5 módulos de 380 l/s	+ Lodos Activados (convencional) + Digestión anaerobia de lodos en exceso
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas.
Tratamiento primario	No aplica
Tratamiento secundario	Reactor de lodos activados en Concreto armado Aireación por turbosopladores y Difusores tipo panel.
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia.
Producción de energía	750 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión Anaerobia Desaguado tipo volute
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$ 0.47/m ³
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$0.92/m ³

Fuente: Información proporcionada por la CESPM

Ilustración 42. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 1, proyecto de ampliación PTAR Arenitas



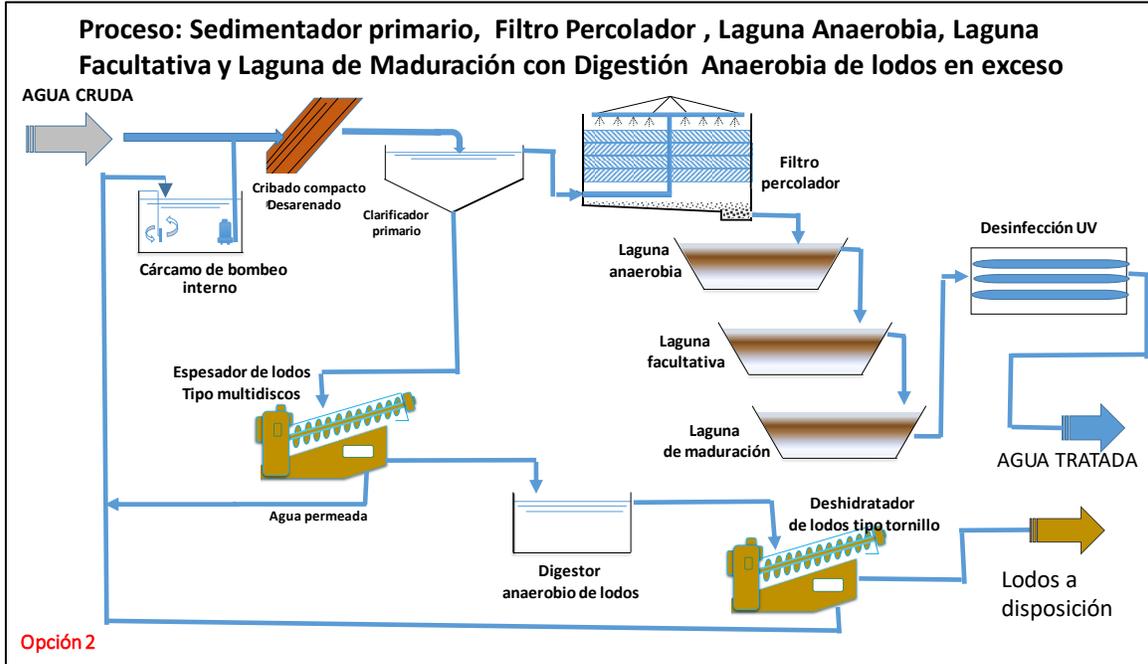
Fuente: información proporcionada por la CESP

Tabla 65. Procesos de la alternativa 2 para la ampliación de la PTAR Arenitas

Alternativa 2	Nombre de Principales Procesos
5 módulos de 380 l/s	+ Sedimentador primario + Filtro Percolador + Lagunas anaerobia, facultativa y de maduración + Digestión anaerobia de lodos en exceso
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas.
Tratamiento primario	Sedimentador primario circular
Tratamiento secundario	Filtro percolador Laguna anaerobia Laguna facultativa Laguna de maduración
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia.
Producción de energía	750 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión anaerobia Desaguado tipo volute
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$ 0.24/m ³
Costo de operación sin generación de energía eléctrica	\$0.58/m ³

Fuente: Información de la CESP

Ilustración 43. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 2, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas



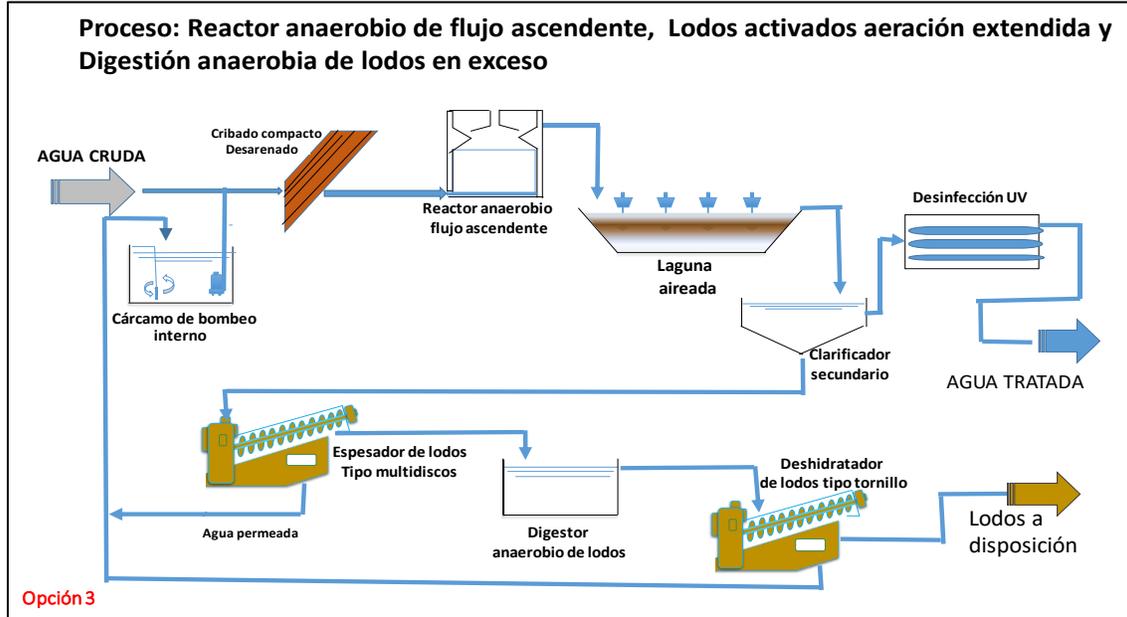
Fuente: Información de la CESPM

Tabla 66. Procesos de la alternativa 3 para la ampliación de la PTAR Arenitas

Alternativa 3	Nombre de Principales Procesos
4 módulos de 475 l/s	+ Reactor anaerobio de flujo ascendente + Lodos activados aeración extendida + Digestión anaerobia de lodos en exceso
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas.
Tratamiento primario	No aplica
Tratamiento secundario	Reactor anaerobio de flujo ascendente Lodos activados aireación extendida
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia
Producción de energía	350 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión anaerobia Desaguado tipo volute
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$ 0.51/m3
Costo de operación sin generación de energía eléctrica	\$0.56/m3

Fuente: Información de la CESPM

Ilustración 44. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 3, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas



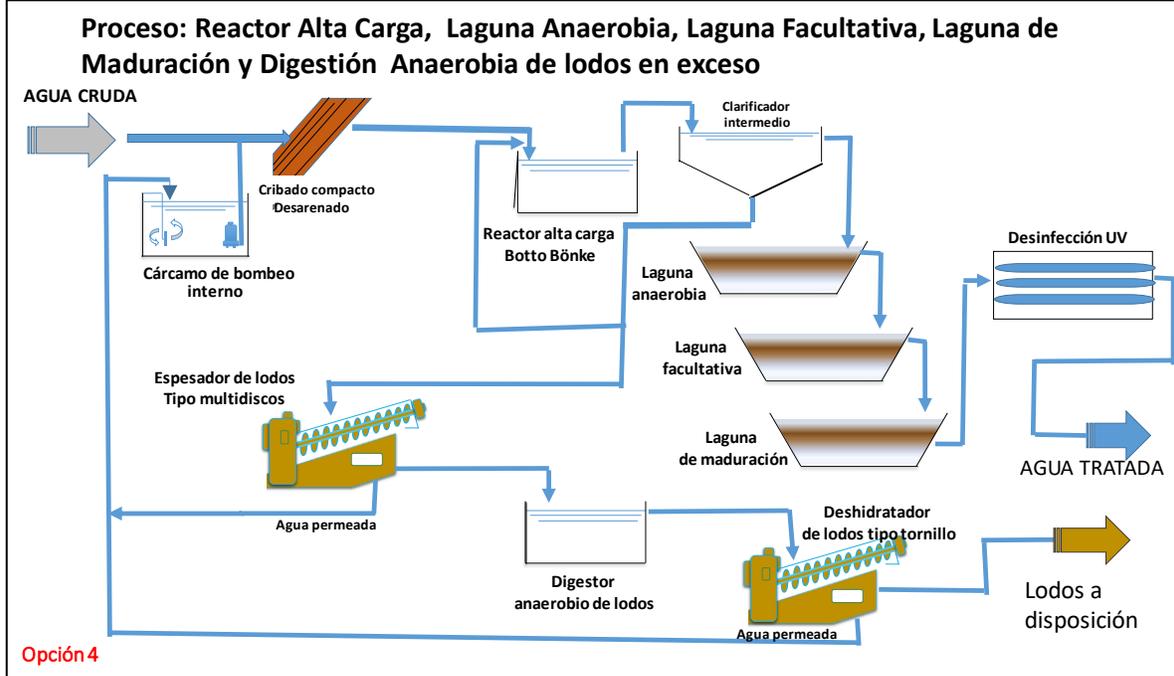
Fuente: Información de la CESPM

Tabla 67. Procesos de la alternativa 4 para la ampliación de la PTAR Arenitas

Alternativa 4	Nombre de Principales Procesos
5 módulos de 380 l/s c/u	+ Reactor alta carga + Laguna anaerobia, laguna facultativa y laguna de maduración + Digestión anaerobia de lodos en exceso
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas
Tratamiento primario	No aplica
Tratamiento secundario	Reactor alta carga Laguna anaerobia Laguna facultativa Laguna de maduración
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia
Producción de energía	1,000 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión Anaerobia Desaguado tipo volute
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$ 0.20 /m3
Costo de operación sin generación de energía eléctrica	\$ 0.54 /m3

Fuente: Información de la CESPM

Ilustración 45. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 4, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas



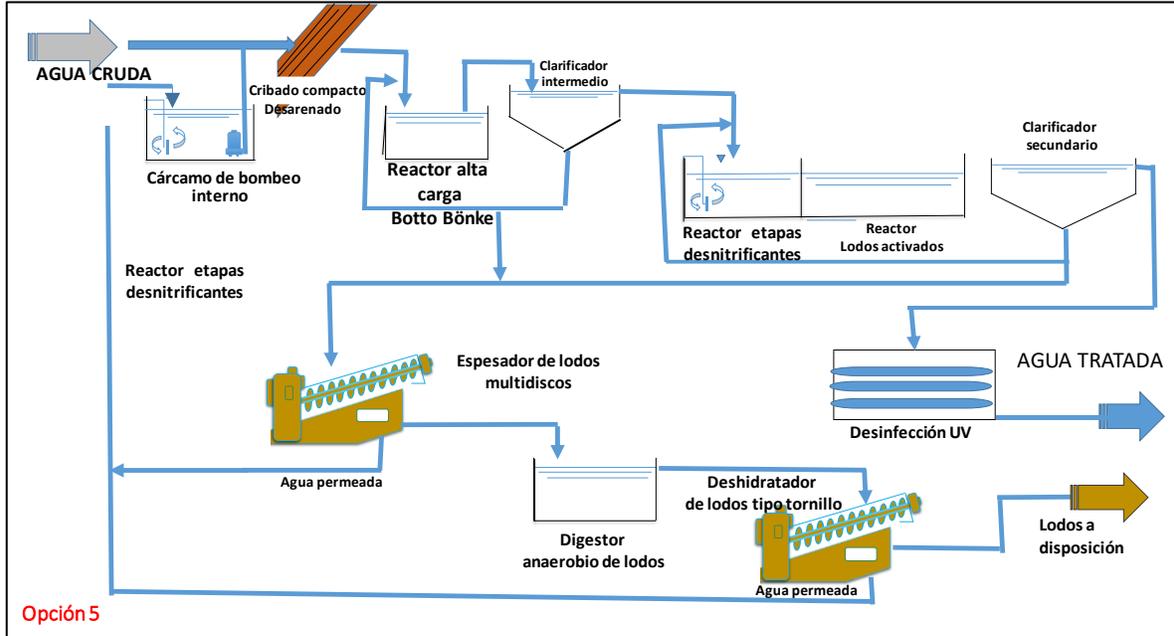
Fuente: Información de la CESPМ

Tabla 68. Procesos de la alternativa 5 para la ampliación de la PTAR Arenitas

Alternativa 5	Nombre de principales procesos
5 módulos de 380 l/s	+ Reactor alta carga/baja carga + Wetlands + Digestión anaerobia de lodos en exceso
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas.
Tratamiento primario	No aplica
Tratamiento secundario	Reactor alta carga Reactor de lodos activados de baja carga Wetlands
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia.
Producción de energía	2,000 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión anaerobia Desaguado tipo volute
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$ 0.11/m3
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$0.79/m3

Fuente: Información de la CESPМ

Ilustración 46. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 5, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas



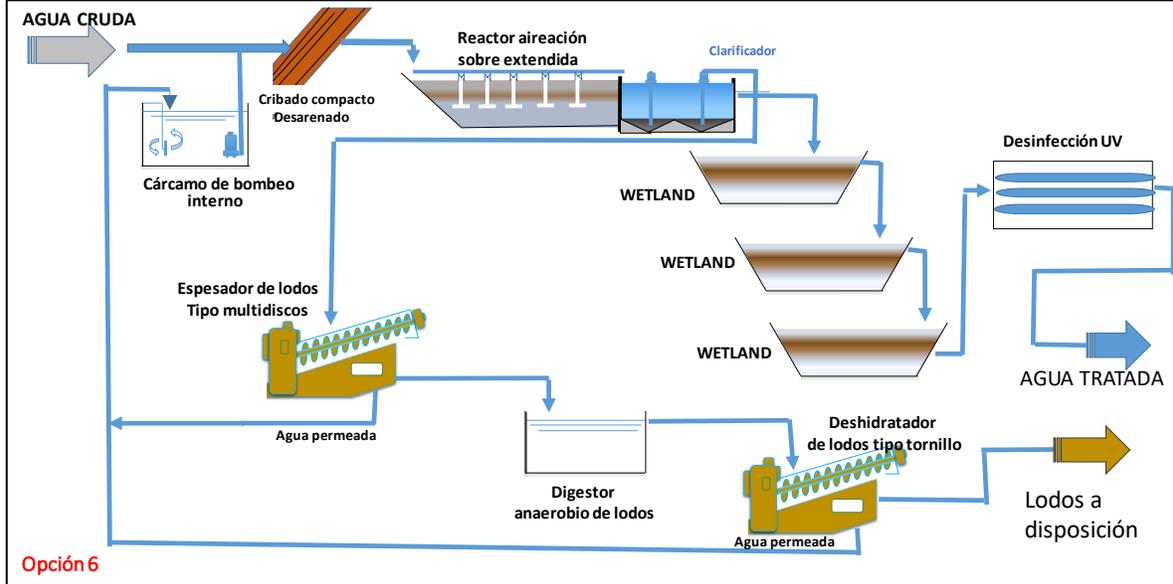
Fuente: Información de la CESPM

Tabla 69. Procesos de la alternativa 6 para la ampliación de la PTAR Arenitas

Alternativa 6	Nombre de principales procesos
3 módulos de 634 l/s	+ Aeración sobre extendida + Wetlands + Digestión anaerobia de lodos en exceso
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas.
Tratamiento primario	No aplica
Tratamiento secundario	Reactor de lodos activados con aireación sobre extendida Turbo soplador Difusores tipo panel Sedimentador secundario (rectangular)
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia
Producción de energía	750 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión Anaerobia Desaguado tipo volute
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$ 0.61/m3
Costo de operación con generación de energía eléctrica	\$0.88/m3

Fuente: Información de la CESPM

Ilustración 47. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 6, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas



Fuente: Información CESPM

3.2.4 Dimensionamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

La disponibilidad cada vez más limitada del recurso hídrico ha creado la necesidad de buscar nuevas fuentes de suministro de agua y una mejor gestión de los recursos para suplir las necesidades de la población y disminuir el impacto sobre el medio ambiente. Las aguas residuales aparecen entonces como una opción para el uso eficiente de agua con beneficios adicionales.

Las características técnicas de los proyectos de reutilización son variables de unos casos a otros, dependiendo fundamentalmente del tipo de reutilización que se pretenda, de las condiciones específicas de disponibilidad de agua residual y de los usuarios del agua regenerada.

A futuro pudiera derivar la necesidad de construir plantas de tratamiento que cubran la necesidad de aguas regeneradas; actualmente el organismo operador cuenta con tres sistemas de tratamiento a base de lodos activados en la ciudad, ubicados en instituciones educativas (CETYS, UABC, ITM) con capacidades de 7, 10 y 7 l/s, respectivamente, además del tratamiento terciario que se da en la PTAR Zaragoza.

De esta última se extiende una línea morada que se utiliza principalmente para el riego de camellones y áreas verdes; tiene una extensión aproximada de 25 km. Su trayectoria sigue un tramo de la salida por la carretera a Tijuana y en dirección contraria hacia el bosque de la ciudad, pasando por las instalaciones de la Comisión Estatal del Agua. Aproximadamente de un sitio en el cruce de Montemorelos y bulevar Lázaro Cárdenas partiría una prolongación de la línea morada actual rumbo al bulevar López Mateos, para proseguir por esta vía hasta el sureste y llegar a una zona con clientes potenciales, que incluye zona industrial, mixta comercial, cementerios y campos deportivos entre otros.



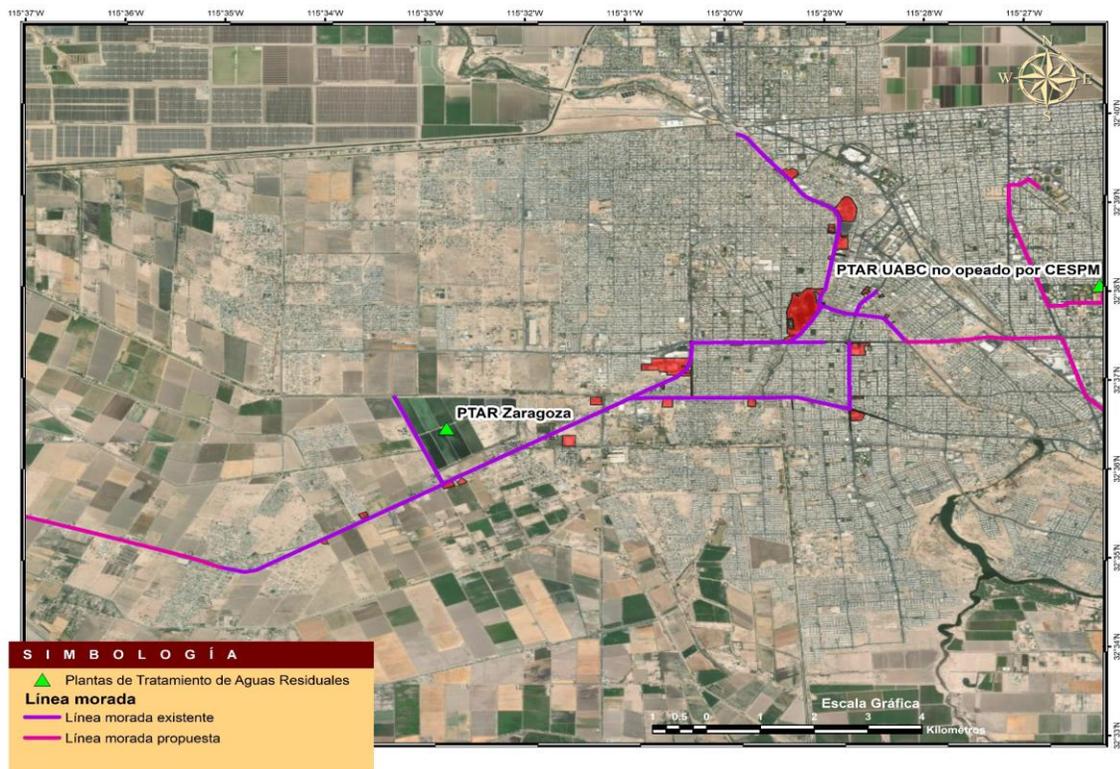
COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La línea morada y su prolongación, así como el potencial de una de las zonas, se muestran en las ilustraciones 48 y 49.

Asimismo, de requerirse una línea morada, al haber demanda de usuarios potenciales es factible construir una que los atienda, a partir de cada una de las tres plantas que se tienen en las instituciones educativas, como el CETYS, la UABC y el ITM, y aún construir alguna planta de tratamiento nueva para satisfacer demanda adicional.

Para que crezca la demanda tendrán que hacerse campañas y posiblemente instrumentar un mayor reúso del agua residual tratada, mediante alguna reglamentación o algún otro instrumento regulatorio, para que donde se utilice agua que no requiera satisfacer requisitos de mayor calidad, como es el caso del riego de áreas verdes o campos deportivos, no se use agua potable para regarlos.

Ilustración 48. Línea morada existente y su prolongación



Fuente: elaboración propia a partir de información del INEGI

En la ciudad de Mexicali son potencialmente demandantes de aguas residuales tratadas algunos usos y sectores:

Uso urbano o municipal:

Este uso cubre diversas aplicaciones que no necesitan agua de calidad potable, entre los que pueden citarse, por ejemplo, el riego de parques y jardines, camellones, limpieza de calles, sistemas contraincendios y limpieza de camiones recolectores de basura.

Uso agrícola:

Es el uso que más agua demanda, y es el más considerado en proyectos de reutilización; actualmente es uno de los usos que ya se tiene en ambas plantas de tratamiento.

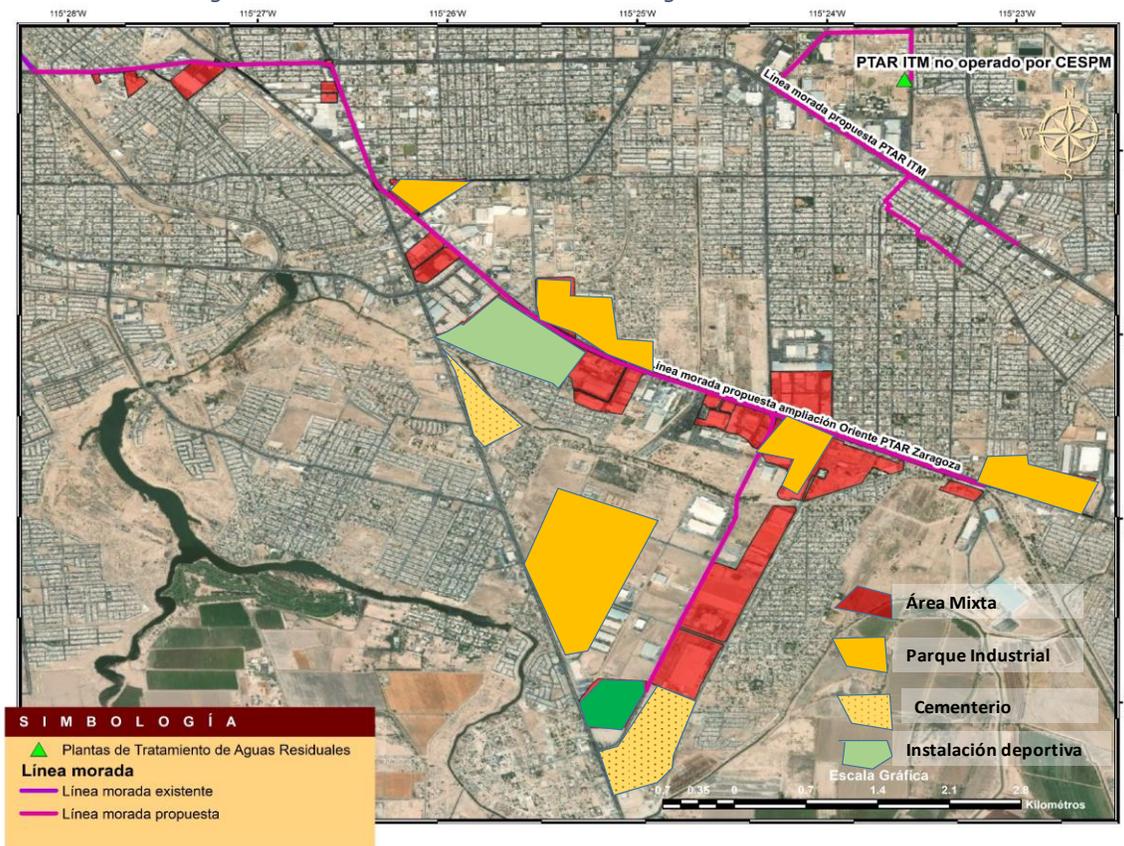
Uso industrial:

La reutilización en usos industriales representa un importante mercado potencial para el agua regenerada. Las industrias cuyos procesos no requieran aguas de alta calidad, y aquellas otras que necesitan aguas de mejor calidad y que se encuentran localizadas en el área de influencia de cada PTAR.

Usos en servicios como riego de parques deportivos, recreativos y parques industriales:

Los distintos usos recreativos del agua regenerada comprenden desde estanques artificiales, riego de instalaciones de clubes, campos de golf, fuentes ornamentales e instalaciones y campos deportivos, como los de fútbol y béisbol, o bien áreas verdes de parques industriales. De este último tipo de instalaciones existen varias en la ciudad de Mexicali.

Ilustración 49. Prolongación de la línea morada de la PTAR Zaragoza a una zona del sureste de la ciudad



Fuente: elaboración propia, a partir de información del INEGI

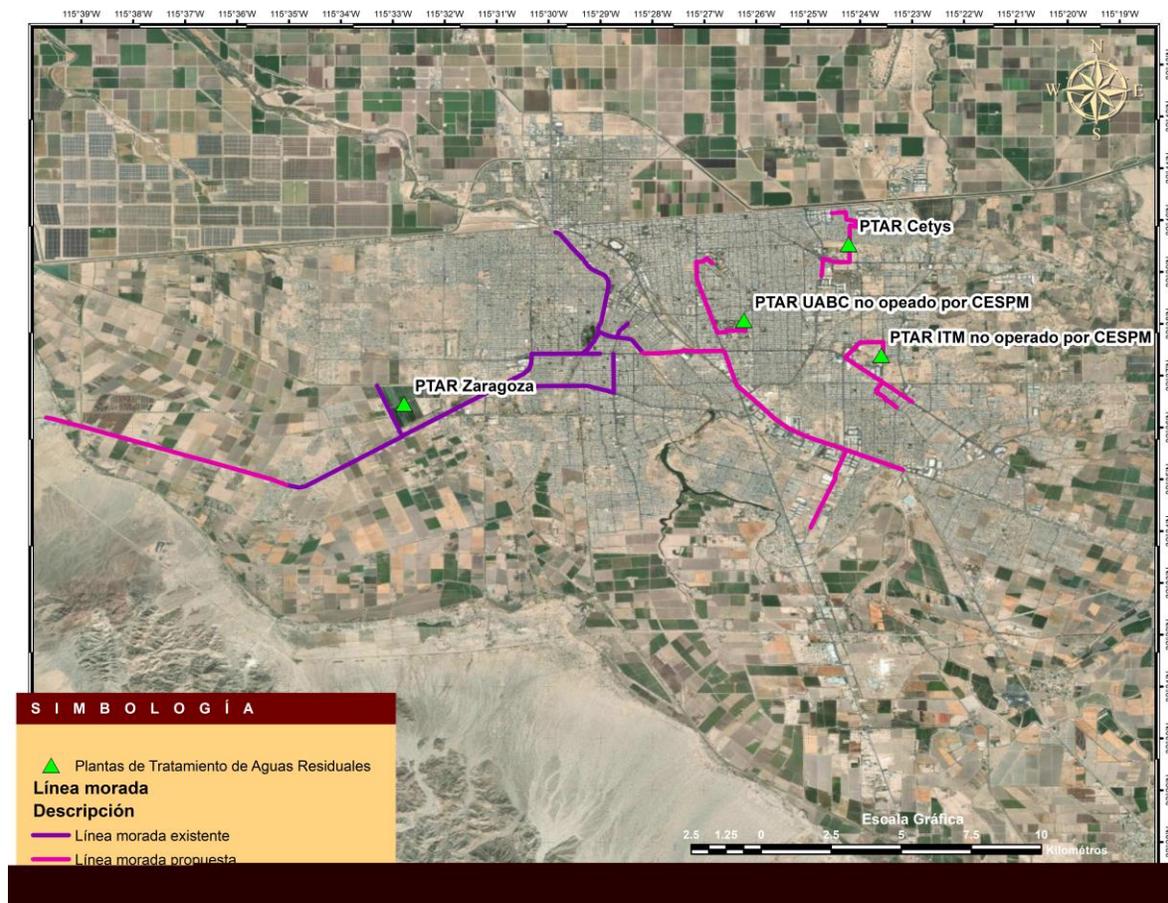
En la ilustración 49 se precian algunos tipos de instalaciones, potencialmente usuarios de aguas residuales tratadas, ante los que puede promocionarse el uso de estas aguas, así como la

prolongación de la línea morada, de la cual podrían derivarse líneas cortas hacia las instalaciones interesadas en la utilización de las aguas en mención.

Si la demanda es mayor, como se ha planteado podría convenirse con quien corresponda la utilización de las aguas residuales tratadas en las instituciones educativas donde existe planta de tratamiento, como son la UABC, el Instituto Tecnológico de Mexicali y el CETYS, de los que saldría respectivamente una línea morada, más corta y de menor caudal, pero que en conjunto ya representaría un caudal adicional de entre 15 y 20 l/s.

En la siguiente ilustración se muestra una posible distribución de líneas moradas que cubren zonas importantes de la ciudad.

Ilustración 50. líneas moradas.



Fuente: elaboración propia, a partir de información del INEGI

Dimensionamiento de alternativas

Las alternativas planteadas tendrían un desarrollo conforme a lo descrito a continuación:

Alternativa 1. Prolongar la línea morada que parte de la PTAR Zaragoza y que actualmente tiene un desarrollo general en diferentes direcciones de 25 km. La planta de tratamiento terciario de la que parte la línea morada tiene actualmente una capacidad de 15 l/s, por lo que requiere



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

incrementarse la capacidad de la planta de tratamiento terciario en otros 15 l/s, y contar con un total de 30 l/s.

La prolongación de la línea se haría hacia el suroriente hasta la avenida Montemorelos, con un desarrollo aproximado de 9675 m, con diámetro de 10.16 cm (6 ") y una derivación en el extremo de 2995 m, también un diámetro de 10.16 (6").

Alternativa 2. Consiste en derivar líneas de las instalaciones de las plantas de tratamiento, ubicadas en la UABC y el CETYS hacia las zonas con posibilidades de incorporar usuarios de aguas residuales tratadas, lo que implica derivar una línea morada de las instalaciones de la UABC, con tubería PVC de 10.16 (4") de diámetro, y 10.94 km de longitud, a la cual se le incorporaría una línea de PVC de 5.08 cm (2 pulgadas) de diámetro, con el fin de disponer de al menos 13.75 l/s, para lo cual se consideraría una pequeña ampliación de la PTAR de la UABC.

3.2.5 Dimensionamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

La reutilización de aguas residuales en diversos usos dentro de la zona urbana, como son la industria, áreas verdes de los parques industriales, campos de clubes deportivos, campos de golf y lavados de autos, entre otros, representa un importante mercado potencial para el agua regenerada. Las áreas deportivas e industrias cuyos procesos no requieran aguas de alta calidad, y aquellas otras que necesitan aguas de mejor calidad, localizadas en el área de influencia de cada PTAR, son candidatas ideales para incorporar la reutilización de aguas residuales tratadas que pueden adquirir a menor precio que el agua potable, de manera que la CESPMP pueda obtener ingresos de la venta de agua residual tratada.

De lo anterior puede derivar la necesidad de construir plantas de tratamiento que cubran la necesidad de aguas regeneradas; actualmente el organismo operador cuenta con tres sistemas de tratamiento a base de lodos activados en la ciudad, ubicados en instituciones educativas (CETYS, UABC, ITM) con capacidades de 7, 10 y 7 l/s, respectivamente. Sin embargo, el mayor potencial por ahora se tiene en la PTAR Zaragoza.

El otro uso potencial de las aguas residuales tratadas es el desarrollo del parque metropolitano Arenitas, que cuenta con áreas arboladas, un vivero y área recreacional, al que se le agregaría infraestructura diversa de jardines y lugares para pláticas sobre el cuidado del medio ambiente, que es un proyecto que tanto las administraciones municipales, como las estatales, han venido impulsando.

La inversión estimada para este proyecto es de 52.74 mdp.

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

Los proyectos considerados a nivel de identificación proporcionan información con un gran margen de incertidumbre. Es importante, sin embargo, considerar el hecho de que las alternativas y



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

proyectos involucrados inciden en importantes aspectos de la realidad regional sobre los que no existen criterios definidos de prioridad y valuación.

Por todo lo anterior, pareciera conveniente abordar un ejercicio de evaluación que, dentro de la simplificación que el nivel de análisis permita, pueda hacerse una presentación sintética, más que una presentación amplia, donde puede observar en forma desagregada el impacto que las alternativas y proyectos tienen sobre diferentes aspectos que refieren distintos impactos del proyecto.

Cuánto mayor sean los requerimientos, y cuanto más largo sea el plazo de ejecución de los mismos, menor será el valor que dichos parámetros adjudiquen al proyecto. Inversamente, el parámetro restante considera el ámbito de influencia de la obra de infraestructura, asignando valores descendientes, según la importancia y urgencia que tengan las obras.

El criterio de castigar las obras de infraestructura de más largo plazo responde exclusivamente al hecho de no disponer de estimaciones coherentes sobre dimensiones y costos.

Se ha tratado de reconocer el carácter beneficioso de las obras de infraestructura de saneamiento, adjudicando una ponderación positiva al radio de influencia de las mismas.

Los atributos que se describen a continuación se plantean como aquellos que pueden darnos una guía, en el sentido de poder distribuir las inversiones asociadas a cada tipo de infraestructura en los diferentes plazos de programación.

1. Posibilidad de incremento en la cobertura de servicio en el mediano plazo.
2. Grado de efectos multiplicadores y o encadenamiento con otras zonas de crecimiento.
3. Accesibilidad al saneamiento de la zona en el corto plazo, considerando su ubicación.
4. Mejora de zona habitada
5. Posibilidades de recuperación de la inversión pública.
6. Grado de riesgo de derrame transfronterizo.

3.3.1 Evaluación comparativa de costos de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción

Las opciones de obras de captación y conducción propuestas para dar cobertura a la demanda futura de saneamiento tomarán en cuenta los factores que pueden modificar su costo y durabilidad, así como las relativas a la ubicación y al tipo de material a utilizar.

El aspecto de ubicación se consideró para proponer la configuración de la red y para la selección del tipo de material; se considerará el costo y aspectos cualitativos del comportamiento del material de los conductos y la comparación de los costos capitalizados.

Las alternativas planteadas para colectores principales, y obras de conducción, se orientan a considerar capacidad y resistencia, ya que la ubicación está determinada en una gran medida por los núcleos urbanos en formación y la traza general de las vialidades y accesos a los mismos y, por supuesto, la topografía en lo que respecta a la pendiente general del terreno.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Alternativa 1

Se refiere a utilizar tuberías de PVC en los nuevos conductos a instalar, material predominante en las conducciones actuales, además de tratarse de uno de los materiales de uso común porque cumple con atributos de resistencia, facilidad de instalación y amplia variedad de diámetros y capacidad de carga hidráulica.

Alternativa 2

La alternativa 2 se refiere a utilizar tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD), como el material que compite en algunos aspectos con las tuberías de PVC y, en algunos otros, lo supera.

Ambas alternativas son de materiales termoplásticos, utilizados en el mundo en proyectos de conducción e instalación, reconocidos por su versatilidad y resistencia; existen diferencias significativas entre uno y otro material.

Inicio de la comparación:

Se considerará la configuración de colectores descrita, para incorporar las áreas urbanas que carecen de servicio de alcantarillado, y de aquellas que se vayan desarrollando.

Costo índice por kilómetro para diferentes diámetros y materiales

Como primer paso, se determinó el costo índice por kilómetro para diferentes diámetros de tubería, considerando los conceptos de obra del suministro e instalación, y aquellos complementarios para su puesta en operación en dos materiales de tubos; alternativa 1 (utilización de tuberías de PVC) y alternativa 2 (utilización de tuberías de PEAD), utilizando el Catálogo General de Precios Unitarios para la Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado (CONAGUA 2020).

En el análisis se consideraron los costos de los principales conceptos que afectan la construcción de un kilómetro de línea. Estos conceptos son el suministro de la tubería, excavación de zanja, protecciones, instalación, piezas especiales, rellenos, acarreo y pozos de visita, entre otros.

Con la configuración planteada para cubrir las áreas de expansión de la ciudad de Mexicali, generadas por el crecimiento urbano, los costos de inversión requeridos para cada uno de los tipos de materiales se presentan en este apartado.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 70. Precio índice por km de tubería PVC para diferentes diámetros con conceptos principales

CONCEPTO	Diámetro en pulgadas						
	18	20	24	30	36	42	48
Suministro de tubería PVC	4,545,920.00	4,912,620.00	6,024,950.00	7,901,610.00	9,008,350.00	9,802,830.00	10,427,180.00
Excavación	4,062,135.00	4,431,420.00	4,985,347.50	5,723,917.50	6,462,487.50	7,016,415.00	7,754,985.00
Apuntalamiento	150,000.00	150,000.00	200,000.00	250,000.00	350,000.00	500,000.00	600,000.00
Plantilla	19,885.80	21,693.60	24,405.30	28,020.90	31,636.50	34,348.20	37,963.80
Instalación	75,150.00	84,780.00	97,200.00	92,200.00	129,590.00	160,650.00	212,520.00
Pozos de visita	288,318.48	288,318.48	288,318.48	288,318.48	315,620.04	315,620.04	483,440.64
Relleno protección 30 cm	95,818.80	104,529.60	117,595.80	135,017.40	152,439.00	165,505.20	182,926.80
Relleno con material excavación	787,290.79	848,930.47	932,699.30	1,032,389.65	1,122,147.79	1,171,153.87	1,242,289.11
Acarreos de material sobrante	346,673.25	378,189.00	425,462.63	488,494.13	551,525.63	598,799.25	661,830.75
Piezas especiales	10,000.00	10,000.00	10,000.00	11,000.00	11,500.00	12,000.00	14,000.00
Inversión /km (pesos)	10,381,192.12	11,230,481.15	13,105,979.01	15,950,968.06	18,135,296.45	19,777,321.56	21,617,136.10
Inversión /km (millones \$)	10.38	11.23	13.11	15.95	18.14	19.78	21.62

Fuente: elaboración propia

Tabla 71. Precio índice por km de tubería PEAD para diferentes diámetros con conceptos principales

CONCEPTO	Diámetro en pulgadas						
	18	20	24	30	36	42	48
Suministro de tubería PEAD	2,031,390.37	2,322,926.29	2,383,051.51	2,792,785.28	3,082,406.43	3,724,888.53	4,153,336.60
Excavación	4,062,135.00	4,431,420.00	4,985,347.50	6,203,988.00	7,311,843.00	7,791,913.50	8,345,841.00
Apuntalamiento	150,000.00	150,000.00	200,000.00	250,000.00	350,000.00	500,000.00	600,000.00
Plantilla	19,885.80	21,693.60	24,405.30	30,371.04	35,794.44	38,144.58	40,856.28
Instalación	80,150.00	89,780.00	97,200.00	97,200.00	134,590.00	165,650.00	217,520.00
Pozos de visita	288,318.48	288,318.48	288,318.48	288,318.48	315,620.04	315,620.04	483,440.64
Relleno protección 30 cm	95,818.80	104,529.60	117,595.80	146,341.44	172,473.84	183,797.88	196,864.08
Relleno con material excavación	787,290.79	848,930.47	932,699.30	1,118,977.17	1,269,630.07	1,300,597.20	1,336,939.71
Acarreos de material sobrante	346,673.25	378,189.00	425,462.63	529,464.60	624,011.85	664,982.33	712,255.95
Piezas especiales	10,000.00	10,000.00	10,000.00	11,000.00	11,500.00	12,000.00	14,000.00
Inversión /km (pesos)	7,871,662.49	8,645,787.44	9,464,080.52	11,468,446.01	13,307,869.67	14,697,594.05	16,101,054.26
Inversión /km (millones \$)	7.87	8.65	9.46	11.47	13.31	14.70	16.10

Fuente: elaboración propia

Los costos de inversión asociados a la alternativa 1, que se refiere a la utilización de tuberías de PVC en la red de colectores, son por 1,938.44, mdp como se detalla en la tabla 72.

Los costos de inversión asociados a la alternativa 2, que se refiere a la utilización de tuberías de PEAD en la red de colectores, son por 1,570.57 mdp, como se detalla en la tabla 73.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 72. Inversiones requeridas en la red de colectores y subcolectores, área de influencia de la PTAR Arenitas y Zaragoza al año 2050 (material PVC)

ZONA	TUBERIA_NOMBRE	Diámetro (pulgadas)	LONGITUD	costo/ km (mdp)	IMPORTE (millones pesos)
AREA DE INFLUENCIA PTAR ARENITAS					
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO AUX	18	2,726.00	\$ 10.38	\$ 28.30
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 4	20	4,860.00	\$ 11.23	\$ 54.58
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 1	18	4,275.00	\$ 10.38	\$ 44.38
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 2	18	3,710.00	\$ 10.38	\$ 38.51
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 3	18	3,340.00	\$ 10.38	\$ 34.67
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 5	18	2,466.00	\$ 10.38	\$ 25.60
A-1	COLECTOR CHOROPO C	20	2,720.00	\$ 11.23	\$ 30.55
A-1	COLECTOR CHOROPO B	24	2,280.00	\$ 13.10	\$ 29.87
A-1	COLECTOR CHOROPO A	30	4,500.00	\$ 15.95	\$ 71.78
A-2	COLECTOR SUR	36	5,023.00	\$ 18.14	\$ 91.09
A-2	COLECTOR SUR B	30	3,480.00	\$ 15.95	\$ 55.51
A-2	COLECTOR SUR C	24	5,862.00	\$ 13.10	\$ 76.80
A-2	SUBCOLECTOR ROA	20	4,090.00	\$ 11.23	\$ 45.93
A-2	SUBCOLECTOR LIBRAMIENTO	20	2,113.00	\$ 11.23	\$ 23.73
A-3	COLECTOR PUEBLA	24	6,070.00	\$ 13.10	\$ 79.52
A-4	SUBCOLECTOR PUEBLA	20	4,625.00	\$ 11.23	\$ 51.94
A-4	SUBCOLECTOR FUENTES DE PUEBLA	18	3,140.00	\$ 10.38	\$ 32.60
A-5	COLECTOR NORESTE TRAMO A	30	6,370.00	\$ 15.95	\$ 101.61
A-7	SUBCOLECTOR LA PLUMA	18	4,170.00	\$ 10.38	\$ 43.29
A-7	COLECTOR NORESTE TRAMO B	24	7,826.00	\$ 13.10	\$ 102.53
A	EMISOR SUR	48	18,400.00	\$ 21.47	\$ 395.00
AREA DE INFLUENCIA PTAR ZARAGOZA					
Z-1	COLECTOR CAMINO NACIONAL	20	5,670.00	\$ 11.23	\$ 63.68
Z-2	COLECTOR PROGRESO	24	2,737.00	\$ 13.10	\$ 35.86
Z-2	Subcolector 2798 m 18 pulg	18	2,798.00	\$ 10.38	\$ 29.05
Z-2	COLECTOR PROGRESO B	20	2,898.00	\$ 11.23	\$ 32.55
Z-3	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 3	30	1,325.00	\$ 15.95	\$ 21.14
Z-3	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 2	20	3,980.00	\$ 11.23	\$ 44.70
Z-4	COLECTOR RECUERDOS B	20	5,965.00	\$ 11.23	\$ 66.99
Z-5	COLECTOR H AJA	20	4,745.00	\$ 11.23	\$ 53.29
Z-6	SUBCOLECTOR CORONITA	18	3,200.00	\$ 10.38	\$ 33.22
Z-7	SUBCOLECTOR	18	2,620.00	\$ 10.38	\$ 27.20
Z	COLECTOR A LOS RECUERDOS	36	4,025.00	\$ 18.14	\$ 72.99
	TOTAL		142,009.00		\$ 1,938.44

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 73. Inversiones requeridas en la red de colectores y subcolectores por influencia de las PTAR Arenitas y Zaragoza al año 2050 (material PEAD)

ZONA	TUBERIA_NOMBRE	Diámetro (pulgadas)	LONGITUD	costo/ km (mdp)	IMPORTE (millones pesos)
AREA DE INFLUENCIA PTAR ARENITAS					
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO AUX	18	2,726.00	\$ 7.87	\$ 21.46
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 4	20	4,860.00	\$ 8.65	\$ 42.02
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 1	18	4,275.00	\$ 7.87	\$ 33.65
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 2	18	3,710.00	\$ 7.87	\$ 29.20
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 3	18	3,340.00	\$ 7.87	\$ 26.29
A-1	SUBCOLECTOR CHOROPO 5	18	2,466.00	\$ 7.87	\$ 19.41
A-1	COLECTOR CHOROPO C	20	2,720.00	\$ 8.65	\$ 23.52
A-1	COLECTOR CHOROPO B	30	2,280.00	\$ 11.47	\$ 26.15
A-1	COLECTOR CHOROPO A	36	4,500.00	\$ 13.31	\$ 59.89
A-2	COLECTOR SUR	42	5,023.00	\$ 14.70	\$ 73.83
A-2	COLECTOR SUR B	36	3,480.00	\$ 13.31	\$ 46.31
A-2	COLECTOR SUR C	24	5,862.00	\$ 9.46	\$ 55.48
A-2	SUBCOLECTOR ROA	20	4,090.00	\$ 8.65	\$ 35.36
A-2	SUBCOLECTOR LIBRAMIENTO	20	2,113.00	\$ 8.65	\$ 18.27
A-3	COLECTOR PUEBLA	24	6,070.00	\$ 9.46	\$ 57.45
A-4	SUBCOLECTOR PUEBLA	20	4,625.00	\$ 8.65	\$ 39.99
A-4	SUBCOLECTOR FUENTES DE PUEBLA	18	3,140.00	\$ 7.87	\$ 24.72
A-5	COLECTOR NORESTE TRAMO A	30	6,370.00	\$ 11.47	\$ 73.05
A-7	SUBCOLECTOR LA PLUMA	18	4,170.00	\$ 7.87	\$ 32.82
A-7	COLECTOR NORESTE TRAMO B	24	7,826.00	\$ 9.46	\$ 74.07
A	EMISOR SUR	60	18,400.00	\$ 20.98	\$ 386.03
AREA DE INFLUENCIA PTAR ZARAGOZA					
Z-1	COLECTOR CAMINO NACIONAL	20	5,670.00	\$ 8.65	\$ 49.02
Z-2	COLECTOR PROGRESO	24	2,737.00	\$ 9.46	\$ 25.90
Z-2	SUBCOLECTOR CORONITA 2	18	2,798.00	\$ 7.87	\$ 22.02
Z-2	COLECTOR PROGRESO B	20	2,898.00	\$ 8.65	\$ 25.06
Z-3	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 36 PULC	36	1,325.00	\$ 13.31	\$ 17.63
Z-3	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 20 PULC	20	3,980.00	\$ 8.65	\$ 34.41
Z-4	COLECTOR RECUERDOS B	20	5,965.00	\$ 8.65	\$ 51.57
Z-5	COLECTOR H AJA	20	4,745.00	\$ 8.65	\$ 41.02
Z-6	SUBCOLECTOR CORONITA	18	3,200.00	\$ 7.87	\$ 25.19
Z-7	SUBCOLECTOR	18	2,620.00	\$ 7.87	\$ 20.62
Z	COLECTOR A LOS RECUERDOS	42	4,025.00	\$ 14.70	\$ 59.16
	TOTAL		142,009.00		\$ 1,570.57

Fuente: elaboración propia

Costos de operación del sistema de colectores para cada tipo de material de las tuberías:

Costos de operación y mantenimiento anuales en la nueva red primaria (material PVC)



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 74. Costos de operación y mantenimiento anual para la nueva red primaria (material PVC)

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	IMPORTE (millones de pesos)	
			Mes	año
Personal	30.0	PERSONA	0.600	7.200
Operación vehículos	10.00	VEHÍCULOS	0.150	1.800
Limpieza de pozos de visita	1,420.00	POZOS	0.118	1.416
Materiales y equipo diversos	1	LOTE	0.200	2,400
				12.816

Fuente: elaboración propia

Costos de operación y mantenimiento anuales en la nueva red primaria (material PEAD)

Tabla 75. Costos de operación y mantenimiento anual para la nueva red primaria (material PEAD)

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	IMPORTE (pesos)	
			Mes	año
Personal	40.0	PERSONA	0.800	9.600,
Operación vehículos	10.00	VEHÍCULOS	0.150	1.800
Limpieza de pozos de visita	1,420.00	POZOS	0.118	1.416
Materiales diversos	1	LOTE	0.400	4.800
				17.616

Fuente: elaboración propia

Costos de operación y mantenimiento anual sistema PVC= \$ 12.82 mdp anuales

Costos de operación y mantenimiento anual sistema PEAD = \$ 17.62 mdp anuales

Comparación de alternativas

Para comparar ambas alternativas se utilizó el método del costo capitalizado (CC o P), el cual hace referencia directa al valor presente de un proyecto cuya vida útil durará para siempre, o que se considera en forma perpetua, como es el caso de los sistemas de distribución de servicios vitales.

La fórmula para calcular el costo capitalizado (CC)

$$CC=A/i$$

tasa de interés anual	i=	PVC	10%	PEAD	10%
COSTO O&M (millones de pesos)	A	PVC	12.82	PEAD	17.62
ciclo de vida (años)	n	PVC	50	PEAD	50

Se supone que a lo largo de la vida útil de las tuberías se requerirán al menos dos inversiones puntuales al año 20 y 40 del periodo considerado, debido a rehabilitaciones en el sistema, para un sistema con tuberías con PVC y para el caso de la tubería PEAD.

Para traer los costos al presente, el procedimiento seguido al calcular el costo capitalizado de una secuencia infinita de flujos de efectivo es el siguiente:

1. Diagrama de flujo de efectivo que muestra los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos).

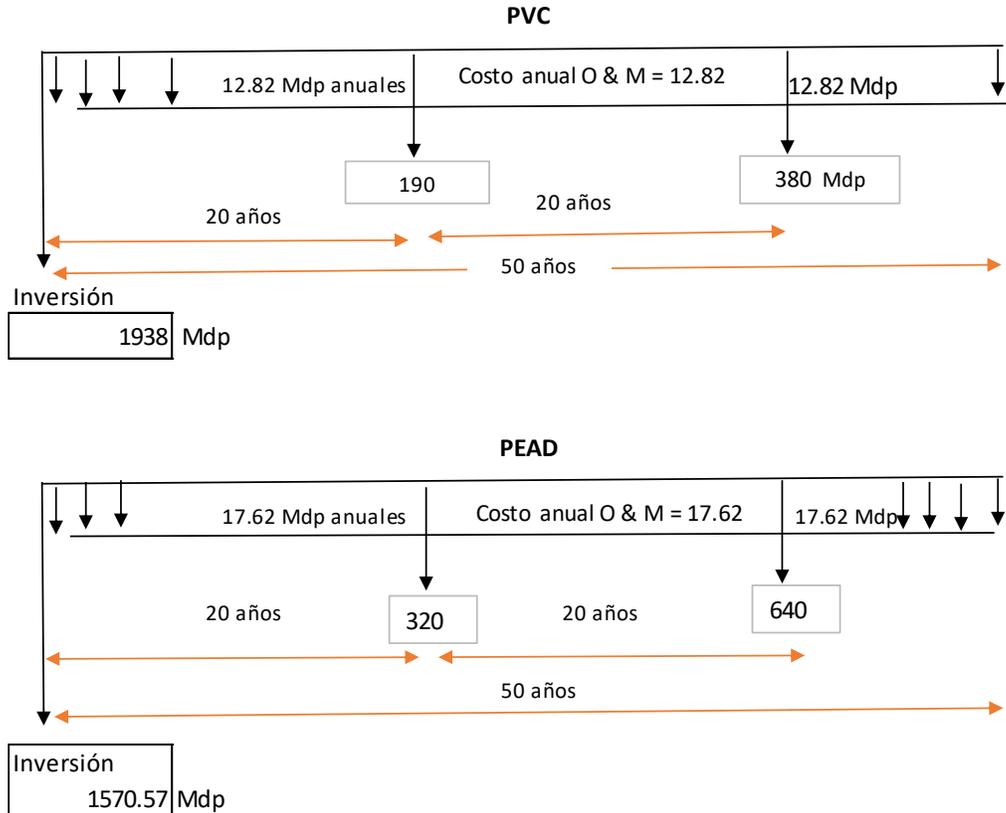
Para cada alternativa, la inversión que implica la construcción de la red, utilizando PVC o PEAD, sería por 1938 mdp y 1570 mdp, respectivamente; los costos de operación y mantenimiento anual por



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

12.82 y 17.62 mdp, para cada caso, y dos inversiones puntuales para rehabilitación o reposición de tramos dañados a los 20 y 40 años.

Ilustración 51. Esquema de costos de inversión de la nueva red primaria.



2. Se encontrará el valor presente (P) de las cantidades no recurrentes, incluida la inversión inicial, además de traer al presente los costos puntuales a los 20 y 40 años, para el PVC y el PEAD.

P/F			PVC	P
(P/F, 10.20)= F(1/(1+i)^n	i=10 % .n=20		190	28.24
(P/F, 10.40)= F(1/(1+i)^n	i=10%. n=40		380	8.40
			PEAD	
(P/F, 10.20)= F(1/(1+i)^n	i=10 % .n=20		300	44.59
(P/F, 10.40)= F(1/(1+i)^n	i=10%. n=40		600	13.26

Costos no recurrentes (millones de pesos)		PVC	PEAD
Inversión actual (millones de pesos)	Inversión	1938.00	1570.57
Primer costo no recurrente (190 Y 300)	(20 años)	28.24	44.59
Segundo costo no recurrente (380 Y 600)	(40 años)	8.40	13.26
	P1	1974.64	1632.28

3. Se Utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA), durante un ciclo de vida de todas las cantidades, en este caso los costos de operación y mantenimiento, y se agregará este a las demás cantidades uniformes que ocurren en el año 1 hasta infinito, lo cual genera un valor anual uniforme equivalente total (VA).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Costos recurrentes (operación anual)		PVC	PEAD
Costos de operación anuales	(50 años)	12.82	17.62
	P2	128.2	176.2

5. Se sumará el valor obtenido en el paso 2 al valor logrado en el paso 3.

VP= P1+P2 para las dos alternativas PVC, PEAD:

Valor presente	PVC	PEAD
P1	1974.64	1632.28
P2	128.20	176.20
VP	2102.84	1808.48

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es utilizar PEAD; sin embargo, habrá que tomar en cuenta algunas desventajas de emplear este tipo de tubería, de acuerdo con experiencias en diversas partes, que son las siguientes:

- Las reparaciones parciales en PEAD son en general más complicadas que para otros tipos de plásticos.
- Deben adquirir componentes de mantenimiento y reparación para un nuevo material de tubería, en caso de que la cantidad de material a colocar sea importante.
- Se requiere de personal calificado para la termofusión.
- La presión de trabajo puede alterarse al variar la temperatura exterior.
- En ciertas condiciones no soporta cargas extremas ni vacíos parciales, y es susceptible al aplastamiento.

Para el caso de Mexicali el material más utilizado es el PVC, ya que se estima que la red de atarjeas y colectores está constituida en un 70 % de tuberías de PVC.

Alternativa de no acción

No constituye una alternativa viable en ninguna circunstancia, ya que la contaminación de suelo y agua perjudica la salud y el bienestar de la población, además de ir en contra de la buena relación binacional con Estados Unidos. Es evidente y claro que no invertir en la renovación de las redes se convierte en un costo no sostenible ni a largo ni a corto plazo, debido a que los daños provocados a la población serían incalculables.

En la situación sin proyecto, el sistema de alcantarillado presentará cada vez más deficiencias en su operación. Sin embargo, la CESPMM no puede dejar de actuar ante las circunstancias que se le presenten, ya que esto implicaría deterioros mayores no sólo en la infraestructura hidráulica, sino en la infraestructura urbana, en su conjunto, como son: vialidades, edificaciones y equipamiento urbano en general.

3.3.2 Evaluación comparativa de costos de alternativas para plantas de bombeo principales

Las plantas de bombeo principales del sistema de alcantarillado y saneamiento; es decir, aquellas en las que se tienen los puntos de mayor concentración de caudales, como las PBAR 1,3 y 8, que envían aguas residuales a la PTAR Zaragoza, y la PBAR 4, y PBAR 10, que hacen lo propio



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

hacia la PTAR Las Arenitas, se encuentran en los programas de rehabilitación en ejecución, a partir del 2020, con mezcla de recursos: Federación, Estado y BEIF.

Sin embargo, es importante considerar que en los próximos 30 años se cumplirán al menos dos ciclos de vida útil de los equipos de bombeo, y quizás deberán, asimismo, adecuar o modernizar los equipamientos de control y automatización de estas plantas y de las que se construyan para dar servicio en las zonas de crecimiento al año 2050.

Las plantas de bombeo para enviar los volúmenes de las áreas de crecimiento y expansión de la ciudad a las plantas Arenitas y Zaragoza, tendrán que programarse e incluirse en los programas de construcción de los próximos años en los sitios seleccionados como los adecuados.

Plantas de bombeo para la zona de influencia de la PTAR Zaragoza

En el área de influencia de la PTAR Zaragoza, se ubican como principales la PBAR Zaragoza, que concentra los volúmenes de una extensa área de la zona de expansión, ubicada al suroeste de la ciudad, y la PBAR Santa Isabel, que es más pequeña, pero auxiliaría a una zona de expansión alejada a Santa Isabel, en el poniente de la ciudad.

La PBAR Zaragoza es la planta de bombeo que mayor caudal enviará a la planta de tratamiento Zaragoza; el emisor Los Recuerdos es el conducto que transporta el agua de esta planta y tiene una longitud de 1325 m con un diámetro de 76 cm (30 pulgadas).

Tabla 76. Potencia requerida en la PBAR Zaragoza en la zona de expansión Mexicali III

Material del tubo	PVC (alternativa 1)			PEAD (alternativa 2)		
	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
Caudales	399.24	866.36	1,299.54	399.24	866.36	1,299.54
Carga estática (m)	1					
Carga Dinámica (m)	1.95	5.47	11.05	2.69	8.94	18.87
Potencia requerida (hp)	15.015	91.43	277.21	20.79	151.27	473.32

Fuente: elaboración propia

Tabla 77. Inversión requerida para la PBAR Zaragoza en equipamiento para emisor de PVC

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (millones pesos)	IMPORTE (millones pesos)
Terreno	Lote	1	2.00	2.00
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	6.00	6.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	4.00	4.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	3.00	3.00
Edificios	Lote	1	1.00	1.00
Rejilla y desarenador	Equipo	1	0.50	0.50
Grúas, polipasto y marco de izaje	Lote	1	0.10	0.10
Estructura de llegada	Estructura	1	0.15	0.15
Líneas de interconexión	Lote	1	0.10	0.10
Obras complementarias	Lote	1	0.50	0.50
				17.35

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 78. Costos de operación y mantenimiento, PBAR Zaragoza (materia del emisor PVC)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE	
			Mes	año
Personal	PERSONA	2.0	40,000.00	480,000.00
Operación vehículos	VEHÍCULOS	1.00	30,000.00	360,000.00
Lodos	LOTE	1.00	20,000.00	240,000.00
Materiales y equipo diversos	LOTE	1	20,000.00	240,000.00
				1,320,000.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 79. Inversión requerida para la PBAR Zaragoza, equipamiento para emisor con PEAD

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE (millones pesos)
Terreno	Lote	1	2.00	2.00
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	7.50	7.50
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	4.00	4.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	3.00	3.00
Edificios	Lote	1	1.00	1.00
Rejilla y desarenador	Equipo	1	0.50	0.50
Grúas, polipasto y marco de izaje	Lote	1	0.10	0.10
Estructura de llegada	Estructura	1	0.15	0.15
Líneas de interconexión	Lote	1	0.10	0.10
Obras complementarias	Lote	1	0.50	0.50
				18.85

Fuente: elaboración propia

Tabla 80. Costos de operación y mantenimiento de la PBAR Zaragoza (materia del emisor PEAD)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE	
			Mes	año
Personal	Persona	2	40,000.00	480,000.00
Operación vehículos	Vehículos	1	30,000.00	360,000.00
Lodos	Lote	1	50,000.00	600,000.00
Materiales y equipos diversos	Lote	1	45,000.00	540,000.00
				1,980,000.00

Fuente: elaboración propia

Consumo de energía eléctrica (tarifa 2020)

El consumo de energía eléctrica para las dos alternativas del emisor para la PBAR Zaragoza, se presenta en los siguientes cálculos:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 81. Consumo de energía eléctrica por mes por equipo de 100 HP

horas-mes = 720

HP 100

CONSUMO Kw	CARGO FIJO	VARIABLE (\$/kw)						Distribución	capacidad	TOTAL	
		Base		Intermedia		Punta					
ENE	74.5	697.99	589.00	24,099.17	155.00	9,784.20	0.00	0.00	87.99	315.07	34,984.42
			0.5492		0.85		0.00				
FEB	74.5	697.99	551.00	22,429.45	145.00	7,709.54	0.00	0.00	87.99	315.7	31,240.66
			0.5464		0.84		0.00				
MAR	74.5	697.99	589.00	24,520.42	155.00	8,234.42	0.00	0.00	87.99	315.7	33,856.52
			0.5588		0.85		0.00				
APR	74.5	697.99	570.00	23,406.71	150.00	8,049.21	0.00	0.00	87.99	315.7	32,557.60
			0.5512		0.85		0.00				
MAY	74.5	697.99	0.00	0.00	620.00	33,148.24	124.00	10,399.22	87.99	315.7	44,649.14
			0.5471		0.84		1.13				
JUN	74.5	697.99	0.00	0.00	600.00	31,566.17	120.00	10,062.86	87.99	315.7	42,730.71
			0.5437		0.84		1.13				
JUL	74.5	697.99	0.00	0.00	620.00	31,767.63	124.00	10,189.51	87.99	315.7	43,058.82
			0.82		1.10						
AUG	74.5	697.99	0.00	0.00	620.00	30,807.61	124.00	10,061.11	87.99	315.7	41,970.40
			0.5297		0.81		1.09				
SEP	74.5	697.99	0.00	0.00	600.00	28,812.16	120.00	9,505.90	87.99	315.7	39,419.75
			0.5197		0.79		1.06				
OCT	74.5	697.99	0.00	0.00	620.00	29,116.17	124.00	9,829.23	87.99	315.7	40,047.08
			0.5198		0.79		1.06				
NOV	74.5	697.99	570.00	22,077.55	150.00	7,046.01	0.00	0.00	87.99	315.7	30,225.24
			0.5199		0.79		1.07				
DEC	74.5	697.99	589.00	22,817.86	155.00	7,282.71	0.00	0.00	87.99	315.7	31,202.25
			0.5200		0.79		1.07				
											445,942.60

Fuente: elaboración propia

Tabla 82. Consumo de energía eléctrica por mes por equipo de 150 HP

horas-mes = 720

HP 150

CONSUMO Kw	CARGO FIJO	CARGO VARIABLE (\$/kw)						Distribución	capacidad	TOTAL	
		Base		Intermedia		Punta					
ENE	111.75	697.99	589.00	36,148.76	155.00	14,676.30	0.00	0.00	87.99	315.07	51,926.10
			0.5492		0.85		0.00				
FEB	111.75	697.99	551.00	33,644.17	145.00	11,564.31	0.00	0.00	87.99	315.7	46,310.16
			0.5464		0.84		0.00				
MAR	111.75	697.99	589.00	36,780.64	155.00	12,351.63	0.00	0.00	87.99	315.7	50,233.95
			0.5588		0.85		0.00				
APR	111.75	697.99	570.00	35,110.06	150.00	12,073.82	0.00	0.00	87.99	315.7	48,285.56
			0.5512		0.85		0.00				
MAY	111.75	697.99	0.00	0.00	620.00	49,722.37	124.00	15,598.82	87.99	315.7	66,422.87
			0.5471		0.84		1.13				
JUN	111.75	697.99	0.00	0.00	600.00	47,349.25	120.00	15,094.30	87.99	315.7	63,545.22
			0.5437		0.84		1.13				
JUL	111.75	697.99	0.00	0.00	620.00	47,651.44	124.00	15,284.27	87.99	315.7	64,037.39
			0.82		1.10						
AUG	74.5	697.99	0.00	0.00	620.00	30,807.61	124.00	10,061.11	87.99	315.7	41,970.40
			0.5297		0.81		1.09				
SEP	111.75	697.99	0.00	0.00	600.00	43,218.24	120.00	14,258.85	87.99	315.7	58,578.78
			0.5197		0.79		1.06				
OCT	111.75	697.99	0.00	0.00	620.00	43,674.26	124.00	14,743.85	87.99	315.7	59,519.79
			0.5198		0.79		1.06				
NOV	111.75	697.99	570.00	33,116.33	150.00	10,569.01	0.00	0.00	87.99	315.7	44,787.02
			0.5199		0.79		1.07				
DEC	111.75	697.99	589.00	34,226.79	155.00	10,924.07	0.00	0.00	87.99	315.7	46,252.54
			0.5200		0.79		1.07				
											641,869.77

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

De los cálculos elaborados se obtiene que un equipo de bombeo de 100 hp consume energía eléctrica en un año por \$445,942.60 (0.45 mdp), mientras que para la opción de equipar 150 hp, el consumo anual es por \$641,869.77 (0.64 mdp).

Tabla 83. Costos de las alternativas del emisor, según el tipo de material PVC y PEAD

TUBERIA EMISOR	Diámetro (pulgadas)	LONGITUD (m)	Costo/ km (millones pesos)	IMPORTE (millones pesos)
ZARAGOZA (PVC))	36	4025	18.135	72,993.38
ZARAGOZA (PEAD)	36	4025	14.697	59,155.43

Fuente: elaboración propia

Comparación de alternativas

Para comparar ambas alternativas se utilizará el método del costo capitalizado (CC o P), el cual hace referencia directa al valor presente de un proyecto cuya vida útil durará para siempre, o que se considera en forma perpetua, como es el caso de los sistemas de distribución de servicios vitales.

tasa de interés anual	i=	PVC	PEAD
COSTO O&M (millones de pesos)	A	10%	10%
ciclo de vida (años)	n	1.32	1.98
		30	30

Se supone que a lo largo de la vida útil de la PBAR se requerirán al menos dos inversiones puntuales al año 15 y 30 del periodo considerado, debido a reequipamientos del sistema, para un sistema con emisor de PVC, y para el caso de la tubería PEAD.

Para traer los costos al presente, el procedimiento seguido al calcular el costo capitalizado de una secuencia infinita de flujos de efectivo es el siguiente:

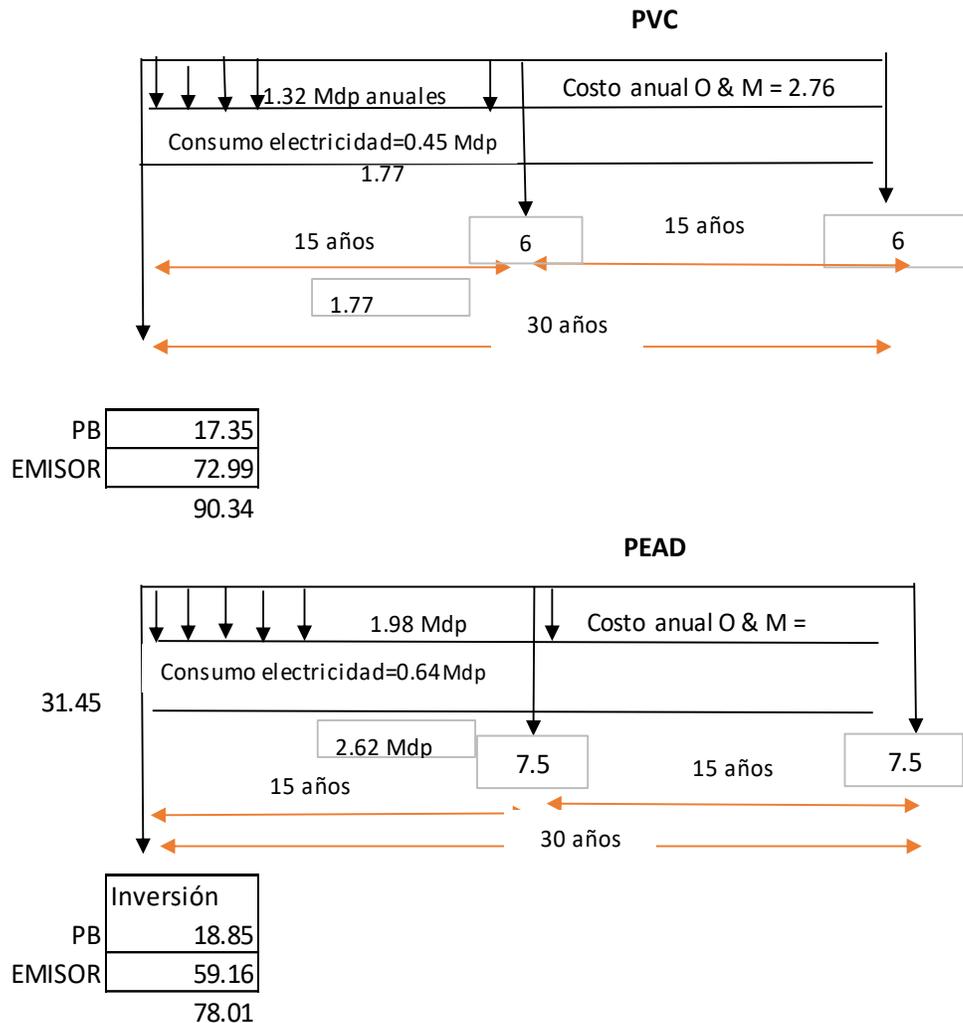
1. Diagrama de flujo de efectivo que muestra los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos).

Para cada alternativa, la inversión que implica la construcción de la red, utilizando PVC o PEAD, sería por 1.32 y 1.98 mdp, respectivamente; los costos de operación y mantenimiento anual, de, para cada caso, y dos inversiones puntuales de 6 y 7.5 mdp para reequipamiento o reposición de equipos de la PBAR Zaragoza a los 15 y 30 años.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 52. Esquema de costos de inversión de rehabilitación de plantas de bombeo.



Fuente: elaboración propia

Se encontrará el valor presente (P) de las cantidades no recurrentes, incluida la inversión inicial, además de traer al presente los costos puntuales a los 15 y 30 años para el PVC y el PEAD.

P/F		PVC	P
$(P/F, 10,20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	6.0	1.44
$(P/F, 10,40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	6.0	0.34
		PEAD	
$(P/F, 10,20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	7.5	1.80
$(P/F, 10,40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	7.5	0.43

Costos recurrentes (operación anual)		Alternativa 1	Alternativa 2
Costos de operación anuales	(30 años)	PVC	PEAD
	SUMA	1.77	2.62
		1.77	2.62

Costos no recurrentes (millones de pesos)	PVC	PEAD
---	-----	------



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Inversión actual		90.34	78.01
Primer costo no recurrente 6 Y 7.5	(15años)	1.44	1.80
Segundo costo no recurrente 6 y 7.5	(30 años)	0.34	0.43
	P1	92.12	80.24

3. Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA), durante un ciclo de vida de las cantidades, en este caso los costos de operación y mantenimiento, y se agregará este a las demás cantidades uniformes que ocurren en el año 1 hasta infinito, lo cual genera un valor anual uniforme equivalente total (VA).

Costos recurrentes (operación anual)		PVC	PEAD
Costos de operación anuales	(30 años)	1.77	2.62
	P2	17.7	26.2

4. Se sumará el valor obtenido en el paso 2 al valor logrado en el paso 3.

VP= P1+P2 para las dos alternativas PVC, PEAD:

Valor presente	PVC	PEAD
P1	92.12	80.2
P2	17.7	26.2
VP	109.82	106.41

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es emplear PEAD en la PBAR Zaragoza; sin embargo, habrá que tomar en cuenta algunas desventajas de utilizar este tipo de tubería, de acuerdo con experiencias en diversas partes, que son las siguientes:

A pesar de los muchos beneficios asociados con las tuberías de polietileno, este tipo de tubo presenta diversas dificultades para su manejo, tanto en la instalación, como durante su operación, cuando se requieren reparaciones.

Problemas de ovalación que dificulta su acoplamiento para la unión, debido a un bajo módulo de elasticidad, rápido corrimiento de fisuras, limitación que afecta a los tubos de gran diámetro y espesor, además de que los tubos de PE no deben roscarse ni tampoco pegar, ya que hasta el momento no se ha descubierto un pegamento o adhesivo con garantías para resistir durante un mínimo de 50 años la tensión originada en la unión.

Planta de bombeo Santa Isabel:

Tabla 84. Potencia requerida en la PBAR Santa Isabel en el área de expansión al 2050, Mexicali III

Material del tubo	PVC (alternativa 1)			PEAD (alternativa 2)		
	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
Caudales	66.44	144.18	216.28	66.44	144.18	216.28
Carga estática (m)	1					
Carga Dinámica (m)	1.85	5.00	10.02	2.51	8.11	17.03
Potencia requerida (hp)	2.37	13.88	41.8	3.22	22.53	71.08

Fuente: elaboración propia

Comparación de alternativas

Para comparar ambas alternativas utilizaremos el método del costo capitalizado (CC o P), el cual hace referencia directa al valor presente de un proyecto cuya vida útil durará para siempre, o que se considera en forma perpetua, como es el caso de los sistemas de distribución de servicios vitales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

		PVC	PEAD
tasa de interés anual	i=	10%	10%
COSTO O&M (millones de pesos)	A	12.82	17.62
ciclo de vida (años)	n	50	50

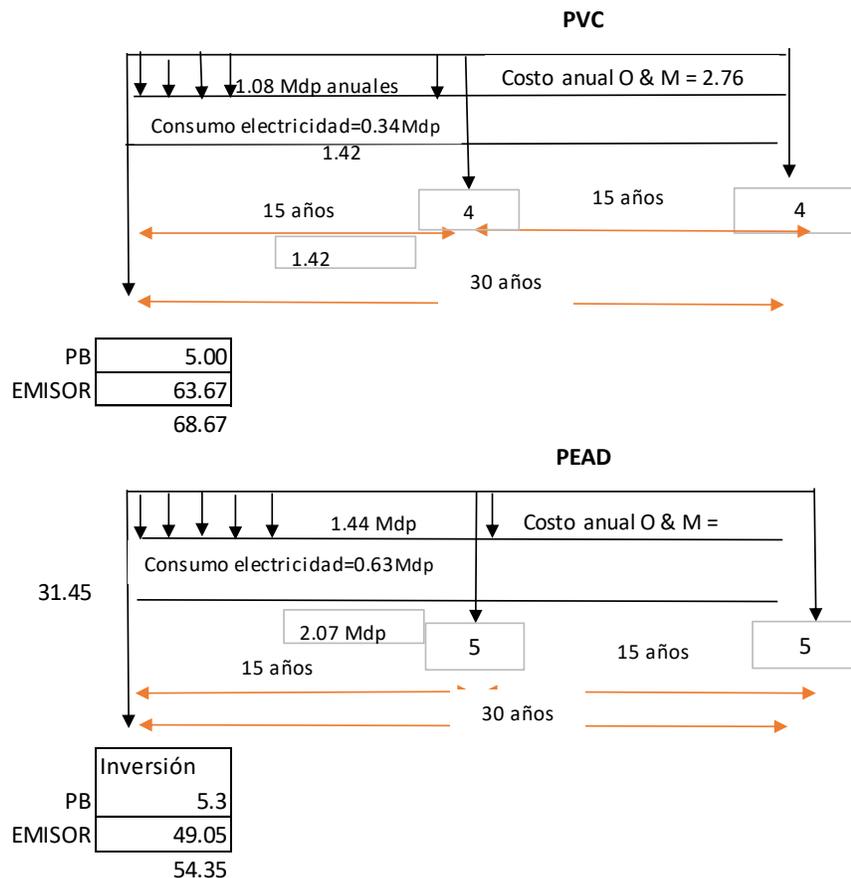
Para un sistema con tuberías con PVC, y para el caso de la tubería PEAD, se supuso que a lo largo de la vida útil de las tuberías se requerirán al menos dos inversiones puntuales al año 20 y 40 del periodo considerado, debido a rehabilitaciones en el sistema

Para traer los costos al presente, el procedimiento seguido al calcular el costo capitalizado de una secuencia infinita de flujos de efectivo es la siguiente:

1. Diagrama de flujo de efectivo que muestra los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos).

Para cada alternativa, la inversión que implica la construcción de la red, utilizando PVC o PEAD, sería por 68.67 y 54.35 mdp, respectivamente; los costos de operación y mantenimiento anual por 1.42 y 2.07 mdp, para cada caso, y dos inversiones puntuales para rehabilitación o reposición de tramos dañados a los 15 y 30 años.

Ilustración 53. Esquema de costos de inversión de plantas de bombeo.



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2. Se encontrará el valor presente (P) de las cantidades no recurrentes, incluida la inversión inicial, además de traer al presente los costos puntuales a los 15 y 30 años, para el PVC y el PEAD.

P/F		PVC	P
(P/F, 10,20)= F(1/(1+i)^n	i=10 % ,n=15	4	0.96
(P/F, 10,40)= F(1/(1+i)^n	i=10%, n=30	4	0.23
		PEAD	
(P/F, 10,20)= F(1/(1+i)^n	i=10 % ,n=15	5	1.20
(P/F, 10,40)= F(1/(1+i)^n	i=10%, n=30	5	0.29

Costos no recurrentes		PVC	PEAD
Inversión actual (millones de pesos)	Inversión	68.67	54.35
Primer costo no recurrente 4 y 5 mdp	(15 años)	0.96	1.20
Segundo costo no recurrente 4 y 5 mdp	(30 años)	0.23	0.29
	P1	69.86	55.84

3. Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA), durante un ciclo de vida de las cantidades, en este caso los costos de operación y mantenimiento, y se agrega este a las demás cantidades uniformes que ocurren en el año 1 hasta infinito, lo cual genera un valor anual uniforme equivalente total (VA).

Costos recurrentes (operación anual)		PVC	PEAD
Costos de operación anuales	(30 años)	1.42	2.07
	P2	14.2	20.7

4. Se sumará el valor obtenido en el paso 2 al valor logrado en el paso 3.

VP= P1+P2 para las dos alternativas PVC, PEAD:

Valor presente	PVC	PEAD
P1	69.86	54.35
P2	14.2	20.7
VP	82.87	75.05

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es la alternativa 2, que consiste en emplear PEAD en el emisor de la PBAR Santa Isabel; sin embargo, habrá que tomar en cuenta algunas desventajas de utilizar este tipo de tubería, de acuerdo con experiencias en diversas partes, que son las siguientes:

Alternativa de no acción

No actuar no es una alternativa viable en ninguna circunstancia, ya que las plantas de bombeo son esenciales para que funcione el sistema, sin ellas el agua no llega a las plantas de tratamiento y un escenario tal sería totalmente desfavorable, crearía muchos problemas a la ciudadanía y causaría situaciones de tensión en la relación binacional, al cruzar la frontera las aguas derramadas.

En la situación sin proyecto, el sistema de alcantarillado presentará cada vez más deficiencias en su operación. Sin embargo, la CESPМ no puede dejar de actuar ante las circunstancias que se le presenten, ya que esto implicaría deterioros mayores, no sólo en la infraestructura hidráulica, sino en la infraestructura urbana, en su conjunto, como son: vialidades, edificaciones y equipamiento urbano en general.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Plantas de bombeo para la zona de influencia de la PTAR Arenitas

La más importante planta de bombeo, con referencia a los caudales que enviará a la PTAR Arenitas, es la PBAR Sur. Considerando la ubicación de las áreas de captación de las que concentrará las aguas residuales, se vio la posibilidad de localizar dos puntos para dos PBAR, en lugar de uno solo. Uno de los sitios se ubicó en un punto cercano al emisor, que va de la PBAR 4 hacia Arenitas, a un costado de la carretera a San Felipe, un poco al sur del cruce de esta carretera con el río Nuevo, y el segundo sitio se ubicó en las cercanías de la PBAR 10, en un lugar identificado como cárcamo Puebla. Este segundo sitio representa varias desventajas, entre ellas incrementar la longitud de colectores y mayor consumo de energía para concentrar las aguas residuales de un sector al poniente del ejido Choropo, con auxilio de un cárcamo de bombeo a una distancia de 5.8 km.

Alternativas a evaluar

Con base en lo anterior se analizan dos alternativas: la primera de ellas, la **alternativa 1**, consiste en construir una PBAR (PBAR-Sur) en el sitio contiguo a la carretera a San Felipe, cerca del cruce con el río Nuevo; en esta se concentraría la totalidad de los caudales provenientes de las áreas de crecimiento y expansión de la ciudad de Mexicali al año 2050, con caudales medio y máximo instantáneo, de 1291 y 2801 l/s, al final del horizonte de planeación.

La **alternativa 2**. Consiste en construir dos PBAR, una en el sitio que corresponde a la alternativa uno, pero con caudales medio y máximo instantáneo menores (591 y 1284 l/s); la segunda PBAR se ubicaría en un sitio cercano a la PBAR 10, en las inmediaciones del ejido Puebla, para caudales medio y máximo instantáneo de 700 y 1518 l/s, respectivamente.

Planta de bombeo Sur (alternativa 1)

El emisor Sur es el conducto para enviar las aguas residuales concentradas en la PBAR- Sur, en el área de influencia de la planta Arenitas; tiene una longitud de 18,400 m, y un diámetro de 1.22 m (48 pulgadas).

Tabla 85. Potencia requerida en la nueva PBAR Sur, en la zona de expansión por crecimiento zona IV

Material del tubo	PVC (opción 1)			PEAD (opción 2)		
	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
Caudales	1,291.15	2,801.79	4,202.69	1,291.15	2,801.79	4,202.69
Carga estática (m)	26					
Carga dinámica (m)	35.76	72.00	129.51	43.36	107.78	210.01
Potencia requerida (HP)	890	3890	10,496	1,079	5,824	17,022

Fuente: elaboración propia

Las inversiones requeridas para la construcción de la PBAR Sur, y los costos de operación y mantenimiento, se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 86. Inversión requerida para la PBAR Sur, equipamiento para emisor con PVC

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE (millones pesos)
Terreno	lote	1	3.00	3.00
Instalaciones electromecánicas	lote	1	24.00	24.00
Instalaciones eléctricas y de control	lote	1	16.00	16.00
Estructura del cárcamo	lote	1	6.00	6.00



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE (millones pesos)
Edificios	lote	1	3.70	3.70
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.50	1.50
Grúas, polipasto y marco de izaje	lote	1	0.40	0.40
Estructura de llegada	Estructura	1	0.40	0.40
Líneas de interconexión	lote	1	0.25	0.25
Obras complementarias	lote	1	3.50	3.50
				58.75

Fuente: elaboración propia

Tabla 87. Costos de operación y mantenimiento, PBAR Sur (materia del emisor PVC)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE (millones pesos)	
			Mes	año
Personal	Persona	5	0.100	1,200,000.00
Operación vehículos	Vehículo	2.	0.030	360,000.00
Lodos	Lote	1	0.500	600,000.00
Materiales y equipo diversos	Lote	1	50,000.00	600,000.00
				2,760,000.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 88. Inversión requerida para la PBAR Sur, equipamiento para emisor con PEAD

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE (mdp)
Terreno	lote	1	3.00	3.00
Instalaciones electromecánicas	lote	1	32.00	32.00
Instalaciones eléctricas y de control	lote	1	16.00	16.00
Estructura del cárcamo	lote	1	6.00	6.00
Edificios	lote	1	3.70	3.70
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.50	1.50
Grúas, polipasto y marco de izaje	lote	1	0.40	0.40
Estructura de llegada	Estructura	1	0.40	0.40
Líneas de interconexión	lote	1	0.25	0.25
Obras complementarias	lote	1	3.50	3.50
				66.75

Fuente: elaboración propia

Tabla 89. Costos de operación y mantenimiento PBAR Sur (materia del emisor PEAD)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE (pesos)	
			Mes	año
Personal	PERSONA	5	100,000.00	1,200,000.00
Operación vehículos	VEHÍCULOS	2	30,000.00	360,000.00
Lodos	LOTE	1	50,000.00	600,000.00
Materiales y equipos diversos	LOTE	1	75,000.00	900,000.00
				3,060,000.00

Fuente: elaboración propia

Los costos de construcción del emisor Sur para cada una de las alternativas son los siguientes:

Tabla 90. Costos de inversión del emisor Sur por tipo de material

MATERIAL	TUBERIA	Diámetro (pulgadas)	Longitud (m)	Costo/ km (millones \$)	IMPORTE (millones pesos)
PVC	EMISOR SUR	48.00	18,400.00	21.47	395.00
PEAD	EMISOR SUR	60.00	18,400.00	20.98	386.03

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Consumo de energía eléctrica (tarifa 2020)

Un concepto primordial para la comparación de alternativas es el consumo de energía eléctrica, que para la PBAR Sur se muestra en las tablas 91 y 92.

Tabla 91. Consumo de energía eléctrica por mes por equipo de 900 HP.

horas-mes		720									
HP		900									
A	B	CARGO VARIABLE (\$/kw)						I	J	K	
CONSUMO	CARGO FIJO	Base			Intermedia		Punta		Distribución	capacidad	TOTAL
Kw											
ENE	670.5	697.99	589.00	216,892.54	155.00	88,057.77	0.00	0.00	87.99	315.07	306,051.36
			0.5492		0.85		0.00				
Precio de la hora											
FEB	670.5	697.99	551.00	201,865.02	145.00	69,385.83	0.00		87.99	315.7	272,352.53
			0.5464		0.84		0.00				
Precio de la hora											
MAR	670.5	697.99	589.00	220,683.81	155.00	74,109.78	0.00	0.00	87.99	315.7	295,895.27
			0.5588		0.85		0.00				
APR	670.5	697.99	570.00	210,660.37	150.00	72,442.89	0.00	0.00	87.99	315.7	284,204.95
			0.5512		0.85		0.00				
MAY	670.5	697.99	0.00	0.00	620.00	298,334.20	124.00	93,592.95	87.99	315.7	393,028.83
			0.5471		0.84		1.13				
JUN	670.5	697.99	0.00		600.00	284,095.49	120.00	90,565.78	87.99	315.7	375,762.95
			0.5437		0.84		1.13				
JUL	670.5	697.99	0.00		620.00	285,908.63	124.00	91,705.63	87.99	315.7	378,715.93
			0.82		1.10						
AUG	670.5	697.99	0.00		620.00	277,268.53	124.00	90,549.95	87.99	315.7	368,920.16
			0.5297		0.81		1.09				
SEP	670.5	697.99			600.00	259,309.47	120.00	85,553.12	87.99	315.7	345,964.27
			0.5197		0.79		1.06				
OCT	670.5	697.99			620.00	262,045.54	124.00	88,463.09	87.99	315.7	351,610.31
			0.5198		0.79		1.06				
NOV	670.5	697.99	570.00	198,697.98	150.00	63,414.09	0.00		87.99	315.7	263,213.75
			0.5199		0.79		1.07				
DEC	670.5	697.99	589.00	205,360.74	155.00	65,544.39	0.00		87.99	315.7	272,006.81
			0.5200		0.79		1.07				
										3,907,727.12	

Fuente: elaboración propia

El cálculo del consumo para la tarifa correspondiente es el siguiente: en la columna A se indica la potencia del equipo en kW; la columna B es un cargo fijo mensual; la columna C, es el número de horas base establecido por CFE, para cada mes por el número de días del mes que corresponde, y la columna D es el cargo resultante del número de horas base por el consumo en kW (columna A) por el precio de la hora base en cada mes.

El cargo variable (F) por las horas intermedias se calcula igual $F = A \times E \times \text{precio hora}$, y se repite para las horas punta $H = A \times G$ (número de horas punta en el mes) \times precio de la hora punta.

El cargo del mes es la suma de cargos fijo, variable (base-intermedio-punta), más los cargos por distribución y por capacidad **columnas (B + D+F+H+I+J)**.

El consumo anual de un equipo de bombeo de 900 hp es de \$3'907,727.12 (3.91 mdp), mientras que para la opción de equipar 1100 hp, el consumo anual es de \$4'691,435.81 (4.69 mdp).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 92. Consumo de energía eléctrica mensual para la potencia calculada para el Qmedio (l/s) emisor PEAD en la PBAR Sur

horas-mes HP		720									
1100											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
CONSUMO	CARGO FIJO	CARGO VARIABLE (\$/kw)						Distribución	capacidad	TOTAL	
Kw		Base		Intermedia		Punta					
ENE	819.5	697.99	589.00	265,090.88	155.00	107,626.16	0.00	0.00	87.99	315.07	373,818.09
			0.5492		0.85		0.00				
FEB	819.5	697.99	551.00	246,723.91	145.00	84,804.90	0.00		87.99	315.7	332,630.50
			0.5464		0.84		0.00				
MAR	819.5	697.99	589.00	269,724.66	155.00	90,578.62	0.00	0.00	87.99	315.7	361,404.96
			0.5588		0.85		0.00				
APR	819.5	697.99	570.00	257,473.79	150.00	88,541.31	0.00	0.00	87.99	315.7	347,116.78
			0.5512		0.85		0.00				
MAY	819.5	697.99	0.00	0.00	620.00	364,630.69	124.00	114,391.38	87.99	315.7	480,123.75
			0.5471		0.84		1.13				
JUN	819.5	697.99	0.00		600.00	347,227.82	120.00	110,691.50	87.99	315.7	459,021.00
			0.5437		0.84		1.13				
JUL	819.5	697.99	0.00		620.00	349,443.88	124.00	112,084.65	87.99	315.7	462,630.21
					0.82		1.10				
AUG	670.5	697.99	0.00		620.00	277,268.53	124.00	90,549.95	87.99	315.7	368,920.16
			0.5297		0.81		1.09				
SEP	819.5	697.99			600.00	316,933.80	120.00	104,564.92	87.99	315.7	422,600.40
			0.5197		0.79		1.06				
OCT	819.5	697.99			620.00	320,277.88	124.00	108,121.55	87.99	315.7	429,501.12
			0.5198		0.79		1.06				
NOV	819.5	697.99	570.00	242,853.09	150.00	77,506.11	0.00		87.99	315.7	321,460.87
			0.5199		0.79		1.07				
DEC	819.5	697.99	589.00	250,996.46	155.00	80,109.82	0.00		87.99	315.7	332,207.96
			0.5200		0.79		1.07				
										4,691,435.81	

Fuente: elaboración propia

Comparación de alternativas

Para comparar ambas alternativas se utilizará el método del costo capitalizado (CC o P), el cual hace referencia directa al valor presente de un proyecto cuya vida útil durará para siempre, o que se considera en forma perpetua, como es el caso de los sistemas de distribución de servicios vitales.

tasa de interés anual	i=	PVC	PEAD
COSTO O&M (millones de pesos)	A	10%	10%
ciclo de vida (años)	n	2.76	3.06
		30	30

Se supone que a lo largo de la vida útil de la PBAR se requerirán al menos dos inversiones puntuales al año 15 y 30 del periodo considerado, debido a reequipamientos del sistema, para un sistema con emisor de PVC y para el caso de la tubería PEAD.

Para traer los costos al presente, el procedimiento seguido al calcular el costo capitalizado de una secuencia infinita de flujos de efectivo es el siguiente:

1.-Diagrama de flujo de efectivo, que muestra los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos).

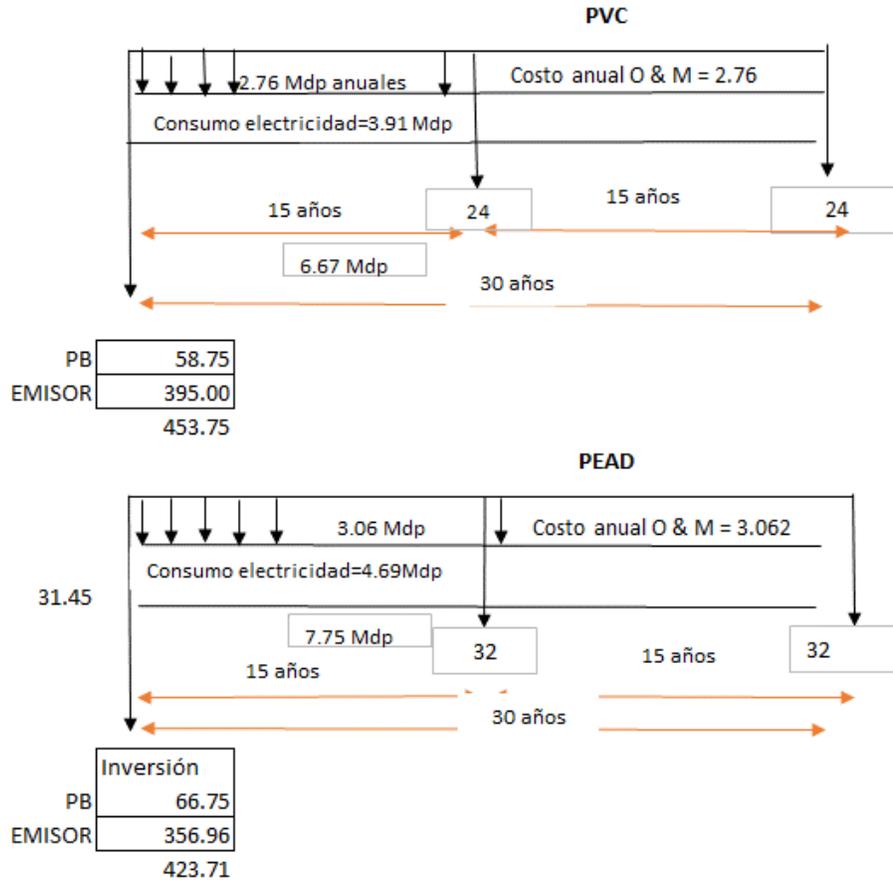
Para cada alternativa, la inversión que implica la construcción de la red, utilizando PVC o PEAD, sería por 453.75 y 423.71 mdp, respectivamente El flujo representa para cada alternativa, de usar PVC o PEAD, la inversión total que implica la construcción de la planta de bombeo y emisor (); los costos de operación y mantenimiento anual de 2.76 y 3.06 mdp, para cada caso, y dos inversiones



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

puntuales de 24 y 32 mdp, para equipamiento o reposición de equipos de la PBAR Sur a los 15 y 30 años.

Ilustración 54. Esquema de costos de inversión de la nueva red morada.



Fuente: elaboración propia

2. Se encuentra el valor presente (P) de las cantidades no recurrentes, incluida la inversión inicial, además de traer al presente los costos puntuales a los 20 y 40 años, para el PVC y el PEAD.

P/F		PVC	P
$(P/F, 10,20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	24	5.75
$(P/F, 10,40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	24	1.38
		PEAD	
$(P/F, 10,20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	32	7.66
$(P/F, 10,40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	32	1.83

Fuente: elaboración propia

Costos no recurrentes (millones de pesos)		Valor de P	
Inversión actual (millones de pesos)	Inversión	453.75	PEAD 423.71
Primer costo no recurrente 24 Y 32	(15años)	5.75	7.66
Segundo costo no recurrente 24 Y 32	(30 años)	1.38	1.83
	P1	460.88	433.2

3. Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA), durante un ciclo de vida de las cantidades, en este caso los costos de operación y mantenimiento, y se agregará este a las demás cantidades



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

uniformes que ocurren en el año 1 hasta infinito, lo cual genera un valor anual uniforme equivalente total (VA).

Costos recurrentes (operación anual)		Alternativa 1 PVC	Alternativa 2 PEAD
Costos de operación anuales	(30 años)	6.67	7.75
	P2	6.67	7.75

4. Se sumará el valor obtenido en el paso 2 al valor logrado en el paso 3.

VP= P1+P2 para las dos alternativas PVC, PEAD:

Valor presente	PVC	PEAD
P1	460.88	433.2
P2	66.7	77.5
VP	527.58	510.7

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es la alternativa 2, que consiste en emplear PEAD en el emisor; sin embargo, habrá que tomar en cuenta algunas desventajas de utilizar este tipo de tubería, de acuerdo con experiencias en diversas partes, y que, entre otras, son la pérdida de capacidad de carga, deformaciones de la sección y mayores dificultades, en caso de reparaciones, por lo que se concluye que la alternativa 1 es la más conveniente, y será la que se tome en cuenta para comparar con la alternativa 2, que es la de considerar dos plantas de bombeo.

Alternativa 2: construcción de dos PBAR con capacidad equivalente a la capacidad de la PBAR de alternativa 1

Para esta alternativa se considera que cada PBAR tendría su propio emisor: el primero de 18.4 kilómetros y el segundo de 16.5 km.

Tabla 93. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Puebla

Material del tubo	PVC (1.07 m)(42 pulgadas)			PEAD (1.22 m) (48 pulgadas)		
	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
Caudales	1,291.15	2,801.79	4,202.69	1,291.15	2,801.79	4,202.69
Carga estática (m)	24					
Carga Dinámica (m)	29.17	48.39	78.73	33.20	67.36	121.29
Potencia requerida (HP)	394.08	1419.38	3,459.48	448.83	1,975.78	5,329.94

Fuente: elaboración propia

Tabla 94. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE mdp
Terreno	Lote	1	2.50	2.50
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	22.00	22.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	15.00	15.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	4.00	4.00
Edificios	Lote	1	2.20	2.20
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.00	1.00
Grúas, polipasto y marco de izaje	Lote	1	0.35	0.35
Estructura de llegada	Estructura	1	0.35	0.35
Líneas de interconexión	Lote	1	0.30	0.30
Obras complementarias	Lote	1	2.50	2.50
				50.20

Fuente: Elaboración propia.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 95. Costos de operación de la construcción de dos PBAR.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE	
			Mes	año
Personal	PERSONA	4.0	80,000.00	960,000.00
Operación vehículos	VEHÍCULOS	2.00	30,000.00	360,000.00
Lodos	LOTE	1.00	50,000.00	600,000.00
Materiales y equipo diversos	LOTE	1	50,000.00	600,000.00
				2,520,000.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.

TUBERIA	Diámetro (pulgadas)	LONGITUD (km)	Costo/ km (millones pesos)	Importe (mdp)
EMISOR SUR-PUEBLA PVC	42	16.5	19.67	324.56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Choropo.

Material del tubo	PVC (1.07 m)(42 pulgadas)			PEAD (1.22 m) (48 pulgadas)		
	Qmed (l/s)	Qmax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)	Qmed (l/s)	Qmax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)
Caudales	592.00	1,283.60	216.28	66.44	144.18	216.28
Carga estática (m)	26					
Carga dinámica (m)	30.13	45.83	69.62	33.33	60.45	103.55
Potencia requerida (HP)	344.17	1,123.50	2586.3	380.83	1,496.64	3,846.64

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE (mdp)
Terreno	Lote	1	2.50	2.50
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	18.00	18.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	14.00	14.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	4.00	4.00
Edificios	Lote	1	2.20	2.20
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.00	1.00
Grúas, polipasto y marco de izaje	Lote	1	0.35	0.35
Estructura de llegada	Estructura	1	0.30	0.30
Líneas de interconexión	Lote	1	0.25	0.25
Obras complementarias	Lote	1	2.50	2.50
				45.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 99. Costos de operación de la construcción de dos PBAR.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE	
			Mes	año
Personal	PERSONA	5	100,000.00	1,200,000.00
Operación vehículos	VEHÍCULOS	2	30,000.00	360,000.00
Lodos	LOTE	1	50,000.00	600,000.00
Materiales y equipo diversos	LOTE	1	70,000.00	840,000.00
				3,000,000.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.

TUBERIA	Diámetro (pulgadas)	LONGITUD (km)	Costo/ km (millones pesos)	Importe (millones pesos)
EMISOR SUR CHOROPO PVC	42	18.4	19.67	361.93

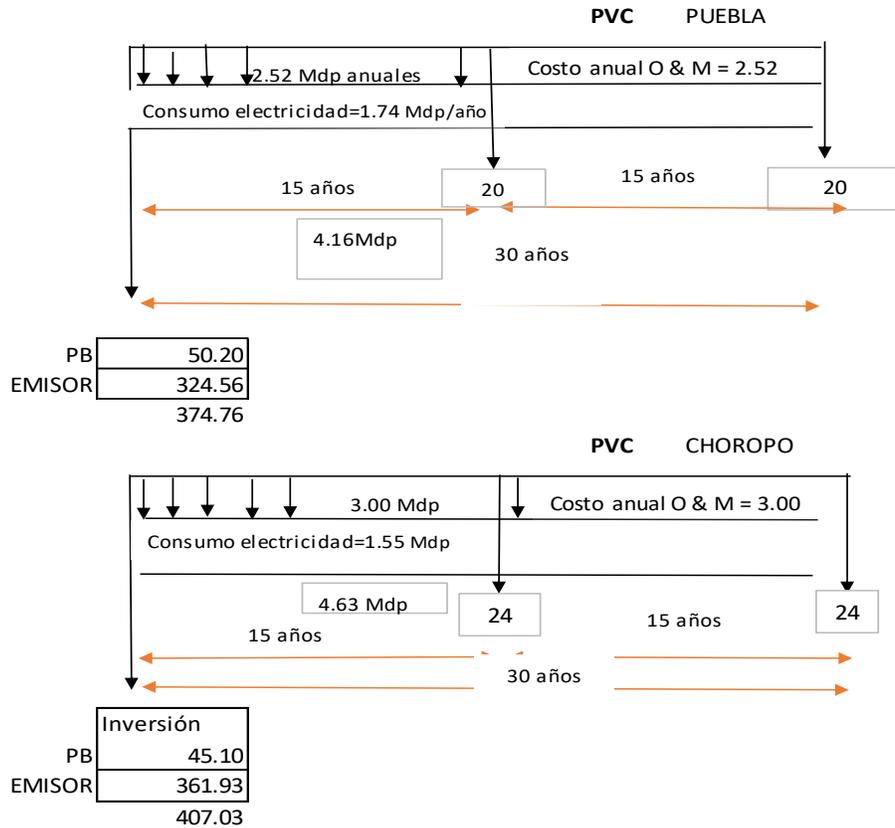
Fuente: Elaboración propia.



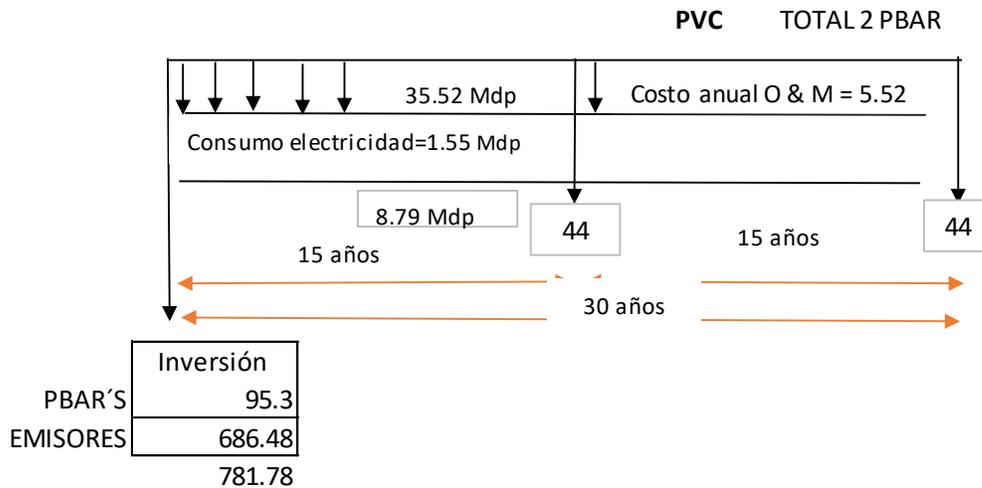
COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

El flujo de costos de la dos PBAR es como se muestran en los siguientes esquemas:

Ilustración 55. Esquema de costos de inversión de las dos PBAR.



Que, sumando los flujos de las dos plantas, quedan de la siguiente manera:

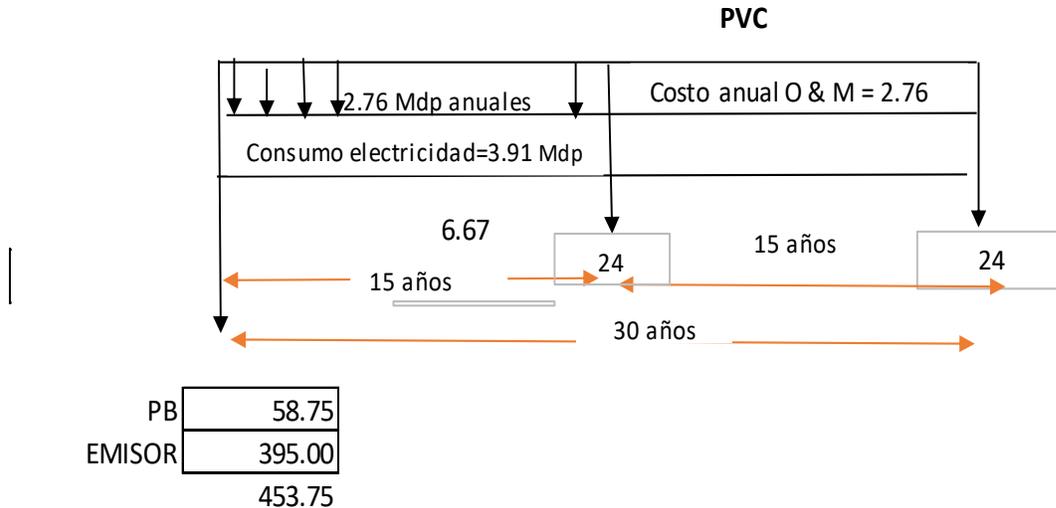


Comparación de la alternativa 1, que consiste en construir una sola planta de bombeo PBAR-Sur, con la alternativa 2, que implica la construcción de dos PBAR.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1. Diagrama de flujo de efectivo, que muestra los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos) de la PBAR Sur.



Fuente: Información de la CESPМ

Y conforme a lo determinado anteriormente, para la PBAR Sur, $VP = P1 + P2$, para las dos alternativas:

Valor presente	Opción PVC
P1	460.88
P2	66.70
VP	527.58

Tabla 101. Resumen de los costos no recurrentes y recurrentes de ambas alternativas de bombeo.

CONCEPTO		PBAR-SUR	2 PBAR
NO RECURRENTE (INVERSIÓN)			
Inversión actual (millones de pesos)	Inversión	453.75	781.78
Primer costo no recurrente (24 Y 44)	(15 años)	5.75	10.53
Segundo costo no recurrente (24 Y 44)	(30 años)	1.38	2.52
	P1	460.88	794.84
RECURRENTE (OPERACIÓN ANUAL)			
Costos de operación anuales	(30 años)	6.67	8.79
	P2	66.7	87.9

Fuente: Información de la CESPМ

Ventajas de y desventajas

Alternativa 1

Ventajas

Desventajas



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Menor costo de inversión a corto plazo.

Los caudales de diseño son al final del periodo, por lo que durante varios años se trabajará con caudales mucho menores.

Con esta PBAR existirían tres plantas de bombeo con emisores a la PTAR Las Arenitas.

Se pierde flexibilidad de la red y se depende de un solo bombeo para una gran zona de la ciudad.

Al final del periodo se tiene menos capacidad de bombeo que al disponer de dos bombeos, pues existen dos conductos y muchos más equipos.

Alternativa 2 (construcción de dos PBAR en la zona sur)

Ventajas

Se dispondría de mayor capacidad de bombeo hacia la PTAR Arenitas.

Se fortalece la red de infraestructura en la zona sur de la ciudad.

Desventajas

Mayor costo de inversión en el corto plazo, lo que quitaría recursos a otros proyectos.

Mayor costo de operación al sumar las dos PBAR.

3.3.3 Evaluación comparativa de costos de alternativas para plantas de tratamiento

Para la ciudad de Mexicali las alternativas de plantas de tratamiento pasan, por ahora, por considerar como punto de partida las dos plantas que se encuentran en funcionamiento; y, en el caso de la PTAR Zaragoza, aún dispone de capacidad para incorporar caudales a tratamiento, mientras que la PTAR Las Arenitas, aunque se encuentra rebasada en su capacidad, está en proceso el estudio para su ampliación en el corto plazo, y de concretarse daría margen para incorporar a más habitantes al servicio de saneamiento de las aguas residuales de la ciudad.

Tabla 102. Resumen del análisis de alternativas para la ampliación de la PTAR Arenitas

N°	PRINCIPALES PROCESOS	MÓDULOS	INVERSIÓN MDP	COSTO DE OPERACIÓN	
				CON GENERACIÓN EE	SIN GENERACIÓN EE
1	Lodos activados (convencional) Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s	\$ 642.43	\$ 0.47 / m ³	\$ 0.92 / m ³
2	Sedimentador primario Filtro percolador Lagunas anaerobia, facultativa y maduración Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s	\$ 975.15	\$ 0.24 / m ³	\$ 0.58 / m ³
3	Reactor anaerobio de flujo ascendente Lodos activados aireación extendida Digestión anaerobia de lodos en exceso	4 @ 475 l/s	\$ 803.05	\$ 0.51 / m ³	\$ 0.56 / m ³



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

N°	PRINCIPALES PROCESOS	MÓDULOS	INVERSIÓN MDP	COSTO DE OPERACIÓN	
				CON GENERACIÓN EE	SIN GENERACIÓN EE
4	Reactor alta carga Laguna anaerobia, laguna facultativa y laguna de maduración Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s	\$ 853.87	\$ 0.20 / m ³	\$ 0.54 / m ³
5	Reactor alta carga/baja carga Wetlands Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 l/s	\$ 774.33	\$ 0.11 / m ³	\$ 0.79 / m ³
6	Aeración sobreextendida Wetlands Digestión anaerobia de lodos en exceso	3 @ 634 l/s	\$ 475.02	\$ 0.61 / m ³	\$ 0.88 / m ³

Fuente: Información de la CESPM

3.3.4 Evaluación de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

El crecimiento de la población en la ciudad de Mexicali, aunado a las proyecciones del crecimiento económico, implicará que en los próximos 30 años se requieran grandes volúmenes de agua potable provenientes de nuevas fuentes. Una de estas opciones de abastecimiento, que contribuiría a un ahorro sustancial de agua potable de las fuentes tradicionales, es emplear aguas residuales tratadas en diversos usos.

Es importante llevar a cabo estudios de mercado y de factibilidad financiera del reúso de las aguas residuales tratadas, para que el producto sea aprovechado de acuerdo con un esquema de distribución espacial, planteado para aquellos volúmenes de agua que con el tiempo se vayan incrementando.

De llevarse a la práctica, a través de un programa de venta de agua tratada, por parte del organismo operador, generaría un gran beneficio social en términos de una mayor disponibilidad de este recurso para que el agua potable ahorrada sea para consumo humano.

La reutilización de aguas urbanas puede incluir sistemas de servicios específicos para cada usuario; en la planeación de la distribución del agua a reutilizar, debe fijarse si el suministro es continuo o discontinuo. La demanda diaria de agua regenerada de un determinado sistema urbano se puede estimar como suma de los consumos diarios en sus diversos campos de aplicación. La estimación de cada uno de ellos sigue los mismos criterios que si el suministro se hace con agua potable.

Por lo anterior, el diseño y dimensionamiento de la red de distribución son similares a los de la red de agua potable, empleando incluso materiales de construcción iguales. Sin embargo, es importante diferenciar ambas redes para evitar interconexiones accidentales.

La propuesta inicial es ir incorporando agua residual tratada, mediante la construcción de redes moradas en usos que no requieren agua con calidad de agua potable y que poco a poco el reúso



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

vaya creciendo. Los establecimientos que potencialmente pueden ser usuarios de aguas residuales tratadas, identificados genéricamente sobre la cartografía urbana de Mexicali, se muestran en la tabla siguiente, y son adicionales a los que cubre la línea morada existente, y es el potencial común a las alternativas evaluadas.

Tabla 103. Número y tipo de establecimientos con potencial de reúso de agua residual tratada

TIPO	CANTIDAD
CAMELLÓN	24
CEMENTERIO	1
ESCUELA	1
INSTALACIÓN DE SERVICIOS	1
INSTALACIÓN DEPORTIVA O RECREATIVA	2
INSTALACIÓN DIVERSA	4
CENTRO COMERCIAL	2
OTRO	2
INSTALACIÓN INDUSTRIAL MIXTO	13
MIXTO (INDUSTRIAL, COMERCIAL, DEPORTIVO)	11
ZONA INDUSTRIAL	2
TOTAL GENERAL	46

Fuente: elaboración propia

Las alternativas de redes de reúso de aguas residuales a evaluar son:

Alternativa 1.

Prolongar la línea morada que parte de la PTAR Zaragoza hacia el suroriente, a partir de la avenida Montemorelos por el bulevar Cárdenas, hasta la avenida Juárez, y por esta hacia el suroriente, hasta la zona de parques industriales, áreas deportivas e instalaciones diversas, que se ubican por la carretera a San Luis Río Colorado.

La prolongación de la línea se haría con un desarrollo aproximado de 9675 m, con un diámetro de 10.16 cm (4”), y una derivación en el extremo de 2995 m, también con un diámetro de 10.16 (4”).

Ventajas y desventajas de la alternativa 1

Esta alternativa tiene la ventaja de que se tiene bastante extensión de terreno para seguir ampliando las instalaciones, y se dispone de un caudal mucho mayor al actual, que podría incorporarse con relativa facilidad.

La desventaja es que está más alejada de las áreas con mayor número de usuarios potenciales que las plantas de tratamiento ubicadas en las instituciones educativas.

El costo de esta alternativa se muestra en la tabla siguiente, e incluye la ampliación de la capacidad de tratamiento terciario en la PTAR Zaragoza, para incorporar 15 l/s a la red morada.

Tabla 104. Costo de inversión para la prolongación de la red morada de la PTAR Zaragoza

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
			MILLONES DE PESOS	
Ampliación de capacidad de tratamiento terciario en la PTAR Zaragoza	Lote	1	7.00	7.00
Línea de 15.6 cm (4 pulgadas)	Km	12.67	5.15	65.25
Planta de bombeo 30 HP	Lote	1	2.00	2.00



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	IMPORTE
			MILLONES DE PESOS	
Depósito regulador 30 m3	Tanque	1	0.75	0.75
				75.00

Fuente: elaboración propia

Alternativa 2.

Construir líneas moradas, a partir de las plantas de tratamiento ubicadas en las instituciones educativas públicas, UABC y CETYS, hacia posibles usuarios interesados en la misma zona.

Esta alternativa consiste en derivar líneas de las instalaciones de las plantas de tratamiento, ubicadas en la UABC y el CETYS, hacia las zonas con posibilidades de incorporar a usuarios de aguas residuales tratadas, lo que implica derivar una línea morada de las instalaciones de la UABC, con tubería de PVC de 10.16 (4") de diámetro y 10.94 km de longitud, a la cual se le incorporaría una línea de PVC de 10.16 cm (4 pulgadas) de diámetro y 4.08 km de longitud, con el fin de disponer, entre ambas líneas, de al menos 13.75 l/s, para lo cual se consideraría una pequeña ampliación de la PTAR de la UABC.

Ventajas y desventajas de la alternativa 2

Esta alternativa tiene la ventaja de que si se promociona tiene usuarios potenciales cercanos, que pudieran incorporarse a mediano y largo plazos, mediante la construcción una nueva red morada a partir de las plantas de tratamiento de la UABC y del CETYS, en caso de tener éxito la promoción, además de ampliar capacidades de tratamiento en ambas instituciones.

La desventaja es que habría que buscar desde que colectores extraer el agua y dar tratamiento al agua residual cruda; se tendría, además, que usar terrenos de las instituciones educativas.

El costo de esta alternativa se muestra en la tabla siguiente, e incluye la ampliación de la capacidad de tratamiento de la PTAR de la UABC y del CETYS, para incorporar 13.75 l/s a la red morada.

Tabla 105. Costo de inversión para la construcción de nueva red morada, a partir de la PTAR de la UABC y de la PTAR del CETYS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	IMPORTE
			MILLONES DE PESOS	
Ampliación de la capacidad de tratamiento	lote	1	5.00	6.00
Línea de 10.16 (4 pulgadas)	km	15.02	4.87	73.15
Rebombero 15 HP (7 l/s)	lote	1	1.80	1.80
Rebombero 5 HP (3.75 l/s)	lote	1	1.50	1.50
Depósito regulador 30 m3	tanque	1	1.00	1.00
				83.45

Fuente: elaboración propia

3.3.5 Evaluación de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación
El complejo de la PTAR Las Arenitas cuenta con 605 hectáreas de superficie, 120 de ellas forestadas, 99 destinadas al humedal y 33 dedicadas exclusivamente al sistema lagunar de tratamiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

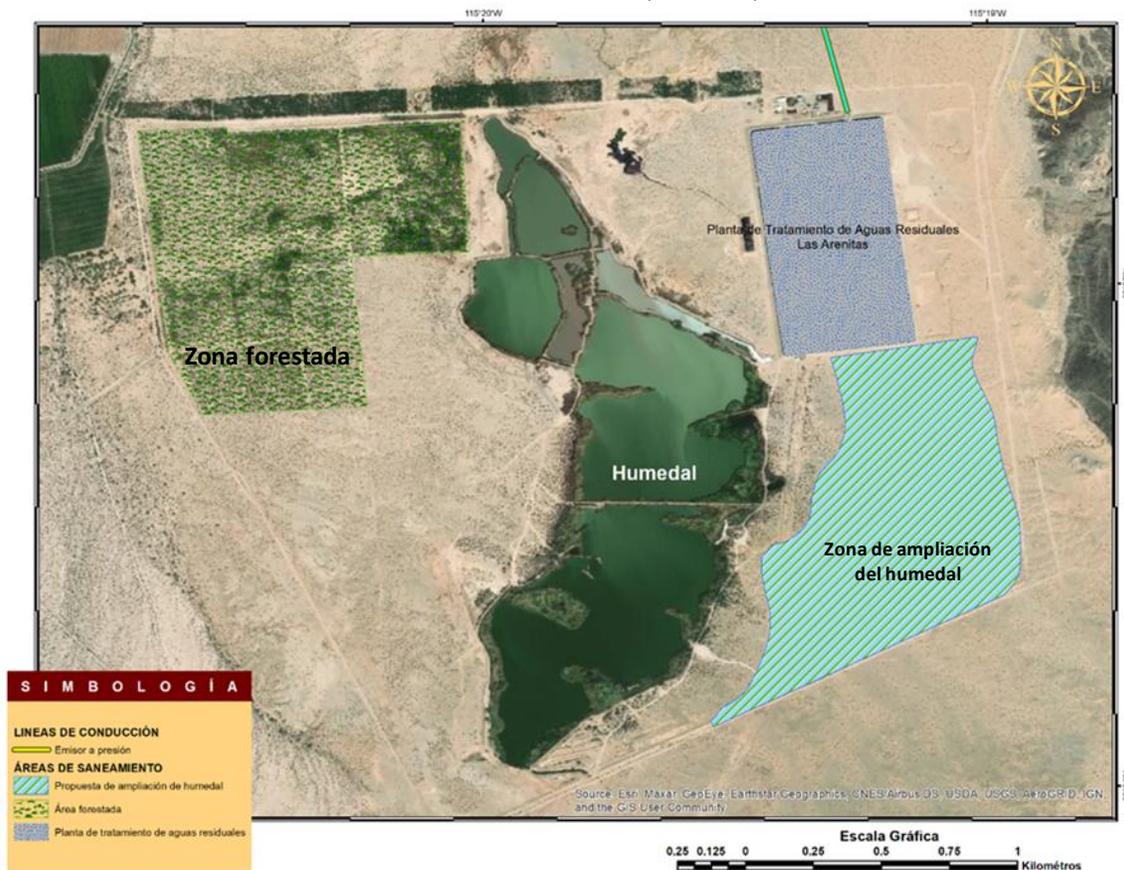
A partir de la infraestructura descrita, se desarrolla el parque ecológico; el sitio se ha convertido en un refugio de múltiples especies nativas, como la víbora de cascabel, los perritos de la pradera, iguanas y varias especies de aves migratorias.

El complejo posee también una central eléctrica fotovoltaica con la que cubre el consumo de la planta de tratamiento, lo que ha reducido sustancialmente el consumo de energía de la red eléctrica, con beneficio ambiental.

El proyecto se ha denominado Parque Metropolitano Arenitas, e incluye infraestructura diversa, como la ampliación del humedal, jardín botánico, corredores y áreas verdes.

La inversión considerada para el Parque Metropolitano es de 52.7 mdp, y su construcción se espera en el mediano plazo.

Ilustración 56. Instalaciones de la PTAR Arenitas, base del Parque Metropolitano



Fuente: elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente, en la actualidad el organismo operador cuenta con tres sistemas de tratamiento en la ciudad que, aunque no son de su propiedad, se operan en instalaciones de instituciones educativas (CETYS, UABC, ITM), con capacidades de 7, 10 y 7 l/s, respectivamente, con procesos a base de lodos activados, y se trabaja con convenios interinstitucionales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La primera opción será revisar, mediante estudios, el mercado potencial para cada uno de los tres sistemas, considerando todas las posibilidades de uso, principalmente las aplicaciones industriales más frecuentes para las aguas reutilizadas, como por ejemplo, sistemas de refrigeración (de los más comunes), aguas de alimentación de calderas y aguas de proceso industrial. Para cada uso existen exigencias de calidad, por lo que la idoneidad del uso de agua regenerada, dentro de los procesos industriales, depende de las necesidades específicas de calidad de cada proceso, y la posibilidad de satisfacerlas.

La ampliación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, o la ubicación y construcción de nuevas plantas de tratamiento, o regeneradoras, dependerá del estudio y promoción del reúso de las aguas, y sería otra necesidad de infraestructura complementaria que por ahora no se analizará.

3.4 Selección de las alternativas más convenientes

Para la selección de las alternativas más convenientes, en un esquema de gran visión con escenarios de futuro complejos, dónde existe una elevada dosis de incertidumbre, y donde lo que se pone en juego es la satisfacción de necesidades básicas de la población, y posibles conflictos e intereses, resulta importante tener en cuenta la necesidad de considerar la pluralidad de percepciones o perspectivas de los diferentes actores interesados.

Es un hecho que en la definición de los sistemas de saneamiento intervienen diferentes factores de orden económico, técnico, ecológico, etcétera, y que asociados a cada factor, en ocasiones se relacionan con diferentes objetivos. Por tanto, es necesaria la colaboración entre los diferentes actores para que aporten la experiencia adquirida y el punto de vista experto, si es el caso.

El impacto de las decisiones en los costos del proyecto, así como el número de opciones a considerar, irá disminuyendo a medida que los proyectos se vayan concretando.

3.4.1 Seleccionar alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción

Para las alternativas de colectores principales, y obras de captación y conducción, se valoran como aspectos primordiales los siguientes:

Características que contribuyan a una resiliencia de corto plazo, en primer término, y de largo plazo, en función de su resistencia, durabilidad, capacidad de conducción, facilidad de reparación y flexibilidad en el manejo de aguas residuales, lo cual tiene como base la condición de ubicación en el sistema y el material a utilizar

De la condición de ubicación en el sistema se deriva poder interconectar zonas o sistemas de red colindantes; por ejemplo, entre las zonas Mexicali II y Mexicali IV, o entre las zonas Mexicali I y Mexicali III, que son colindantes entre sí.

De la comparación de las alternativas

En este caso se evaluaron, además de la ubicación, dos tipos de materiales: PVC y PEAD, que son de uso común y se consiguen fácilmente en el mercado de tuberías y piezas especiales. De la evaluación



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

comparativa de alternativas, aún con la proyección de costos de inversión y de operación y mantenimiento de la alternativa 2 (utilizar PEAD), por las ventajas de conocimiento del material de la alternativa 1, la facilidad de dar mantenimiento y la duración en mejores condiciones del material PVC, a lo largo de la vida útil, lo cual disminuye riesgos de falla, se selecciona esta alternativa 1 (utilizar tuberías de PVC).

El PVC es más fuerte, se somete a pruebas de control de calidad más rigurosas, presenta una hidráulica superior, ofrece una mejor expansión y contracción, uniones más rápidas y fáciles, requisitos más estrictos de presión y pruebas de fugas, y una instalación de accesorios menos complicada, en comparación con el PEAD. Tales son las cualidades del PVC, junto con determinadas ventajas especiales en la construcción.

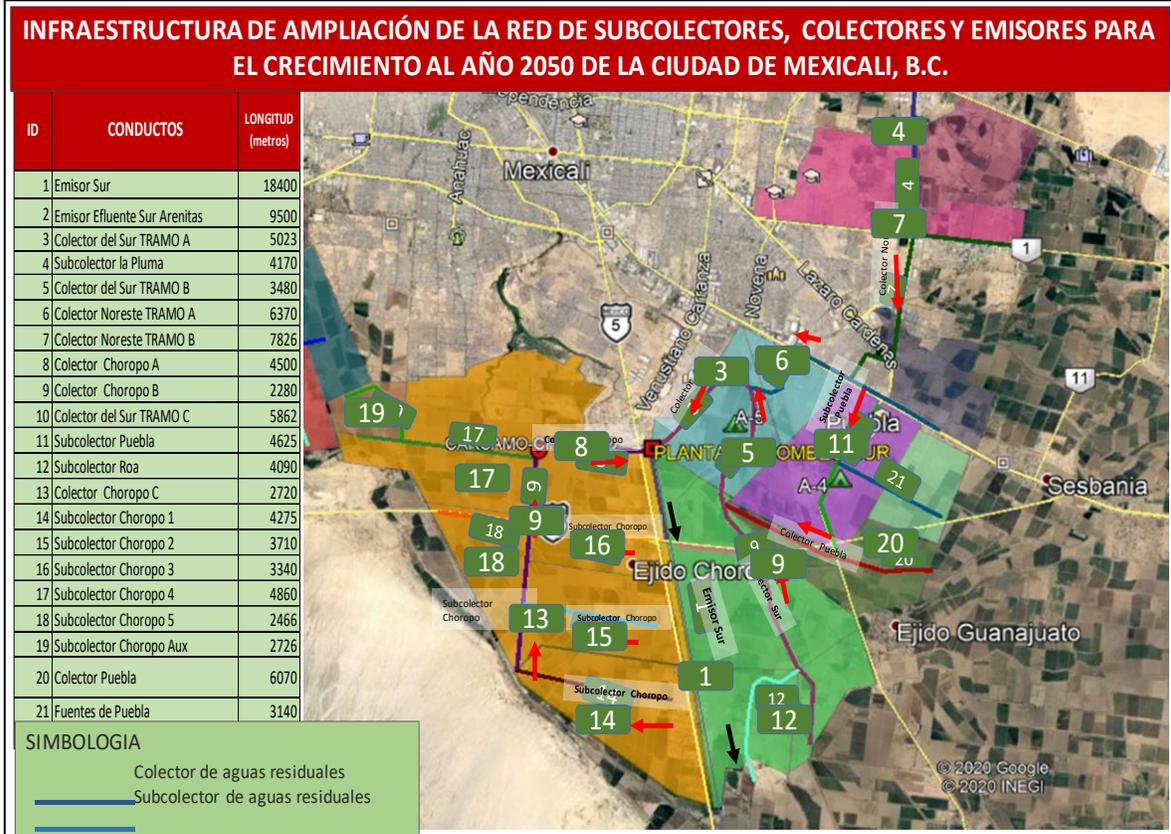
Armado más rápido. Las uniones de PVC con guarnición estanca se arman fácilmente. Las uniones de PEAD requieren operadores habilidosos y capacitados, además de equipos de fusión a tope, que consumen mucha energía y deben adquirirse o alquilarse. Además, las uniones fundidas llevan mucho más tiempo, si se consideran los tiempos de preparación, fusión y enfriamiento.

Aplicaciones. Las tuberías de PVC con uniones restringidas se han utilizado con éxito, tanto en proyectos de agua como en sistemas de alcantarillado. La tubería de PVC es el producto elegido para las aplicaciones en que las especificaciones de alcantarillado requieren un grado preciso, gracias a su gran rigidez y resistencia de vigas, en comparación con tuberías de plástico alternativas.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 57. Red de colectores y emisores de la zona Mexicali IV al año 2050



Elaboración propia

Tabla 106. Costo de la alternativa, red de colectores y emisores de la zona Mexicali III Y Mexicali IV al año 2050

ZONA	TUBERIA_NOMBRE	DIÁMETRO (PULGADAS)	LONGITUD	IMPORTE MDP
AREA DE INFLUENCIA PTAR ARENITAS				
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR CHOROPO AUX	18	2,726	\$ 28.30
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR CHOROPO 4	20	4,860	\$ 54.58
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR CHOROPO 1	18	4,275	\$ 44.38
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR CHOROPO 2	18	3,710	\$ 38.51
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR CHOROPO 3	18	3,340	\$ 34.67
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR CHOROPO 5	18	2,466	\$ 25.60
MEXICALI IV	COLECTOR CHOROPO C	20	2,720	\$ 30.55
MEXICALI IV	COLECTOR CHOROPO B	24	2,280	\$ 29.87
MEXICALI IV	COLECTOR CHOROPO A	30	4,500	\$ 71.78
MEXICALI IV	COLECTOR SUR	36	5,023	\$ 91.09
MEXICALI IV	COLECTOR SUR B	30	3,480	\$ 55.51
MEXICALI IV	COLECTOR SUR C	24	5,862	\$ 76.80
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR ROA	20	4,090	\$ 45.93
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR LIBRAMIENTO	20	2,113	\$ 23.73
MEXICALI IV	COLECTOR PUEBLA	24	6,070	\$ 79.52
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR PUEBLA	20	4,625	\$ 51.94
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR FUENTES DE PUEBLA	18	3,140	\$ 32.60
MEXICALI IV	COLECTOR NORESTE TRAMO A	30	6,370	\$ 101.61
MEXICALI IV	SUBCOLECTOR LA PLUMA	18	4,170	\$ 43.29
MEXICALI IV	COLECTOR NORESTE TRAMO B	24	7,826	\$ 102.53

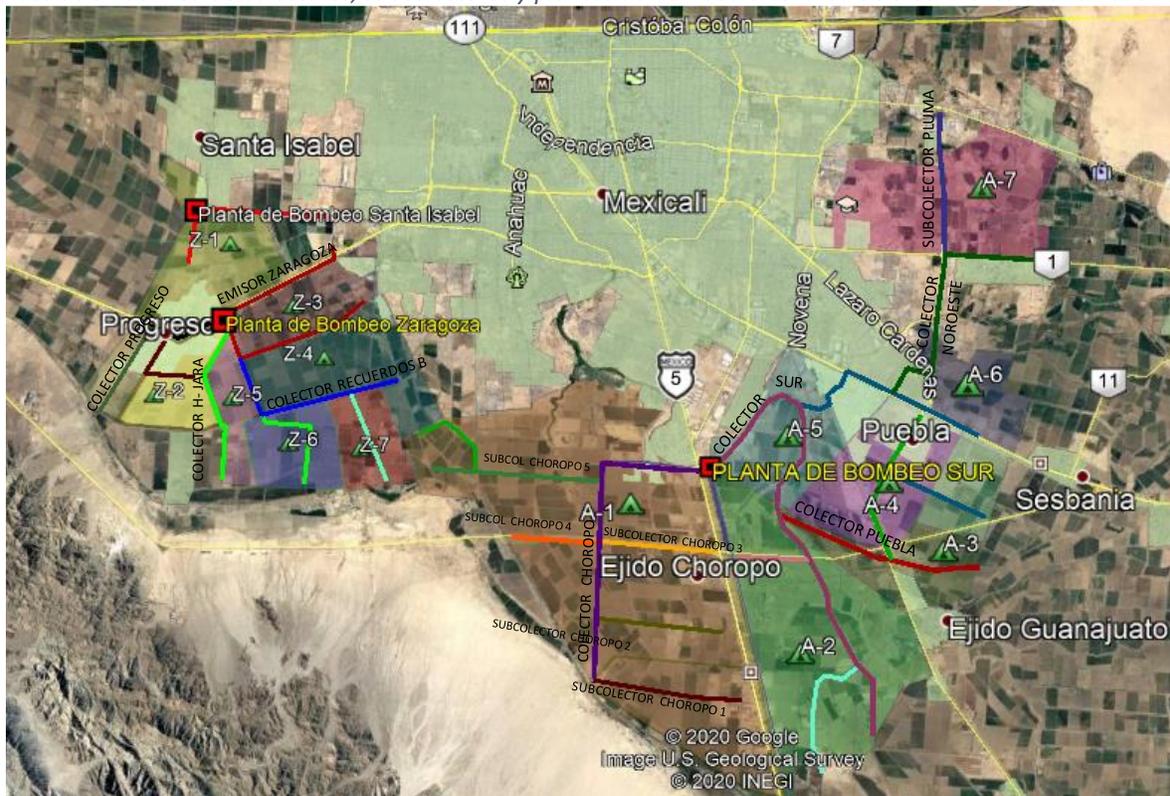
ZONA	TUBERIA_NOMBRE	DIÁMETRO (PULGADAS)	LONGITUD	IMPORTE MDP
	EMISOR SUR	48	18,400.00	\$ 395.00
AREA DE INFLUENCIA PTAR ZARAGOZA				
MEXICALI III	COLECTOR CAMINO NACIONAL	20	5,670.0	\$ 63.68
MEXICALI III	COLECTOR PROGRESO	24	2,737.0	\$ 35.86
MEXICALI III	BAJA CALIFORNIA	18	2,798.0	\$ 29.05
MEXICALI III	COLECTOR PROGRESO B	20	2,898.0	\$ 32.55
MEXICALI III	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 30 PLG	30	1,325.0	\$ 21.14
MEXICALI III	COLECTOR DE LOS RECUERDOS 20 PLG	20	3,980.0	\$ 44.70
MEXICALI III	COLECTOR RECUERDOS B	20	5,965.0	\$ 66.99
MEXICALI III	COLECTOR H AJA	20	4,745.0	\$ 53.29
MEXICALI III	SUBCOLECTOR CORONITA	18	3,200.0	\$ 33.22
MEXICALI III	SUBCOLECTOR CORONITA 2	18	2,620.0	\$ 27.20
MEXICALI III	COLECTOR A LOS RECUERDOS	36	4,025.0	\$ 72.99
	TOTAL		142,009.00	\$ 1,938.44

Fuente: elaboración propia

3.4.2 Selección de alternativas para plantas de bombeo principales

Las plantas de bombeo para las zonas de expansión urbana de Mexicali, que se observan en la ilustración 58, son las que complementarán el envío de los volúmenes a tratar en las plantas de tratamiento: PTAR Zaragoza y PTAR Arenitas, de acuerdo con las capacidades disponibles, una vez ampliada la capacidad de la última.

Ilustración 58. Red de colectores, subcolectores y plantas de bombeo en el área de crecimiento al año 2050



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Los caudales de las plantas de bombeo de la zona de influencia de la PTAR Zaragoza se muestran en la tabla 107.

Tabla 107. Plantas de bombeo en zona de la PTAR Zaragoza

CARCAMOS Y PLANTAS DE BOMBEO	Qmed (l/s)	Qmax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)	N° Equipos	HP /equipo	Costo millones \$
PBAR Santa Isabel	66.44	144.18	216.28	3	15	5.00
PBAR Zaragoza	399.24	866.36	1299.54	3	100	17.35
Cárcamo Progreso	103.04	223.61	335.42	3	50	5.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 108. Caudales acumulados para las plantas de bombeo, zona PTAR Arenitas

CARCAMOS Y PLANTAS DE BOMBEO	Qmed (l/s)	Qmax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)	N° Equipos	HP /equipo	Costo millones
PBAR Sur	1291.15	2,801.79	4,202.69	4	900	58.75
Cárcamo Choropo	591.5	1,283.56	1,925.33	3	400	10.00
Cárcamo Puebla	103.04	223.61	335.42	4	100	5.00

Fuente: elaboración propia

3.4.3 Selección de alternativas para plantas de tratamiento

Las plantas de tratamiento seguirán funcionando, ya que la PTAR Zaragoza aun dispone de 343 l/s de capacidad para recibir volúmenes de aguas residuales, adicionales a los que recibió en el año 2019, que fueron en promedio 957 l/s, y su capacidad total es de 1300 l/s .

La PTAR Arenitas, que actualmente está rebasada en su capacidad de 840 l/s, se encuentra en revisión para ampliar su capacidad de tratamiento a 1900 l/s, y se espera que a finales del 2020 se defina el proyecto.

De las opciones analizadas, preliminarmente el OOMAPAS manifiesta preferencia por la opción 6, que es una planta con proceso de aireación extendida, digestión anaerobia de lodos en exceso y humedales, con un costo de inversión estimado en 475.02 mdp, y un costo de operación de 20.4 mdp anuales.



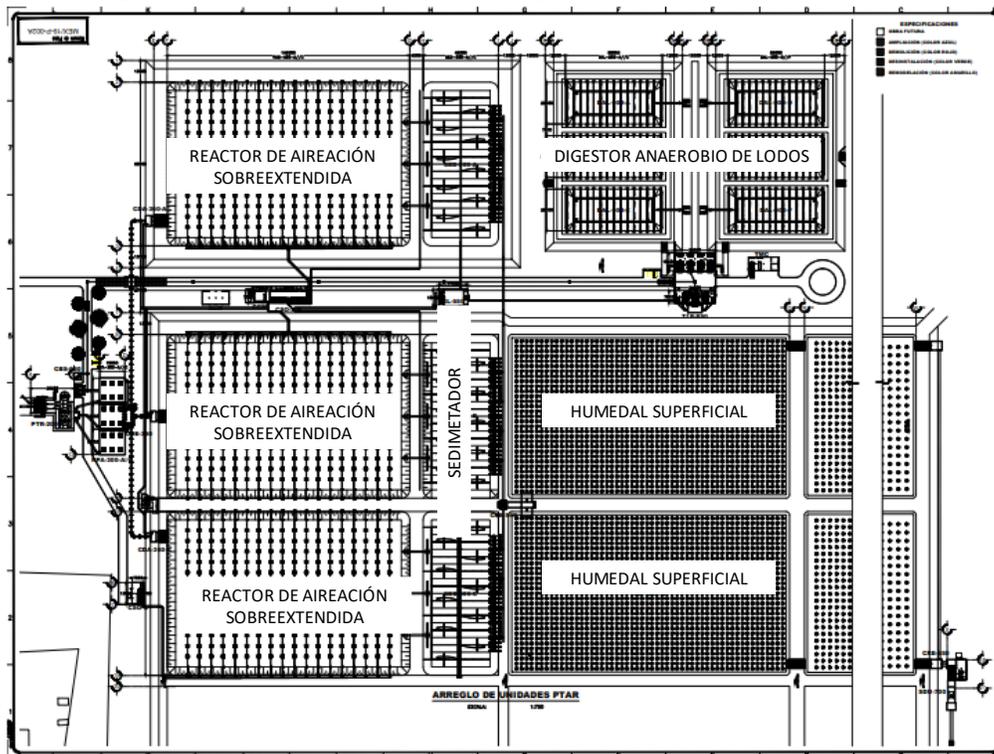
COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 109. Análisis de alternativas del tipo de tratamiento en la ampliación de la PTAR Arenitas

Opción	Clave	Nombre de Principales Procesos	Número de módulos	Inversión Estimada
1	LA + DAN	+Lodos Activados (convencional) +Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 Ips	\$642,427,317.26
2	SP + FP + LA/LF/LM + DAN	+Sedimentador primario +Filtro Percolador +Laguna Anaerobia, Laguna Facultativa y Laguna de Maduración +Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 Ips	\$975,150,605.81
3	RAFA + LA-AE + DAN	+Reactor anaerobio de flujo ascendente +Lodos activados aeración extendida +Digestión anaerobia de lodos en exceso	4 @ 475 Ips	\$803,051,879.15
4	R-A + LA/LF/LM + DAN	+Reactor Alta Carga +Laguna Anaerobia, Laguna Facultativa y Laguna de Maduración +Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 Ips	\$853,873,677.40
5	R-A/B + WL + DAN	+Reactor Alta Carga / Baja Carga Humedales +Digestión anaerobia de lodos en exceso	5 @ 380 Ips	\$774,334,488.30
6	A-Sext + WL + DAN	+Aeración sobre extendida Humedales +Digestión anaerobia de lodos en exceso	3 @ 634 Ips	\$475,022,404.43

Fuente: CESPM

Ilustración 59. Arreglo de unidades de la PTAR (proyecto ejecutivo en proceso)



Fuente: proporcionado por la CESPM



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.4.4 Selección de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

Los volúmenes de aguas residuales tratadas se van a incrementar de manera importante y, por tanto, la demanda de agua potable, por lo que instrumentar acciones para el ahorro en los usos de agua potable, ayudará a evitar la escasez del recurso, por lo que es momento de implementar acciones intensas de promoción, difusión, investigación y apoyo, en general, al uso eficiente del agua en la región. La construcción de nuevas obras derivará de la demanda que surja de los estudios y la promoción que se realice.

Entre las opciones de ampliación de la red morada dentro de la ciudad, se identificó una posible ruta de la red existente, que parte de la PTAR Zaragoza, y una nueva ruta a partir de la PTAR ubicada en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Baja California.

De la comparación de alternativas se toman en cuenta las ventajas de la alternativa 1, que consiste en prolongar, a partir de la avenida Montemorelos, la línea morada que parte de la PTAR Zaragoza hacia el suroriente por el bulevar Lázaro Cárdenas hasta la avenida Juárez, y por esta hacia el suroriente, hasta la zona de parques industriales, áreas deportivas e instalaciones diversas que se ubican por la carretera a San Luis Río Colorado.

La prolongación de la línea se haría con un desarrollo aproximado de 9675 m, con un diámetro de 10.16 cm (4 ") y una derivación en el extremo de 2995 m, también con un diámetro de 10.16 (4").

Se considera fundamental que esta alternativa disponga de una extensión de terreno importante para seguir ampliando las instalaciones, y se cuente con un caudal mucho mayor al actual, que podría incorporarse con relativa facilidad mediante las adecuaciones a la capacidad de tratamiento. La desventaja de que se ubica más lejos de las áreas con mayor número de usuarios potenciales que las plantas de tratamiento localizadas en las instituciones educativas, se reduce, debido a que la línea existente se acerca a las áreas de posibles usuarios en el mediano y largo plazos.

El costo de esta alternativa se muestra en la tabla siguiente, e incluye la ampliación de la capacidad de tratamiento terciario en la PTAR Zaragoza, para incorporar 15 l/s a la red morada.

Tabla 110. Costo de inversión para la prolongación de la red morada existente de la PTAR Zaragoza

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	IMPORTE
			MILLONES DE PESOS	
Ampliación de capacidad de tratamiento terciario en la PTAR Zaragoza	Lote	1	7.00	7.00
Línea de 10.16 (4 pulgadas)	km	12.67	4.87	61.70
Planta de rebombeo 30 HP	Lote	1	2.00	2.00
Depósito regulador 30 m ³	Tanque	1	0.75	0.75
				71.45

Fuente: elaboración propia

Las alternativas para reúso del agua en el largo plazo tendrán que partir de una revisión de la ubicación espacial de los mercados potenciales de agua residual tratada de la ciudad de Mexicali, con el fin de definir el diseño de las posibles rutas de las líneas conductoras de agua tratada hacia los sitios de reúso.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Considerando el mercado potencial de usos del agua, se recomienda ver la factibilidad de ampliar la capacidad disponible, en caso de requerirse, y diseñar la red y los equipamientos necesarios para la distribución, como son sitios de almacenamiento, plantas de bombeo o cualquier otro aspecto que se considere necesario.

3.4.5 Selección de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

De existir demanda suficiente de aguas residuales tratadas, el siguiente paso será entonces localizar nuevos sitios para ubicar otras plantas de tratamiento regeneradoras de aguas residuales tratadas, que puedan satisfacer la demanda futura, considerando los costos del reúso, que incluyen los costos de infraestructura que a continuación se describen:

- Costos de producción y distribución del agua regenerada.
- Costos de inversión: adquisición de terrenos, líneas de distribución, maquinaria y equipo, instalaciones y obras de conexión.
- Costos de financiamiento de la inversión.
- Costos de operación y mantenimiento fijos y variables.

Actualmente, la alternativa de infraestructura complementaria está centrada en concluir el desarrollo del Parque Metropolitano de Las Arenitas, en las etapas faltantes, y que es interés de los Gobiernos estatal y municipal.

3.5 Integración de la cartera de acciones y proyectos

Una vez que se cuenta con la identificación de las principales acciones y proyectos de saneamiento, es fundamental desarrollar en forma consistente cada uno de estos, así como conformar una Cartera de Programas y Proyectos de Inversión, que en nuestro país es el instrumento principal del sistema de inversión pública para proveerlos de los recursos que se requieren para su ejecución.

La integración de la cartera de acciones y proyectos está sujeta a un proceso previo, bajo diversos criterios de priorización que pasan por la revisión y selección de alternativas para obtener el soporte y maduración de cada proyecto, que incluye consensos, ingeniería básica, estudios, e ingeniería de detalle, para que puedan ejecutarse en el tiempo adecuado.

El proceso descrito incluye varias fases del proyecto, que van desde su identificación, hasta su ejecución; estas fases comprenden dos grandes conceptos: preinversión e inversión, y permiten determinar en un momento dado si un proyecto es susceptible de que se le apliquen recursos del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) para realizarlo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 60. Proceso de maduración de los proyectos elegibles para inversión pública



Fuente: elaboración propia

3.5.1 Acciones y proyectos para colectores principales y obras de captación y conducción
Las acciones y proyectos de colectores principales y emisores existentes se programaron, en primer orden de prioridad, conforme a los requerimientos de sustitución o de rehabilitación por deterioro y edad que ya se ha planteado desde las condiciones del “semáforo”, y su ejecución se programará de acuerdo como se vaya documentando el proceso de soporte de los proyectos.

Tabla 111. Colectores y emisores de la zona Mexicali I y Mexicali II.

NO.	PROYECTO	COSTO MDP	INICIO	FIN
1	Rehabilitación de siete emisores a presión y reposición de 14.7 km alcantarillado en varias colonias	137.10	2021	2021
2	Reposición de 11,760 metros de alcantarillado sanitario de concreto en 17 colonias cuya antigüedad es de más de 50 años, y rehabilitación de 3 PBAR's.	130.85	2021	2021
3	Reposición de tubería (diámetros entre 38 y 137 cm), que ha cumplido su vida útil o la cumplirá en los próximos cinco años (7.22 km)	27.10	2022	2024
4	Reposición de tubería (diámetros entre 38 y 183 cm), con daño severo que ya cumplió su vida útil (8.54 km) en varias colonias de Mexicali	67.52	2021	2021
5	Reposición de tubería de 91 cm de diámetro, que ha cumplido su vida útil o la cumplirá en los próximos cinco años (1.72 km)	15.92	2021	2021
6	Reposición de tubería (diámetros entre 40 y 122 cm), con daño severo (2.29 km)	36.36	2021	2021
7	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), que actualmente es de concreto (2.07 km)	6.21	2021	2021
8	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), con daño severo (22.29 km)	59.92	2022	2024
9	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), colapsada (26.39 km)	81.84	2021	2021
10	Reposición de línea de alcantarillado sanitario en la avenida José Sánchez Islas, entre las calles I y J, en colonia Nacozari	0.42	2021	2021
11	Rehabilitación de pozos de visita que presentan daño severo (598 pozos)	12.12	2021	2021
12	Rehabilitación de pozos de visita que presenta daño leve (28,007 pozos)	113.25	2025	2030



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

NO.	PROYECTO	COSTO MDP	INICIO	FIN
13	Construcción de línea de alcantarillado para sacar de operación el cárcamo sureste en fraccionamiento Campestre	0.25	2025	2030
14	Rehabilitación de pozos de visita que presentan daño intermedio (14,897 pozos)	150.59	2031	2050

Fuente: elaboración propia

En cuanto a la infraestructura de colectores para atender el crecimiento de la población y la expansión urbana, así como la incorporación de los diferentes componentes del sistema de alcantarillado, se analizaron considerando la conveniencia de programar las obras por etapas, vigilando la congruencia entre los elementos que las integran y entre las etapas que se proponen para cada sistema, viendo en todo momento que cada una pueda entrar en operación cuando se requiera; sin embargo, corresponderá al organismo operador crear las condiciones para atender, en primer orden, la cobertura del sistema de distribución del agua potable.

Tabla 112. Red de alcantarillado, colectores y emisores requeridos en el corto plazo, Mexicali III y IV

NO.	PROYECTO	COSTO MDP	INICIO	FIN
15	Ampliación de área sin servicio de agua potable y sin alcantarillado sanitario (276 ha), con tubería de PVC de entre 20 y 45 cm, en la zona Mexicali III	56.80	2022	2024
16	Ampliación de la red de alcantarillado a zonas rurales del municipio de Mexicali, BC	232.90	2025	2030
17	Construcción del colector Recuerdos B, de 5965 metros de longitud y 20 pulgadas de diámetro de PVC	66.99	2031	2050
18	Construcción del colector Recuerdos, de 1325 m de longitud y 30 pulgadas de diámetro de PVC	21.14	2025	2030
19	Construcción del colector Recuerdos de 3980 m de longitud y 20 pulgadas de diámetro de PVC	44.70	2025	2031
20	Construcción del colector Recuerdos (emisor Zaragoza), de 4025 metros de longitud y 36 pulgadas de diámetro de PVC	72.99	2025	2030
21	Construcción del colector Camino Nacional, de 5670 metros de longitud y 20 pulgadas de diámetro de PVC	63.68	2024	2031

Fuente: elaboración propia

Tabla 113. colectores y emisores en áreas de crecimiento III y IV

NO.	PROYECTO	COSTO MDP	INICIO	FIN
22	Construcción del subcolector Coronita 2 (afluente del colector Recuerdos B), de 2620 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	27.20	2031	2050
23	Construcción del subcolector Coronita de 3200 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	33.22	2031	2050
24	Construcción de colector Heriberto Jara, de 4745 metros y 20 pulgadas de diámetro de PVC	53.29	2031	2050
25	Construcción del colector Progreso, de 2737 metros de longitud y 24 pulgadas de diámetro de PVC	35.86	2031	2050
26	Construcción del subcolector Baja California, de 2798 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	29.05	2031	2050
27	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), que ha cumplido con su vida útil o la cumplirá en los próximos cinco años (160.0 km)	492.46	2025	2030
28	Emisor del efluente de la PTAR Arenitas (9.46 km, 60 pulgadas diámetro)	205.00	2021	2021
29	Emisor Sur influente de la nueva PBAR, de 48" de diámetro y 18.4 km de longitud (incluye PBAR-sur)	453.75	2025	2030
30	Ampliar red de alcantarillado en área con servicio de agua potable sin alcantarillado sanitario (1324 ha), con tubería de PVC entre 20 y 45 cm.	272.65	2022	2024



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

NO.	PROYECTO	COSTO MDP	INICIO	FIN
31	Construcción de red de alcantarillado sanitario, planta de bombeo y emisor para el ejido Oviedo Mota	110.00	2025	2030
32	Ampliación de la red de alcantarillado a zonas urbanas del municipio de Mexicali, BC	820.00	2031	2050
33	Construcción de la red de alcantarillado sanitario en la colonia Maquío, en Colonias Nuevas (km 57)	0.56	2025	2031
34	Expansión y conexión de alcantarillado sanitario (mediano plazo) en el municipio de Mexicali, BC	295.07	2025	2030
35	Construcción del colector del Sur, de 36 pulgadas de diámetro de PVC (5.023 km)	91.09	2025	2030
36	Construcción del colector del Sur, de 9342 m y 30 y 24 pulgadas de diámetro de PVC	132.31	2031	2050
37	Construcción del colector Noreste en los tramos A Y B, de 14.2 km de longitud y 24 y 30 pulgadas de diámetro de PVC	204.14	2025	2031

Fuente: elaboración propia

Tabla 114. Estudios y proyectos de colectores

NO.	PROYECTO	COSTO MDP	INICIO	FIN
38	Construcción del subcolector La Pluma de 4170 metros de 18 pulgadas de diámetro de PVC	43.29	2031	2050
39	Construcción del colector Puebla, de 6070 m de longitud y 24 pulgadas de diámetro de PVC	79.52	2031	2050
40	Construcción del subcolector Roa, de 4090 metros de longitud y 20 pulgadas de diámetro de PVC	45.93	2031	2050
41	Construcción del subcolector Fuentes de Puebla, de 3140 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	32.60	2031	2050
42	Construcción del subcolector Libramiento, de 2113 metros de longitud y 20 pulgadas de diámetro de PVC	23.73	2031	2050
43	Construcción del colector Choropo de 30 y 24 pulgadas de diámetro de PVC	101.65	2025	2030
44	Construcción del colector Choropo "C", de 2720 metros de longitud y 20 pulgadas de diámetro de PVC	30.55	2025	2030
45	Construcción del subcolector Choropo 1, de 4275 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	44.38	2031	2050
46	Construcción del subcolector Choropo 2, de 3710 m de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	38.51	2031	2050
47	Construcción del subcolector Choropo 3, de 3340 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	34.67	2031	2050
48	Construcción del subcolector Choropo 4, de 4,860 m de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	54.58	2025	2030
49	Construcción del subcolector Choropo 5, de 2466 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	25.60	2031	2050
50	Construcción del subcolector Choropo Auxiliar, de 2726 metros de longitud y 18 pulgadas de diámetro de PVC	28.30	ene-25	dic-30

Fuente: elaboración propia

Para estimar las necesidades de inversión, el criterio es proponer, en primer orden, aquellos que ya están en programas y que requieren su atención prioritaria para evitar colapsos en el sistema y que se produzcan problemas sanitarios en la población de Mexicali, por una parte, y que sean susceptibles de causar daños en ambos lados de la frontera, por otra parte.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Algunas redes de atarjeas, colectores y emisores requieren una programación de más corto plazo, ya sea porque forman parte de las obras que están en proceso de definición y estudio, o bien porque se requieren para cubrir una necesidad del saneamiento por ser una carencia de la población.

El resto de los colectores se programarán a mediano y largo plazos conforme exista mayor precisión en la definición de los proyectos.

3.5.2 Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales

Al igual que para el caso de los colectores, se señalan, en primer orden, las prioridades de rehabilitación de la infraestructura en operación, ya que de esta depende el buen funcionamiento del sistema y evitar problemas de contaminación y derrames de aguas residuales.

Entre las acciones y proyectos de plantas de bombeo principales, de acuerdo con el proceso de maduración, y conforme se requiera su construcción, se incrementará el nivel de detalle y definición de los proyectos de plantas de bombeo.

Tabla 115. Proyectos de plantas y cárcamos de bombeo de aguas residuales, Mexicali, B.C.

NO.	PROYECTO	COSTO MDP	INICIO	FIN
51	Rehabilitación de 12 cárcamos de bombeo de aguas residuales	82.33	2021	2021
52	Rehabilitación de los cárcamos Anáhuac, El Vidrio, San Pablo, Lucerna, y pretratamiento de PBAR 8, que consiste en suministro de 10 bombas centrífugas	3.00	2022	2024
53	Construcción del cárcamo de bombeo de aguas residuales en 6ta. y Carranza	4.20	2021	2021
54	Rehabilitación de la PBAR 3, que consiste en suministro e instalación de criba fina	1.98	2025	2030
55	Rehabilitación de cinco cárcamos de Gpe. Victoria, que consiste en suministro de 10 bombas centrífugas	5.00	2025	2030
56	Construcción y puesta en marcha de CBAR Puebla	3.00	2031	2050
57	Construcción y puesta en marcha de CBAR Choropo	10.00	2025	2030
58	Construcción y puesta en marcha de CBAR Progreso	3.00	2031	2050
59	Construcción y puesta en marcha de PBAR Santa Isabel	5.00	2031	2050
60	Construcción y puesta en marcha de PBAR Zaragoza	17.35	2025	2030

Fuente: elaboración propia

Tabla 116. Estudios y proyectos de alcantarillado y saneamiento

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO
66	Estudio para la Planeación del Saneamiento del Valle de Mexicali	3.50	2022	2024
68	Proyecto ejecutivo de la red de alcantarillado sanitario en el poblado Pescaderos	2.00	2025	2030
69	Proyecto ejecutivo de la red de alcantarillado sanitario en el poblado Dr. Oviedo Mota (reacomodo) y colonia Carranza	2.00	2025	2030

Fuente: elaboración propia

3.5.3 Acciones y proyectos para infraestructura para el reúso de agua

Entre las primeras acciones es importante llevar a cabo estudios de mercado y de factibilidad financiera del reúso de las aguas residuales tratadas, para aprovecharlas de acuerdo con un esquema de distribución espacial, planteado para aquellos volúmenes de agua que con el tiempo se vayan incrementando.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Una alternativa a considerar, por ser más favorable en las condiciones actuales, consiste en ampliar la red morada, de tal forma que llegue a usuarios que es posible que puedan utilizar aguas residuales tratadas.

Tabla 117. Proyectos de reúso de agua residual tratada, Mexicali, BC

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO
70	Ampliación de la red morada en una longitud de 12.67 km y 4 pulgadas de diámetro	71.45	2025	2030

Fuente: elaboración propia

Se requiere analizar la demanda de aguas residuales tratadas para reutilizarlas en diversos usos que no requieran agua de primer uso.

3.5.1 Acciones y proyectos para plantas de tratamiento

En las condiciones actuales del sistema de saneamiento, la necesidad más urgente nos refiere a la ampliación de la PTAR Arenitas de la que depende una zona muy importante de la ciudad y de las zonas de crecimiento urbano.

La ampliación de la planta de tratamiento Las Arenitas se requiere en el corto plazo, y pudiera explorarse la posibilidad de instrumentar un esquema de Asociación Público-Privada, en un paquete que incluya la planta de bombeo Principal Sur y los emisores de influente y efluente.

Tabla 118. Acciones y proyectos de plantas de tratamiento para Mexicali al año 2050

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO
61	Ampliación de la PTAR Arenitas, de 840 a 1900 l/s, y cumplimiento del PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, para descarga de aguas residuales, mediante aireación sobre extendida	475.00	2021	2022
62	Trabajos en las plantas de tratamiento de aguas residuales Zaragoza, Las Arenitas, Los Algodones, Ciudad Morelos y San Felipe para mejorar su operación.	56.75	2021	2023
63	Rehabilitación de la PTAR Gpe. Victoria (km 43), que consiste en suministro e instalación de criba fina	1.98	2025	2030

Fuente: elaboración propia

Previamente a las acciones de adecuación del proceso de tratamiento de la PTAR Zaragoza, se realizará el estudio y proyecto ejecutivo para que esta planta cumpla con la NOM-001-SEMARNAT-2017.

Tabla 119. Estudios y proyectos de saneamiento para Mexicali, BC

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO
65	Proyecto ejecutivo para el aprovechamiento de la infraestructura existente y mejoramiento del proceso de tratamiento para dar cumplimiento al PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 de la planta de tratamiento de aguas residuales Zaragoza, con capacidad actual de 1300 l/s	3.50	2021	2021

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.5.2 Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación

La infraestructura que se propone en Mexicali, la cual se ha estado impulsando por administraciones municipales y por el Gobierno del Estado de Baja California, es el Parque Metropolitano Arenitas.

Tabla 120. Acciones y proyectos de infraestructura complementaria, Mexicali, BC

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO
64	Parque Metropolitano Las Arenitas	52.74	2025	2030
67	Estudio de clasificación de contaminantes del río Hardy	4.00	2025	2030

Fuente: elaboración propia

El anexo de este capítulo serán las fichas técnicas de cada proyecto



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

4 Organización y alternativas de financiamiento

Actualmente, el presupuesto del sector público, en general, y el relacionado con el sector hídrico, en particular, conforme a lo observado en años recientes, presenta problemas para enfrentar por sí solo los retos de inversión para ampliación y mejora de infraestructura, por lo que la búsqueda de diversas fuentes de inversión tendrá que ser un objetivo primordial.

La política hídrica en México debe responder a un doble desafío: por un lado, reducir los retrasos a los que se enfrenta el sector en materia de infraestructura de agua potable y saneamiento, en algunas zonas del país; por otra parte, debe encarar las nuevas condiciones que se vislumbran en un futuro cercano, como los cambios demográficos, de política pública, sociales y económicos, así como los efectos del cambio climático sobre el territorio, y el respeto al medio ambiente, por lo que la diversidad de actores que intervienen deben conjuntar y alinear esfuerzos.

Además de los recursos propios de los organismos, las fuentes de la banca de desarrollo y la participación del sector privado son temas que deben profundizarse para definir hasta dónde deberá incrementarse este tipo de inversiones mediante la colaboración con el sector público en la provisión de servicios, ya sea de manera directa (proveedor), o a través de la inyección de recursos de capital, que permitan el desarrollo de las obras de mayor envergadura. No cerrar la brecha de inversión para la ampliación y mejora de infraestructura, traerá importantes costos en términos de falta de competitividad y efectos medioambientales, con su respectivo impacto en los niveles de calidad de vida de la población.

Se requiere, entre otras cosas, mejorar el desempeño de los organismos prestadores de servicios de agua y saneamiento para que estos sean financieramente sostenibles y para que incrementen las capacidades que apoyen su autosuficiencia financiera

Entre las acciones que tendrían que impulsarse para la sostenibilidad de los sistemas de agua y saneamiento, se encuentran: el establecimiento de una política de recaudación más eficaz; la aplicación de tarifas más realistas y la ampliación de los esquemas de administración descentralizada.

4.1 Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento

El financiamiento de las obras de saneamiento generalmente encuentra muchas dificultades para obtener un financiamiento adecuado para su desarrollo y mantenimiento, debido a varios factores; por ejemplo, que la infraestructura requerida para los servicios de saneamiento es muy costosa y se amortiza en períodos prolongados y, una vez construida, representa un costo irrecuperable con poco valor o sin valor alternativo.

En Mexicali, los requerimientos globales de inversión para cubrir necesidades de infraestructura de saneamiento al año 2050 son del orden de 6,049.0 mdp para 70 proyectos.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 121. Resumen de los requerimientos de inversión para Mexicali, BC, en alcantarillado y saneamiento, al año 2050, por tipo de infraestructura

	CONCEPTO	INVERSIÓN (mpd)	FUENTES DE FINANCIAMIENTO (millones de \$)				EJECUCIÓN	
			FEDERAL	ESTATAL O MUNICIPAL	NADBANK	PRIVADA	INICIO	FIN
70	MEXICALI, BC	6,049.4	2,048.7	2,975.2	175.1	850.3	2021	2050
3	Colectores y emisores	5,245.1	1,866.4	2,750.7	34.0	494.1	2021	2050
14	Rehabilitación Sustitución Reequipamiento Renovación	1,331.6	465.7	732.0	134.0	-	2021	2050
36	Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento	3,905.9	1,397.7	2,014.2	-	494.1	2021	2050
3	Estudios y proyectos Otros	7.5	3.0	4.5	-	-	2022	2030
10	Plantas de bombeo y rebombeo	138.9	35.0	62.7	41.2	-	2021	2050
4	Rehabilitación Sustitución Reequipamiento Renovación	92.3	16.3	34.8	41.2	-	2021	2030
6	Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento	46.6	18.6	27.9	-	-	2021	2050
4	Plantas de tratamiento	537.2	96.1	84.8	-	356.3	2021	2030
2	Rehabilitación Sustitución Reequipamiento Renovación	58.7	23.5	35.2	-	-	2021	2030
1	Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento	475.0	71.3	47.5	-	356.3	2021	2021
1	Estudios y proyectos Otros	3.5	1.4	2.1	-	-		
1	Sistema de reúso	71.5	28.6	42.9	-	-	2025	2030
1	Ampliación Reforzamiento Construcción Equipamiento	71.5	28.6	42.9	-	-		
2	Infraestructura complementaria	56.7	22.7	34.0	-	-	2025	2030

Fuente: elaboración propia

Ilustración 61. Requerimientos de inversión para el saneamiento de las aguas residuales por tipo de fuente de financiamiento en la ciudad de Mexicali al año 2050



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Principales actores del sector agua y saneamiento, relacionados con los ámbitos de gobierno, que apoyan el financiamiento de acciones e infraestructura para agua y saneamiento:

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es un organismo del Gobierno federal que administra, emite normas relativas a los usos del agua en México y apoya con diversos programas la creación de infraestructura y acciones para el mejor desempeño de sistemas usuarios del agua; depende de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que se encarga de apoyar y desarrollar normativas ambientales. Además, la CONAGUA es un órgano consultivo con respecto a las 13 regiones hidrológico-administrativas en que se subdivide la gestión del agua en el país.

BANOBRAS: es un organismo que se encarga de financiar o refinanciar proyectos de inversión en infraestructura (tanto públicos como privados) o servicios públicos de los Gobiernos federal, estatales y municipales. Es dependiente de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), y administra el Fondo Nacional de Infraestructura

GOBIERNOS ESTATALES/MUNICIPALES: son los responsables, a través de su organización administrativa, de los programas y acciones específicas en la prestación de los servicios para el suministro de agua potable y el saneamiento. Disponen de participación en los organismos operadores y son decisivos a la hora de impulsar proyectos de inversión.

ORGANISMOS OPERADORES: son los encargados de proporcionar directamente a la población los servicios de agua potable, drenaje y alcantarillado. Planean y administran la infraestructura, y recaudan recursos para operar los sistemas. Históricamente han presentado problemas de eficiencia, y en general tienen problemas de sostenibilidad financiera.

CONCESIONARIAS: son empresas que en ocasiones se contratan para desarrollar en zonas designadas actividades vinculadas con el sistema comercial, infraestructura hidráulica y otros inherentes que forman parte de los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como de tratamiento de aguas residuales.

Otros organismos, instituciones y fuentes de financiamiento que apoyan el financiamiento de infraestructura

BANCO DE AMERICA DEL NORTE (BANDAN-NADBANK): es una fuente específica para la región de la frontera norte que se orienta al fortalecimiento de lazos y alianzas estratégicas entre México y Estados Unidos, para posibilitar estrategias orientadas a resolver problemas de interés en el ámbito socioambiental.

El BANDAN financia infraestructura a través de créditos, y a través de recursos no reembolsables; es decir, recursos sin contrapartida. Sin embargo, es posible observar cómo estas dos fuentes de financiamiento del banco pueden utilizarse conjuntamente para ofrecer un mayor porcentaje de recursos, con el fin de financiar los proyectos de infraestructura.

Los recursos no reembolsables para proyectos de saneamiento se constituyen por fondos BEIF (Border Environmental Infrastructure Fund), que es un fondo establecido por la EPA (Environmental



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Protection Agency) de Estados Unidos, para financiar proyectos de agua y saneamiento. Estos recursos pueden destinarse a proyectos en México, siempre que haya algún beneficio fronterizo.

La CILA es un organismo de carácter binacional, que ha enfocado su acción, además de los asuntos relativos al reparto de las aguas de los ríos internacionales entre México y Estados Unidos, y también en el desarrollo de soluciones binacionales, consistentes en proyectos de infraestructura que dan solución a problemáticas ambientales que afectan en ambos lados de la frontera. La jurisdicción de la CILA tiene representación a lo largo de la frontera de México con Estados Unidos, particularmente en áreas donde pueden existir proyectos concernientes a los límites o aguas internacionales.

Las Asociaciones Público-Privadas (APP) son un importante instrumento para movilizar recursos y crear nueva inversión en infraestructura económica que se ha extendido entre los países de América Latina, desde fines de la década de los años ochenta y principios de la de los noventa del siglo anterior. Estas asociaciones constituyen alianzas entre el sector público y uno o más socios privados, en las que se establecen contratos de largo plazo con distribución de riesgos y responsabilidades entre las partes para la construcción, operación y administración de infraestructura para la provisión de un servicio público.

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

Los estudios y proyectos pueden ser realizados utilizando diversas fuentes de financiamiento, ya sea con recursos propios, o mediante los programas del Banco de América del Norte (BANDAN), o bien apoyándose en los programas como el PRODI, que tiene una componente de estudios e infraestructura en donde pueden incluirse estudios, como los que se describen a continuación:

- Eficiencia operativa y comercial.
- Estudios tarifarios.
- Eliminación de fugas.
- Actualización de padrones de usuarios.
- Mejora de infraestructura hidráulica.
- Diagnósticos de eficiencia energética y eficiencia de equipos.

El Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA), promueve estrategias de la CONAGUA, a través del Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN), para fomentar la sostenibilidad operativa y financiera de los entes públicos relacionados con el sector hídrico, hasta por el 50 %, para la elaboración o actualización de estudios, hasta el 50 % del costo de la asesoría estratégica para la licitación y cierre financiero del proyecto, y hasta el 49 % del costo total del proyecto.

Esta estrategia incluye estudios como los descritos en la siguiente lista:

- Diagnósticos de planeación integral.
- Ingenierías básicas.
- Evaluación socioeconómica



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- Análisis de conveniencia de una APP.
- Asesorías estratégicas.
- Plantas desaladoras.
- Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- Sostenibilidad operativa y financiera.

4.1.2 Planteamiento de opciones de organización para la ejecución

Ante el contexto actual, resulta evidente que los desafíos del financiamiento de la infraestructura son muy grandes y requerirán de una mayor complementación entre los recursos propios de los organismos operadores, el sector privado, el sector público y la banca de desarrollo, así como también motiva a encontrar nuevas fuentes e instrumentos para financiar la infraestructura de saneamiento en la región.

Una identificación general de fuentes se muestra en la ilustración 62.

Ilustración 62. Identificación de fuentes de financiamiento en la región fronteriza Mexicali



Fuente: elaboración propia

La organización del financiamiento de la ejecución de obras gráficamente puede representarse de la siguiente forma:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 63. Fuentes de financiamiento para la ejecución de obras

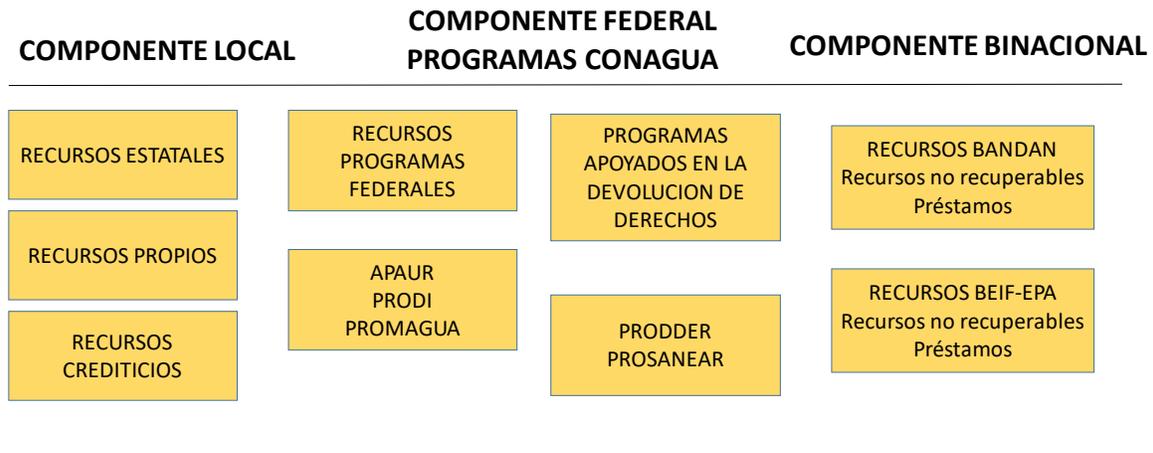


Tabla 122. Programas de financiamiento mediante programas federales de la CONAGUA

Programa/Dependencia (tipo de recursos)	Descripción/(apartado)	Propósito	*Monto
Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento PROAGUA)/CONAGUA Recursos fiscales (subsidios)	Programa federal a cargo de la Conagua que apoya el financiamiento de obras y acciones mediante cinco apartados: Urbano (APAU); Rural (APARURAL); Proyecto para el Desarrollo Integral de Organismos Operadores de Agua y Saneamiento (PRODI); Agua Limpia (AAL) y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (APTAR).	Incrementar y sostener la cobertura y/o eficiencias de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, a través del apoyo al financiamiento de obras de infraestructura y acciones para el desarrollo de dichos servicios, en localidades urbanas y rurales del país.	Costo per cápita será hasta de \$7,164.00, Apoyo entre 30 y 40 % Poblaciones >500,000 hab
	APAU	Incrementar o sostener la cobertura y mejorar la eficiencia en la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento básico, al apoyar obras y acciones en localidades a partir de 2,500 habitantes, que permitan avanzar en el cumplimiento del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua	Costo per cápita será hasta de \$7,164.00, Poblaciones >500,000 hab Apoyos entre 30 y 40 %
	PRODI	Desarrollar capacidades técnicas, operativas, recaudatorias y administrativas para mejorar la calidad del servicio de agua potable en poblaciones, preferentemente entre 50,000 y 900,000 habitantes, La finalidad será impulsar su sostenibilidad operativa y financiera mediante la reducción de costos de operación, el incremento de los ingresos propios y la reducción de pérdidas físicas de agua.	Base = 40 % Monto de Programa Hasta 70 % en zonas de atención prioritaria
	APATAR	Incrementar o mejorar la cobertura, mediante apoyo financiero y técnico a obras y acciones para tratar aguas residuales de origen municipal, cumpliendo con los parámetros establecidos en permisos de descarga de acuerdo con la normatividad aplicable, incrementando la capacidad instalada de tratamiento, mejorando la calidad del agua e impulsando el ahorro de energía en los organismos operadores.	Recursos Federales=Monto del Pago de Derechos en el ejercicio fiscal al 15 de noviembre.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 123. Programas con base en la devolución del pago de derechos: CONAGUA

Programa/Dependencia (tipo de recursos)	Descripción/(apartado)	Propósito	*Monto
PROSANEAR/CONAGUA Devolución de Derechos	El Programa de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR), tiene como objetivo la asignación de recursos federales provenientes del pago de derechos por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales.	Apoyar acciones de construcción o implementación de infraestructura, operación y mejoramiento de eficiencia de saneamiento encaminadas a mejorar o mantener la calidad de las aguas residuales a fin de no rebasar los límites permisibles establecidos en los permisos correspondientes y la normatividad aplicable.	Recursos Federales=Monto del Pago de Derechos en el ejercicio fiscal al 15 de noviembre.
PRODDER/CONAGUA	El objetivo principal del Programa de Devolución de Derechos (PRODDER) es asignar recursos a los prestadores de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento provenientes del pago de derechos para que realicen acciones de mejora de eficiencia.	Apoyo a los Prestadores de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento para incrementar eficiencias, coberturas y mejorar la prestación del servicio. Promoción de la inversión en infraestructura hídrica.	Recursos Federales=Monto del Pago de Derechos en el ejercicio fiscal al 15 de noviembre.

Fuente: elaboración propia

Tabla 124. Fuentes de financiamiento: recursos de la Banca de Desarrollo Nacional e Internacional

Programa/Banco	Descripción/(apartado)	Propósito	Monto
(FONADIN),BANOBRAS Banca de desarrollo nacional	Para impulsar obras de infraestructura social, (Banobras), implementa el Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (Promagua), destina apoyos no recuperables para el financiamiento parcial de estudios y proyectos a través del FONADIN.	Construcción de: Acueductos Plantas desaladoras Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Sostenibilidad operativa y financiera	Apoyos financieros hasta del 50 por ciento para la elaboración de estudios de preinversión, así como hasta del 49 por ciento del costo total del proyecto.
Banco de Desarrollo de América del Norte (NADBANK) Institución financiera bilateral en el marco del Tratado de Libre Comercio y capitalizada en partes iguales por México y Estados Unidos	Desarrollar proyectos sustentables desde un punto de vista ambiental y financiero, con amplio apoyo comunitario, en un marco de colaboración y coordinación estrechas entre los dos países.	Financiamiento a entidades públicas y privadas de la región fronteriza México y Estados Unidos, para apoyar la implementación de proyectos de infraestructura ambiental.	De acuerdo con las características del proyecto y las necesidades financieras del promotor, entre las cuales se incluyen créditos directos, líneas de crédito revolvente y participación en emisiones de bonos municipales.

Fuente: elaboración propia

4.1.3 Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado y saneamiento corresponde a la CESPM, y los recursos que se aplican provienen de la recaudación por el cobro de los servicios. Los organismos operadores también reciben algunos recursos presupuestarios que provienen de devolución de impuestos o de subsidios federales específicos para operación, como los del Programa de Devolución de Derechos (PRODDER).

En 2019 los costos operativos netos de recolección de aguas negras en el municipio de Mexicali fueron por 348.52 mdp, y el costo neto de tratamiento del agua fue por 172.82 mdp, con lo que el costo de operación en saneamiento fue por 521.34 mdp, de un total erogado de 1,804.27 mdp, por lo que el gasto de operación en saneamiento equivalió al 28.9 % del total.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Por lo anterior, la actualización tarifaria, conforme a los gastos reales, vinculada a estructuras de costos, finanzas e inversiones, que pueda ser evaluada y modificada en cada ejercicio fiscal, de acuerdo con los escenarios y proyecciones que generen beneficios económicamente viables, y socialmente aceptables, con base en las capacidades de pago de cada sector, tendrá que ser una de las prioridades de la CESPM.

4.2 Análisis de riesgos y formas de absorberlos o mitigarlos

La prestación de los servicios de agua y saneamiento puede verse afectada por eventos de diversa naturaleza que pueden desencadenar situaciones de emergencia que impactan directamente en la salud pública de las poblaciones relacionadas. En una ciudad como Mexicali, ante la ocurrencia de un evento de este tipo, es fundamental y prioritario garantizar la continuidad y calidad de los servicios de agua potable y saneamiento, lo que lleva a pensar en la necesidad de desarrollar procesos eficientes de coordinación, planeación y organización, orientados a la reducción del riesgo.

Para comprender el tema, ya que existen diversas formas de abordarlo, es necesario recordar tres conceptos que nos permitirán uniformar los criterios del análisis.

- **Amenaza:** la entenderemos como la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino de origen diverso: natural, político o administrativo.
- **Vulnerabilidad:** entendida como la susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una organización, o una comunidad, de sufrir daños o pérdidas, en caso de materializarse una amenaza.
- **Riesgo:** la probabilidad de que se presente una amenaza sobre un sistema que tiene cierta vulnerabilidad, por lo que el riesgo es función de ambos conceptos (amenaza por vulnerabilidad).

A partir de estos conceptos, la reducción del riesgo comprende acciones relacionadas con la prevención y mitigación, partiendo de un amplio conocimiento de las amenazas y vulnerabilidades a las que se ven expuestos los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento, para considerar las acciones necesarias en la eliminación o disminución de los riesgos, y para la mitigación de los impactos, cuando se requiera generar una adecuada respuesta ante una situación de emergencia o desastre.

Riesgos naturales

De acuerdo con información del Atlas de Riesgos del Municipio de Mexicali, este se localiza en una región de alta actividad sísmica, donde se han presentado sismos de magnitud $M > 7$. Sin embargo, debido a que los asentamientos humanos en esta región son recientes (poco más de un siglo), no existe un registro de los efectos presentados tiempo atrás.

La regionalización sísmica de México, elaborada por la Comisión Federal de Electricidad (2008) y CENAPRED (2001), basada en los registros históricos de grandes sismos en México, en los catálogos de sismicidad y en los datos de aceleración del terreno, como consecuencia de sismos de gran magnitud, destaca que el municipio de Mexicali se sitúa en una región con categoría D, que se refiere



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

a zonas donde han ocurrido con frecuencia grandes temblores (sismos mayores a 7) con altas aceleraciones del terreno, por lo que se consideran zonas de muy alto peligro sísmico.

Un punto importante a destacar, entre otros, son las principales causas de vulnerabilidad INSTITUCIONAL de los organismos operadores de agua y saneamiento, ya que se asocia con la disponibilidad de recursos presupuestarios; obsolescencia de su INFRAESTRUCTURA (antigüedad); altos porcentajes de agua no contabilizada; tarifas que no cubren todos los costos e inversiones; falta de continuidad en la gestión; insuficientes recursos económicos y humanos, y a veces falta de actualización de las leyes y carencia de planes y programas actualizados y de largo alcance.

Derivado de esta debilidad institucional se identifican algunos riesgos, como los que se describen a continuación:

Riesgos relacionados con la realización o terminación de las obras

De acuerdo con lo anterior, los riesgos relacionados con la realización o terminación de las obras se refieren a los riesgos de no realización, terminación o retraso en la finalización de las obras, puntualizados de la siguiente forma:

- a) No terminación de las obras;
- b) Retrasos en la construcción o sobre costo de la mismas;
- c) Incapacidad del proyecto para cumplir con los objetivos técnicos y de capacidad requeridos o esperados;
- d) Escasez de la materia prima necesaria para la ejecución de las obras;
- e) Falta de personal calificado necesario para realizar y operar el proyecto.

Riesgos económicos y financieros

En este sentido, quedan incluidos diferentes factores económicos, internos o externos, que pueden afectar el desarrollo normal del proyecto y su posterior explotación. Los cambios en la economía, de la que se beneficia directamente el proyecto, pueden generar incertidumbre para los participantes en el mismo.

El financiamiento y obtención de recursos para adelantar o tener la infraestructura cuando se requiere son puntos centrales.

Este tipo de riesgo incluye el cambiario, ya que son de igual importancia los cambios en el valor de los productos o materia primas necesarias para ejecutar el proyecto, en caso de requerir equipos o materiales importados.

Riesgos relacionados con factores técnicos

En este sentido, puede definirse el riesgo técnico como aquel que se materializa cuando los estudios técnicos de factibilidad del proyecto resultan incorrectos.

En resumen, los principales riesgos a los que pudieran enfrentarse los proyectos de la cartera que se gestiona se describen en la tabla 125



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

4.2.1 Identificación de riesgos (construcción de matriz)

Tabla 125. Matriz de identificación de riesgos

Tipo de Riesgo	Descripción	Forma de mitigarlos
1.- Riesgo económico-financiero	No contar con suficiencia presupuestal federal o la contraparte estatal	Mantener activa diversidad de fuentes
	No contar con suficiencia presupuestal de la contraparte privada o de la Banca de Desarrollo o Privada	Ir ajustando tarifas de forma tal que permitan incrementar los recursos para inversión
	El presupuesto de los recursos económicos requeridos no fueron autorizados por cualquiera de los tres niveles de gobierno o de la Banca de Desarrollo o Privada	Mantener alta la calificación crediticia del organismo operador.
	Falta de disposición en tiempo y forma del presupuesto programado, desfasando la ejecución del proyecto u obra	
	Imposibilidad de contar con el otorgamiento de recursos económicos para la ejecución de obras	
2.- Legal	Problemas en el tipo de organización adoptada para financiar, construir y operar un proyecto	Preparar los proyectos con la anticipación adecuada para detectar problemáticas legales y buscar alternativas.
	Que no sea posible la adquisición de terrenos seleccionados para el desplante de las obras por temas legales como falta de escrituras, intestados, etc.	
	Que no se cuente con los permisos de libre paso o acceso o afectación, ya sea en terrenos privados o federales o no se cuente con la liberación de terrenos por ocupar	
3.- Administrativo	Que se presente atraso en la autorización de la cartera de proyectos o de los oficios de liberación de inversión	Mantener actualizada la cartera en la unidad de inversiones
	Que el proceso para la aceptación y certificación del proyecto por parte del BDAN se extienda demasiado	
	Proceso muy extensivo para la aceptación e incorporación en la cartera de proyectos de las inversiones de SHCP	
4- Social	Problemática que pudiera presentarse por la aplicación de ordenamientos legales en materia de agua	Que en la maduración de proyectos se considere a los beneficiarios como a posibles afectados
	Oposición de los habitantes por la reubicación de instalaciones	
	Malestar social por las afectaciones en el proceso de construcción y operación de las obras, principalmente ligado a polvo, olores y libre tránsito	Mantener comunicación con población del área de las obras para detectar inconformidades
	El proyecto no cuenta con la aceptación social, por afectaciones a los vecinos	
5.- Político/administrativo	Existe diferencia con respecto de las estrategias de los gobiernos federal, estatal y/o municipal	Vigilar la correcta alineación estratégica de los proyectos con los instrumentos nacionales y estatales. Buscar cubrir requisitos para la multiannualidad presupuestal de proyectos de gran magnitud.
	No corresponda con los proyectos planteados en el Plan Estatal de Desarrollo	
	Obras y/o proyectos cuya terminación trascienda en el término de la administración estatal o federal y no se le asignen recursos.	
6.- Técnico	Adquisición equivocada de bienes y/o equipamientos periféricos o en malas condiciones de operación	Buscar cuando sea posible la transferencia del riesgo mediante seguros
	Incumplimiento de las empresas contratadas para realizar los trabajos	
	No se cuente con el personal técnico para dar el seguimiento al proceso de supervisión y operación de las obras	Aplicar la afectación de fianzas y sanciones
7.- Ambiental y natural	Las labores de construcción y equipamiento se realicen en temporada lluviosa	Asegurar tomar en cuenta en los programas de obra las contingencias climatológicas
	No se cuenta con las aprobaciones en materia ambiental	
	Los trabajos de construcción y/u operación representen un riesgo para el medio ambiente o afecten a alguno de los atributos ambientales de la región.	Vigilar que se cuene con todos los estudios y trámites en materia ambiental de las obras.
	Que se presente un sismo fuerte	

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

4.2.2 Evaluación de riesgos

Los proyectos de construcción e infraestructura, sin importar su tamaño, son riesgosos por naturaleza. La gran cantidad de participantes, los numerosos procesos involucrados, los problemas ambientales y de administración, son razones que dan lugar al riesgo, por lo que es pertinente señalar la importancia de la gestión de diferentes tipos de riesgo.

La identificación de la vulnerabilidad posibilita aplicar alternativas de intervención: oportunas, técnicamente viables y económicamente factibles. En consecuencia, la Gestión del Riesgo es un instrumento para la protección de los servicios de agua y saneamiento, ya que son redes vitales para el funcionamiento de las ciudades.

La gestión de riesgos es pues una necesidad en los sistemas de saneamiento, ya que tienen diversas características que contribuyen a su vulnerabilidad:

- Presentan una extensa exposición en términos de su carácter lineal de gran longitud.
- Importante número de personas relacionadas o comprometidas para su operación.
- Requieren uso continuo y su interrupción o falla puede maximizar el impacto del evento.
- Son fácilmente saturables o sufren daño en caso de un desastre.
- Su operación es indispensable durante la emergencia y para la recuperación

Cada tipo de riesgo presenta cierto grado de posibilidad de ocurrencia y su calificación no es sencilla, aunque se busca que quede identificado, con el fin de implementar medidas de mitigación.

Para las obras y acciones identificadas en Mexicali, la clasificación de cada tipo de riesgo por proyecto es la siguiente:

Tabla 126. Clasificación del grado de riesgo para cada proyecto

CLASIFICACIÓN		TIPOS DE RIESGO (Tabla 125.)			
A	Riesgo alto	1	Económico	5	Político/ Administrativo
M	Riesgo medio	2	Legal		
B	Riesgo Bajo	3	Administrativo.	6	Técnico
		4	Social	7	Ambiental

Fuente: elaboración propia

Tabla 127. Identificación del grado de riesgo por proyecto de colectores y emisores zona Mexicali I

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	GRADO DEL RIESGO						
			1	2	3	4	5	6	7
1	Rehabilitación de siete emisores a presión, y reposición de 14.7 km alcantarillado en varias colonias	137.10	B	B	B	B	B	B	B
2	Reposición de 11,760 metros de alcantarillado sanitario de concreto en 17 colonias cuya antigüedad es de más de 50 años, y rehabilitación de tres PBAR.	130.85	B	B	B	B	B	B	B
3	Reposición de tubería (diámetros entre 38 y 137 cm), que ha cumplido su vida útil o la cumplirá en los próximos cinco años (7.22 km)	27.10	M	B	M	B	B	M	B
4	Reposición de tubería (diámetros entre 38 y 183 cm), con daño severo (5.69 km)	45.06	M	B	M	B	B	M	B
5	Reposición de tramos de tubería (diámetros entre 38 y 183 cm), colapsada (2.85 km)	22.56	M	B	M	B	B	M	B



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	GRADO DEL RIESGO						
			1	2	3	4	5	6	7
6	Reposición de tubería de 91 cm de diámetro, que ha cumplido su vida útil o la cumplirá en los próximos cinco años (1.72 km)	15.92	M	B	M	B	B	M	B
7	Reposición de tramos de tubería (diámetros entre 40 y 122 cm), colapsada (2.29 km)	36.40	M	B	M	B	B	M	B
8	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), que actualmente es de concreto (2.07 km)	2.39	M	B	M	B	B	M	B
9	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), con daño severo (2.29 km)	59.92	M	B	M	B	B	M	B
10	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), colapsada (26.39 km)	29.99	M	B	M	B	B	M	B
11	Reposición de línea de alcantarillado sanitario en avenida José Sánchez Islas, entre las calles I y J, en la colonia Nacozari	0.42	M	B	M	B	B	M	B
12	Rehabilitación de pozos de visita que presentan daño severo (598 pozos)	12.12	M	B	M	B	B	M	B
13	Rehabilitación de pozos de visita que presentan daño intermedio (14,897 pozos)	150.59	M	B	M	M	B	M	B
14	Rehabilitación de pozos de visita que presentan daño leve (28,007 pozos)	113.26	M	B	M	B	B	M	B

Fuente: elaboración propia

Tabla 128. Identificación del grado de riesgo por proyecto de atarjeas, colectores y emisores, zona Mexicali III

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	GRADO DE RIESGO						
			1	2	3	4	5	6	7
15	Ampliación del área sin servicio de agua potable y sin alcantarillado sanitario (276 ha), con tubería de PVC, de entre 20 y 45 cm, en la zona Mexicali III	56.80	M	B	M	B	M	M	B
16	Ampliación de la red de alcantarillado a zonas rurales del municipio de Mexicali, BC	232.90	M	B	M	B	M	M	B
17	Construcción de la línea de alcantarillado para sacar de operación el cárcamo sureste en Fracc. Campestre	0.30	B	B	B	B	B	B	B
18	Construcción del colector Recuerdos B, de 20 pulgadas de diámetro de PVC	66.99	M	B	M	B	M	M	B
19	Construcción del colector Recuerdos (emisor Zaragoza), de 20 y 30 pulgadas de diámetro de PVC	65.83	M	B	M	B	M	M	B
20	Construcción del colector Recuerdos (emisor Zaragoza), de 36 pulgadas de diámetro de PVC	72.99	M	B	M	B	M	M	B
21	Construcción del colector Camino Nacional, de 20 pulgadas de diámetro de PVC	63.68	M	B	M	B	M	M	B
22	Construcción del subcolector afluente al colector Recuerdos B, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	27.20	M	B	M	B	M	M	B
23	Construcción del subcolector Coronita, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	33.22	M	B	M	B	M	M	B
24	Construcción del colector Heriberto Jara, de 20 pulgadas de diámetro de PVC	53.29	M	B	M	B	M	M	B
25	Construcción del colector Progreso de 24 pulgadas de diámetro de PVC	35.86	M	B	M	B	M	M	B
26	Construcción del subcolector Baja California de 18 pulgadas de diámetro de PVC	29.05	M	B	M	B	M	M	B
27	Reposición de tubería (diámetros entre 20 y 38 cm), que ha cumplido su vida útil o la cumplirá en los próximos cinco años (508.39 km)	492.46	M	B	M	B	M	M	B



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 129. Identificación del grado de riesgo por proyecto de atarjeas, colectores y emisores, zona Mexicali IV

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
28	Emisor del efluente de la PTAR Arenitas (9.46 km, 60 pulgadas diámetro)	205.00	B	B	B	B	B	B	B
29	Emisor Sur influente de la nueva PBAR, de 48" de diámetro y 18.4 km de longitud (incluyendo PBAR)	453.75	M	B	M	B	M	M	B
30	Ampliación de la red de alcantarillado en el área con servicio de agua potable, sin alcantarillado sanitario (1324 ha), con tubería de PVC de entre 20 y 45 cm.	272.65	M	B	M	B	B	M	B
31	Construcción de la red de alcantarillado sanitario, planta de bombeo y emisor para el ejido Oviedo Mota	110.00	M	B	M	B	M	M	B
32	Ampliación de la red de alcantarillado en zonas urbanas del municipio de Mexicali, BC	820.00	M	B	M	B	M	M	B
33	Construcción de la red de alcantarillado sanitario en la colonia Maquío, en las colonias nuevas (km 57)	0.56	M	B	M	B	M	M	B
34	Expansión y conexión de alcantarillado sanitario en el municipio de Mexicali, BC	295.07	M	B	M	B	B	M	B
35	Construcción del colector del Sur, de 36 pulgadas de diámetro de PVC	91.09	M	B	M	B	B	M	B
36	Construcción del colector del Sur, de 30 y 24 pulgadas de diámetro de PVC	132.31	M	B	M	B	B	M	B
37	Construcción del colector Noreste, de 30 y 24 pulgadas de diámetro de PVC	204.14	M	B	M	B	B	M	B
38	Construcción del subcolector La Pluma, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	43.29	M	B	M	B	B	M	B
39	Construcción del colector Puebla, de 24 pulgadas de diámetro de PVC	79.52	M	B	M	B	B	M	B

Fuente: elaboración propia

Tabla 130. Continúa identificación del grado de riesgo de colectores y emisores, zona Mexicali IV

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
40	Construcción del subcolector Roa, de 20 pulgadas de diámetro de PVC	45.93	M	B	M	B	M	M	B
41	Construcción del subcolector Fuentes de Puebla, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	32.60	M	B	M	B	M	M	B
42	Construcción del subcolector Libramiento, de 20 pulgadas de diámetro de PVC	23.73	M	B	M	B	M	M	B
43	Construcción del colector Choropo, de 30 y 24 pulgadas de diámetro de PVC	101.65	M	B	M	B	M	M	B
44	Construcción del colector Choropo, de 20 pulgadas de diámetro de PVC	30.55	M	B	M	B	M	M	B
45	Construcción del subcolector Choropo 1, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	44.38	M	B	M	B	M	M	B
46	Construcción del subcolector Choropo 2, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	38.51	M	B	M	B	M	M	B
47	Construcción de subcolector Choropo 3 de 18 pulgadas de diámetro de PVC	34.67	M	B	M	B	M	M	B
48	Construcción del subcolector Choropo 4, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	54.58	M	B	M	B	M	M	B
49	Construcción del subcolector Choropo 5, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	25.60	M	B	M	B	M	M	B



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
50	Construcción del subcolector Choropo Auxiliar, de 18 pulgadas de diámetro de PVC	28.30	M	B	M	B	M	M	B

Tabla 131. Identificación del grado de riesgo en estudios y proyectos

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
51	Estudio para la Planeación del Saneamiento del Valle de Mexicali	3.50	M	B	M	B	M	M	B
52	Proyecto ejecutivo de la red de alcantarillado sanitario en el poblado Pescaderos	2.00	M	B	M	B	M	M	B
53	Proyecto ejecutivo de la red de alcantarillado sanitario en el poblado Reacomodo y colonia Carranza	2.00	M	B	M	B	M	M	B

Fuente: elaboración propia

Tabla 132. Identificación del grado de riesgo por proyecto de cárcamos y plantas de bombeo de aguas residuales en varias zonas de saneamiento

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
54	Rehabilitación de 12 cárcamos de bombeo de aguas residuales	82.33	B	B	B	B	B	B	B
55	Rehabilitación de los cárcamos Anáhuac, El Vidrio, San Pablo, Lucerna, y pretratamiento de la PBAR 8, que consiste en suministro de 10 bombas centrífugas	1.74	B	B	M	B	B	M	B
56	Construcción del cárcamo de bombeo de aguas residuales en 6ta. y Carranza	4.20	B	B	B	B	B	B	B
57	Rehabilitación de la PBAR 3, que consiste en suministro e instalación de criba fina	1.98	B	B	B	B	B	B	B
58	Rehabilitación de cinco cárcamos de Gpe. Victoria, que consiste en suministro de 10 bombas centrífugas	2.02	M	B	M	B	M	M	B
59	Construcción y puesta en marcha de la CBAR Puebla	3.00	M	B	M	B	M	M	B
60	Construcción y puesta en marcha de la CBAR Choropo	5.00	M	B	M	B	M	M	B
61	Construcción y puesta en marcha de la CBAR Progreso	3.00	M	B	M	B	M	M	B
62	Construcción y puesta en marcha de la PBAR Santa Isabel	5.00	M	B	M	B	M	M	B
63	Construcción y puesta en marcha de la PBAR Zaragoza	5.00	M	B	M	B	B	M	B

Fuente: elaboración propia

Tabla 133. Identificación del grado de riesgo por proyecto de plantas de tratamiento en varias zonas de saneamiento

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
64	Ampliación de la PTAR Arenitas, de 840 a 1900 l/s, y cumplimiento del PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, para descarga de aguas residuales, mediante aireación sobre extendida	475.00	B	B	B	B	B	B	B
65	Trabajos en las plantas de tratamiento de aguas residuales Zaragoza, Las Arenitas, Los Algodones, Ciudad Morelos y San Felipe, para mejorar su operación.	56.75	M	B	M	B	M	M	B
66	Rehabilitación de la PTAR Gpe. Victoria (km 43), que consiste en suministro e instalación de criba fina	1.98	M	B	M	B	B	M	B

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 134. Identificación del grado de riesgo en estudios y proyectos

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
67	Proyecto ejecutivo para el aprovechamiento de la infraestructura, y mejoramiento del proceso de tratamiento para dar cumplimiento al PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 de la planta de tratamiento de aguas residuales Zaragoza, con capacidad actual de 1300 l/s	3.50	B	B	B	B	B	B	B

Fuente: elaboración propia

Tabla 135. Identificación del grado de riesgo por proyecto de infraestructura complementaria

NO.	CONCEPTO	COSTO MDP	RIESGOS						
			1	2	3	4	5	6	7
68	Parque Metropolitano Las Arenitas	52.74	A	B	A	B	M	M	B
69	Estudio de clasificación de contaminantes del río Hardy	4.00	A	B	A	B	M	M	B
70	Prolongación de la línea morada, que parte de la PTAR Zaragoza, en un tramo de 12.67 km con tubería de 10.16 cm (4 pulgadas) de diámetro; incluye ampliación de la capacidad de tratamiento terciario en 15 l/s y un tanque de regulación de 30 metros cúbicos de capacidad.	71.45	A	B	A	B	M	M	B

4.2.3 Propuesta de mecanismos de mitigación

Algunas medidas de mitigación de riesgos son:

- Priorizar obras sobre la base de proyectos integrales.
- Incorporar el concepto de riesgo compartido, a través de la contratación de seguros para asegurar la terminación de las obras de infraestructura.
- Planear el crecimiento de servicios en áreas seguras.
- Posibilidad de generar proyectos participativos.
- Gestión de recursos ante organismos de financiamiento.
- Preparar y desarrollar los proyectos con los soportes técnicos requeridos.
- Exigir en el contrato compra de coberturas cambiarias.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

5 Bibliografía

- Almudena, M. G. (2017). *Estudio económico de alternativas de redes de saneamiento en un entorno urbano*. Sevilla, España.
- Ambientales, C. I. (2011). *Manifestación de Impacto Ambiental. Modernización de la Red de Riego Agrícola, Distrito de Riego 014 Valle de Mexicali*. Mexicali, B.C.
- Baja California, P. O. (25 de junio de 2010). Declaratoria-Zona-Metropolitana-Mexicali. *Periodico Oficial Baja California*, págs. 7-8.
- Baja California, P. O. (17 de febrero de 2012). Acuerdo mediante el cual se aprueba el Programa de Ordenamiento Territorial de la zona Metropolitana de Mexicali BC. *Periodico Oficial Baja California*.
- BANDAN. (2020). *Propuesta de certificación Rehabilitación de cárcamos de bombeo en Mexicali, Baja California*. Mexicali, Baja California: BANDAN.
- BANDAN. (2020a). *Propuesta de certificación mejoras al Sistema De Alcantarillado Sanitario (Fase I) y estaciones de bombeo en Mexicali, Baja California*. Mexicali, Baja California: BANDAN.
- BC, C. (2019). *Justificación de Ampliación de la PTAR Las Arenitas*. Mexicali, Baja California.
- Bello, U. C. (s.f.). *Rehabilitacion de tuberias de conduccion de agua sin zanja*. Caracas Venezuela.
- Bombas GRUNDFOS, E. S. (s.f.). *Bombas sumergibles de aguas fecales y agua bruta para servicio muy pesado*. Madrid, España.
- CALIFORNIA, L. H. (2019). *Ley de ingresos del Estado de Baja California para el ejercicio fiscal del año 2020*. Mexicali, Baja California, México.
- Californial, G. d. (10 de febrero de 1979). *LEY DE LAS COMISIONES ESTATALES DE SERVICIOS PUBLICOS DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA*. *Periódico Oficial de Baja Californial*.
- Carreón Diazconti Concepción, U. (2016). *Avances en investigación ambiental en la UABC*. Mexicali, Baja California.
- CESPM. (2016). *Diagnóstico Técnico de la Infraestructura de Saneamiento de Mexicali, B.C.* Mexicali, B.C.; Baja California, México.
- CESPM. (2016). *Padrón de Terrenos, Edificios e Infraestructura*. Mexicali, Baja California.
- CESPM. (2017). *Presentacion del Plan Estratégico de Saneamiento de la Ciudad de Mexicali*. Mexicali, Baja California: CESPM.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- CESPM. (2017). *Ubicación de Emisores a Presión De Aguas Residuales*. Mexicali: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali.
- CESPM. (2019). *Mexicali Indicadores de Gestión dic 2019*. Mexicali, Baja California: CESPM.
- CESPM. (julio de 2020). Presentación PTAR Zaragoza y Las Arenitas jul. 2020. Mexicali, Baja California, Baja California, Mexico.
- CESPM. (s.f.). Plano Sistema de saneamiento ciudad de Mexicali. Mexicali,, Baja California.
- CESPM, C. E. (2019). *Diagnóstico de Saneamiento de la Ciudad de Mexicali*. Mrxicali, Baja California.
- Chávez Morelos, M. d. (1996). *Evaluación Social del Proyecto Saneamiento del Río Nuevo en Mexicali, Baja California*. Ciudad de México.
- Cipoletta Tomassian, G. C. (2015). *Financiamiento de la infraestructura para la integración regional Alternativas para América del Sur*. Santiago de Chile: Impreso en Naciones Unidas.
- COCEF, C. d. (2007). *Proyecto de Alcantarillado y Saneamiento (Mexicali IV) en Mexicali, Baja California*. Mexicali BC.
- CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento- Cárcamos de bombeo para Alcantarillado, Funcional e Hidráulico*. Ciudad de México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento- Diseño de Instalaciones Mecánicas*. Ciudad de México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2009). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento Alcantarillado sanitario*. Ciudad de México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2009a). *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento Sistemas Alternativos de Alcantarillado Sanitario*. Ciudad de México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2018). *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento Conducciones*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2020). *Programa Acciones PRODDER 2020 Mexicali*. Mexicali, Baja California: CONAGUA-OCPBC.
- CONAGUA. (1 de julio de 2020a). *Oficio 178 PROSANEAR 2020 CESPM*. Mexicali,, Baja California, México: CONAGUA-OCPBC .
- Corporation, C. (s.f.). Folleto Comparación entre los sistemas de tuberías de PVC y termoplásticos alternativos. *Comparación entre los sistemas de tuberías y termoplásticos alternativos*. Valley Forge, PA, EE,UU,.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- Económico, M. d. (2000). *Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Pluviales*. Bogota, Colombia.
- Edmundo Loera Burnes, C. (2017). Capacidades institucionales y desempeño de los organismos operadores de agua en Hermosillo, Sonora, y Mexicali, Baja California. *REGIÓN Y SOCIEDAD / NÚMERO ESPECIAL 5*, 37-73.
- (s.f.). *El Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas* PTARD. PROVINCIA DE ISLAY, REGIÓN AREQUIPA.
- Federación, D. O. (26 de mayo de 1928). CÓDIGO CIVIL FEDERAL. *Diario Oficial de la Federación* .
- Flores Rojas, G. M. (2015). *Proyecciones de población urbana y rural de las localidades de Baja California 2015-2030*. Tijuana BC.
- Gobierno del Estado Baja California. (21 de enero de 1974). CODIGO CIVIL PARA EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA. *Periódico Oficial de Baja California*.
- Gobierno del Estado de Baja California. (01 de diciembre de 2009). LEY DE DEUDA PÚBLICA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA Y SUS MUNICIPIOS. *Periódico Oficial de Baja California*.
- Gobierno del Estado de Baja California,. (26 de septiembre de 2003). Gobierno del Estado de Baja California LEY DE LAS ENTIDADES PARAESTATALES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA. *Periódico Oficial*.
- Gobierno del Estado de Baja California, P. O. (18 de octubre de 2002). LEY DE ADQUISICIONES, ARRENDAMIENTOS Y SERVICIOS PARA EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA. *Periódico Oficial de Baja California*.
- Gobierno Estado Baja California, P. O. (16 de agosto de 1953). CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO. *Periodico Oficial de Baja California*.
- González Solís, R. J. (2012). *Mercados Potenciales y Beneficios del Uso de Agua Residual Tratada en la Ciudad de Tijuana, Baja California*. Tijuana, Baja California: COLEF - CICESE.
- H. I. (s.f.). *Manual básico de Seguridad e Higiene en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Francia.
- II, S. T. (2020). *Normas para Redes de Saneamiento. Versión 3*. Madrid España: Canal de Isabel II.
- IMIP, M. (2007). *Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali 2025*. Mexicali, Baja California.
- IMIP-MEXICALI. (2019). *Datos Generales de Mexicali*. Mexicali, Baja California, México.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- IMTA. (2018). *Estudio de impacto al servicio de abastecimiento de agua a la población de Mexicali por Constelation*. Mexicali, Baja California.
- IMTA. (2020). *El Agua en el Valle de Mexicali, Baja California: Origen, uso y destino*. Mexicali, Baja California.
- Javier Contreras Marín, S. d. (20 de octubre de 2014). Administración de Riesgos.
- Jiménez Terán, J. M. (s.f.). *Manual de Apuntes de la Experiencia Educativa de Tuberías y Canales*. Xalapa Veracruz: Creative Commons México.
- JOSÉ ARAUJO AGUILAR, C. A. (2019). *Estudio de Tarifas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: CESP - Mexicali*. Ciudad de México.
- Judith, L. G. (2011). *Atlas de Riesgos del Municipio de Mexicali Peligros Sanitarios*. Mexicali, Baja California.
- Lledó, P. (2007). *Comparación entre distintos Criterios de decisión (VAN, TIR y PRI)*.
- Manzur Salomón, C. (21 de octubre de 2002). Gestión del Riesgo en los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Peru: Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres-CISMID.
- Mexicali, C. E. (2007). *Manual de Procedimientos CESP*. Mexicali, Baja California.
- Mexicali, C. E. (2019). *Asuntos Críticos de Atención Inmediata Agua Potable*. Mexicali, Baja California.
- Mexicali, I. (s.f.). *Programa Parcial de Desarrollo Urbano zona centro 2030 Mexicali*. Mexicali BC.
- Peñuelas Castro José, O. d. (junio de 2016). *Análisis Costo – Beneficio Simplificado. Sustitución de Alcantarillado en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa*. Mazatlán, Sinaloa.
- Pineda Pablos, N. (2012). Por qué son mejores los organismos de agua de Baja California que los de Sonora. *Región y sociedad / Número especial 3*, 181-212.
- Rascón Mendoza, L. A. (16 de junio de 2020). Oficio CILA 0550 20 a CESPMS saneamiento de la Frontera Norte. Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico.
- Rodríguez Gámez, L. I. (2012). La estrategia del Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) en proyectos de infraestructura de impacto social en la región Sonora – Arizona. En *Las Relaciones Internacionales de la Pobreza en América Latina y el Caribe*. Buenos Aires: CLACSO.
- Salas Quintero, D. . (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. *Scientia et Technica Año XIII, No 37*, 591- 596.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

SC, S. d. (2003). *Manifestacion de Impacyo Ambiental MIA del Proyecto de Saneamiento y Analisis Financiero del Sistema de Agua Potable y Drenaje de Mexicali*. Mexicali, B.C.

Secretaría de Gobernación, I. (2019). *Catálogo de Programas Federales para Municipios 2019*. Ciudad de México.

SIDUE BC, S. d. (2012). *Programa de Ordenamiento de la Zona Metropolitana de Mexicali*. Mexicali BC: GOBIERNO BC.

UABC. (2014). *Versión Abreviada del Plan Estratégico de la Zona Metropolitana de Mexicali 2015-2029*. Mexicali BC: SIDUE BC.

Vega de Lamadrid, F. A. (22 de abril de 2016). Reglamento Interino CESPM. Mexicali, Baja California, México.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Acrónimos

BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C.
BDAN	Banco de Desarrollo del Norte
CEA	Comisión Estatal del Agua de Sonora
CESPM	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali
CILA	Comisión Internacional de Límites y Aguas
cm	Centímetros
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DOF	Diario Oficial de la Federación
EE. UU.	Estados Unidos de América
EPA	Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura (BANOBRAS)
hab/ha	Habitantes por hectárea
ha	Hectáreas
hab/km ²	Habitantes por kilómetro cuadrado
Hm ³	Hectómetro cúbico
HP	Caballos de Fuerza (Horse Power)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
km	Kilómetros
km ²	Kilómetros cuadrados
LAN	Ley de Aguas Nacionales
l/hab-día	Litros por habitante por día
l/s	Litros por segundo
MAPAS	Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, CONAGUA
m	Metros
m/d	Metros por día
mg/L	Miligramos por litro
m ³	Metros cúbicos
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
mm	Milímetros
Mm ³	Millones de metros cúbicos
msnm	Metros sobre el nivel medio del mar
NH ₄	Nitrógeno proteico
NO ₂	Nitritos
NO ₃	Nitratos
NOM	Norma Oficial Mexicana
NPM	Número más probable
O&M	Operación y Mantenimiento
PBAR	Planta de bombeo de aguas residuales
PEAD	Polietileno de alta densidad
pH	Potencial de Hidrógeno
PITAR	Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales
PNH	Programa Nacional Hídrico
POE	Periódico Oficial del Estado de Sonora
PRODDER	Programa de Devolución de Derechos (Comisión Nacional del Agua)
PRODI	Programa de Desarrollo Integral de Organismos Operadores (Recursos del Banco Interamericano de Desarrollo)
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVC	Policloruro de Vinilo
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
SLRC	San Luis Río Colorado
SST	Sólidos Suspendidos Totales



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Glosario de términos

Aerobio: Un proceso que ocurre en presencia del oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en una charca de oxidación.

Anaerobio: Proceso que se desarrolla con ausencia total de oxígeno, como la fermentación.

Aguas negras: Aguas residuales resultantes del consumo y descarga de los diferentes usos del agua.

Aguas pluviales: Aguas resultantes de los escurrimientos provenientes de precipitaciones pluviales.

Aguas residuales Cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada por influencia de un proceso o una actividad. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores.

Aguas residuales industriales: Se originan de los desechos de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, elementos tóxicos, tales como plomo, mercurio, níquel, cobre, solventes, grasas y otros, que requieren ser removidos antes de ser vertidos al sistema de alcantarillado.

Alcantarillado: Conjunto de obras e instalaciones construidas en una población para la evacuación de las aguas negras y pluviales.

Atarjea: Es la tubería que recoge las aguas residuales de las descargas domiciliarias o albañal exterior para entregarlas al colector por medio de un pozo de visita.

Caudal: Es la cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.

Colector: Es la tubería que recoge las aguas residuales de las atarjeas. Puede terminar en un interceptor, en un emisor o en una planta de bombeo, o en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Conducción por gravedad: Procedimiento de evacuación en el que el desplazamiento del agua se debe, exclusivamente, a la pendiente del alcantarillado, es decir por acción de la fuerza de gravedad.

Conducción a presión: Procedimiento de evacuación o transporte de agua o cualquier fluido en el que el desplazamiento se debe, exclusivamente, a la acción de medios mecánicos.

Desarenador: Equipo donde, por acción de la gravedad, se consigue la sedimentación de los sólidos más pesados, especialmente la arena.

Desbaste: Consiste en eliminar componentes sólidos del agua por medio de rejillas que están formadas por barrotes paralelos.

Efluente: Salida del agua tratada mediante un proceso de tratamiento.

DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): Es la cantidad de oxígeno (medido en el mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales

DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno 5): Consumo de oxígeno disuelto por organismos aerobios en un tiempo de cinco días, requerida para la estabilización de materia orgánica. Indicador de contaminación del agua y que representa el contenido de sustancias bioquímicamente degradables existentes en el agua.

Emisor: Conducto que recibe las aguas de un colector o de un interceptor. No recibe ninguna aportación adicional en su trayecto y su función es conducir las aguas negras a la caja de entrada de la planta de tratamiento. También se denomina emisor al conducto que lleva las aguas tratadas (efluente) de la caja de salida de la planta de tratamiento al sitio de descarga.

Interceptor: Es la tubería que intercepta las aguas negras de los colectores y termina en un emisor o en la planta de tratamiento.

PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales): Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Tratamiento preliminar: Es el tratamiento donde se remueven los sólidos de mayor tamaño y las arenas presentes en las aguas negras que pueden provocar daños al funcionamiento de los equipos involucrados en los diferentes procesos y operaciones que conforman el sistema de tratamiento.

Tratamiento primario: Es el tratamiento donde se remueve una fracción los sólidos sedimentables y en suspensión por medios físicos o químicos. El efluente del tratamiento primario suele tener una cantidad alta de materia orgánica y una DBO alta.

Tratamiento Secundario: Es el tratamiento de las aguas residuales donde se transforma la materia orgánica biodegradable por la acción biológica en materia estable. Está principalmente diseñado para la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos; en algunos casos se incluye desinfección en esta etapa.

Tratamiento terciario o avanzado: Son tratamientos adicionales, que siguen a los tratamientos secundarios convencionales de las aguas residuales, para la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos y excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión.

Desarenadores: Son estructuras utilizadas para separar arenas y otros sólidos de densidad superior a la del líquido cloacal, que por su naturaleza interfieren en la operación y mantenimiento de las unidades que siguen en el tratamiento, evitan la paralización del sistema por fallas en las bombas.

Trituradores: Equipos constituidos por cilindros giratorios que se colocan para desmenuzar sólidos para la protección de las estaciones de bombeo u otras unidades de la planta de tratamiento que requieran dicha protección.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Localización de la ciudad de Mexicali, Baja California.	9
Ilustración 2. Mapa general del Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de Mexicali	12
Ilustración 3. Vista aérea de la PTAR Las Arenitas	18
Ilustración 4. Instalaciones de la PBAR 4.....	20
Ilustración 5. Infraestructura de alcantarillado sanitario que envía agua residual a la PTAR Zaragoza	22
Ilustración 6. Infraestructura de alcantarillado sanitario que envía agua residual a la PTAR Las Arenitas	22
Ilustración 7. Mapa del Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de Mexicali	26
Ilustración 8. Uso del agua residual tratada (efluente) de la PTAR Las Arenitas	30
Ilustración 9. Red morada existente a partir de la PTAR Zaragoza	31
Ilustración 10. Vista aérea de la PTAR Las Arenitas	32
Ilustración 11. Escenarios de ingresos de tarifa por servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la ciudad de Mexicali, BC.....	43
Ilustración 12. Fotos de tuberías colapsadas causan socavones y hundimientos en las calles	44
Ilustración 13. Condición general de la red de colectores y atarjeas	46
Ilustración 14. Foto del interior de un colector donde se observa la ausencia de paredes de tubo	46
Ilustración 15. Condición general de los cárcamos del sistema de alcantarillado de Mexicali	48
Ilustración 16. Condición general de emisores y plantas de bombeo	49
Ilustración 17. Semáforo de estado de la infraestructura de alcantarillado sanitario y saneamiento para la ciudad de Mexicali, BC	50
Ilustración 18. Proyecciones de población para la ciudad de Mexicali, BC, utilizando el modelo geométrico	57
Ilustración 19. Resultados del modelo de simulación de pendientes y caudales obstruidos en la red de alcantarillado de Mexicali	59
Ilustración 20. Distribución espacial de la antigüedad de las tuberías de drenaje sanitario en la ciudad de Mexicali, BC	66
Ilustración 21. Reposición de 11.7 km de tuberías dañadas en 17 colonias y en la ciudad de Mexicali, BC	70
Ilustración 22. Infraestructura de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Mexicali, BC	73
Ilustración 23. Estructura de la expansión futura de la mancha urbana de Mexicali	76
Ilustración 24. Drenaje pluvial y tendencias del drenaje superficial en Mexicali, BC.....	78
Ilustración 25. Trazas generales de urbanización en diferentes zonas de posible expansión de la ciudad de Mexicali.....	79
Ilustración 26. Red de colectores para la zona de expansión del área de influencia de la PTAR Zaragoza	80
Ilustración 27. Infraestructura de ampliación de la red de colectores para la zona de expansión del área de influencia de la PTAR Zaragoza	81
Ilustración 28. Red de recolección sanitaria en las zonas de expansión al año 2050 para Mexicali, BC	81
Ilustración 29. Ubicación de las PBAR en la zona de influencia de la PTAR Zaragoza.....	83



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 30. Ubicación alternativa 2 de la PBAR Sur en la zona cercana al ejido Puebla.....	84
Ilustración 31. Zonas de influencia por PTAR, áreas de expansión al año 2050 para Mexicali, BC ..	85
Ilustración 32. Proceso de proyectos de reúso de aguas residuales tratadas	87
Ilustración 33. Línea morada actual, que parte del tratamiento terciario de la PTAR Zaragoza	89
Ilustración 34. Alternativas para nuevas líneas moradas de reúso de aguas residuales tratadas....	90
Ilustración 35. Mapa Esquemas de solución posibles.....	92
Ilustración 36. Red de colectores y subcolectores en el área de crecimiento de Mexicali al año 2050, zona de influencia PTAR Arenitas.....	96
Ilustración 37. Red de colectores y subcolectores en el área de crecimiento de Mexicali al año 2050, zona de influencia PTAR Zaragoza.....	97
Ilustración 38. Esquema general de la acumulación de caudales y capacidad de los tubos, zona de la PTAR Arenitas.....	105
Ilustración 39. Esquema general de la acumulación de caudales y capacidad de los tubos, zona de la PTAR Zaragoza.....	106
Ilustración 40. Zona de influencia de la planta de tratamiento Zaragoza (zona de expansión Mexicali III)	107
Ilustración 41. Recomendaciones para cárcamos de bombeo	109
Ilustración 42. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 1, proyecto de ampliación PTAR Arenitas	116
Ilustración 43. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 2, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas.....	117
Ilustración 44. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 3, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas.....	118
Ilustración 45. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 4, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas.....	119
Ilustración 46. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 5, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas.....	120
Ilustración 47. Diagrama del proceso de tratamiento, alternativa 6, proyecto de ampliación de la PTAR Arenitas.....	121
Ilustración 48. Línea morada existente y su prolongación.....	122
Ilustración 49. Prolongación de la línea morada de la PTAR Zaragoza a una zona del sureste de la ciudad	123
Ilustración 50. líneas moradas.	124
Ilustración 51. Esquema de costos de inversión de la nueva red primaria.....	132
Ilustración 52. Esquema de costos de inversión de rehabilitación de plantas de bombeo.....	138
Ilustración 53. Esquema de costos de inversión de plantas de bombeo.....	140
Ilustración 54. Esquema de costos de inversión de la nueva red morada.....	146
Ilustración 55. Esquema de costos de inversión de las dos PBAR.....	149
Ilustración 56. Instalaciones de la PTAR Arenitas, base del Parque Metropolitano	155
Ilustración 57. Red de colectores y emisores de la zona Mexicali IV al año 2050	158
Ilustración 58. Red de colectores, subcolectores y plantas de bombeo en el área de crecimiento al año 2050.....	159
Ilustración 59. Arreglo de unidades de la PTAR (proyecto ejecutivo en proceso).....	161



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 60. Proceso de maduración de los proyectos elegibles para inversión pública.....	164
Ilustración 61. Requerimientos de inversión para el saneamiento de las aguas residuales por tipo de fuente de financiamiento en la ciudad de Mexicali al año 2050	171
Ilustración 62. Identificación de fuentes de financiamiento en la región fronteriza Mexicali	174
Ilustración 63. Fuentes de financiamiento para la ejecución de obras	175



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Índice de tablas

Tabla 1. Información básica de los servicios de agua potable alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Mexicali, Baja California	4
Tabla 2. Resumen de la problemática, solución e inversión, Mexicali, B.C.	7
Tabla 3. Información técnica recopilada para formular el PSFN.....	11
Tabla 4. Colectores de las zonas Mexicali I y Mexicali II (área de influencia PTAR Zaragoza)	15
Tabla 5. Colectores de las zonas Mexicali II y Mexicali IV (área de influencia PTAR Las Arenitas) ...	16
Tabla 6. Relación de cárcamos de bombeo, caudal medio y equipamiento actual.....	19
Tabla 7. Plantas de bombeo del sistema de saneamiento Mexicali	21
Tabla 8. Aportaciones de aguas residuales en el municipio de Mexicali, BC.....	23
Tabla 9. Aportaciones de aguas residuales en la localidad de Mexicali, BC	23
Tabla 10. Industrias en Mexicali, BC, con mayor volumen de descargas al alcantarillado sanitario 2018.....	24
Tabla 11. Parámetros de la NOM-001-ECOL-,1996, a cumplir por la PTAR Zaragoza.....	27
Tabla 12. Parámetros de la NOM-001-ECOL-,1996, a cumplir por la PTAR Arenitas.....	28
Tabla 13. Gastos mensuales (l/s) promedio de operación bombeados a la PTAR Las Arenitas	29
Tabla 14. Resultados para el año 2018 del análisis de indicadores de calidad y uso de efluentes de la PTAR Zaragoza.....	33
Tabla 15. Resultados de muestreos en el efluente durante el año 2019 en la PTAR Las Arenitas ...	33
Tabla 16. Lista parcial de bienes inmuebles y terrenos de la PTAR Zaragoza.....	39
Tabla 17. Lista parcial de bienes inmuebles y terrenos de la PTAR Las Arenitas.....	40
Tabla 18. Costos por servicio.....	41
Tabla 19. Tarifas de agua potable para el año 2020 en la ciudad de Mexicali, BC	42
Tabla 20. Tarifa promedio de volumen de agua para el municipio de Mexicali	42
Tabla 21. Tarifa promedio de volumen de agua para la ciudad de Mexicali	42
Tabla 22. Eficiencia comercial por el servicio de agua potable para el municipio de Mexicali	43
Tabla 23. Eficiencia comercial por el servicio de agua potable para la localidad de Mexicali.....	43
Tabla 24. Competencias evaluadas al personal de la CESP, asignado a las áreas de tratamiento, bombeos y electromecánica.	50
Tabla 25. Tasas de crecimiento de la población para la ciudad de Mexicali, BC	56
Tabla 26. Proyecciones de población para la ciudad de Mexicali, BC utilizando el modelo geométrico	56
Tabla 27. Proyecciones de población y demanda de tratamiento de Mexicali al año 2050.....	58
Tabla 28. Condición de capacidad de la red de colectores y subcolectores, zonas Mexicali I y III ...	61
Tabla 29. Condición de la red de colectores y subcolectores de las zonas, Mexicali II y IV.....	62
Tabla 30. Gastos estimados para CBAR's y PBAR's de la ciudad de Mexicali, BC	63
Tabla 31. Demanda de tratamiento para dos escenarios en Mexicali al año 2050	64
Tabla 32. Comparación de la oferta y demanda futura de tratamiento de aguas residuales de Mexicali al año 2050.....	64
Tabla 33. Propuesta de reemplazo de tubería dañada y que ya cumplió su vida útil	67
Tabla 34. Costo de construcción de líneas por diámetro.....	68
Tabla 35. Importe de las inversiones requeridas para sustitución de atarjeas.....	68



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 36. Costos de sustitución de atarjeas por el método de encamisado.....	69
Tabla 37. Colonias en las que se repondrán tuberías que han cumplido su vida útil.....	70
Tabla 38. Relación de cárcamos a rehabilitar	71
Tabla 39. Plantas de bombeo en programa de obras 2020-2021 para su rehabilitación	71
Tabla 40. Acciones de rehabilitación en cárcamos de bombeo de Mexicali.....	71
Tabla 41. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos	74
Tabla 42. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos peligrosos en lodos y biosólidos	74
Tabla 43. Aprovechamiento de biosólidos.....	75
Tabla 44. Alternativas de tratamiento para la ampliación de la PTAR Arenitas	86
Tabla 45. Criterios y puntaje de impacto de la obra para priorización programática de inversiones	95
Tabla 46. Rangos de puntaje de priorización de proyectos asociados a periodos de ejecución	95
Tabla 47. Red de colectores, subcolectores y emisores de la zona de influencia de la PTAR Arenitas	96
Tabla 48. Red de colectores, subcolectores y emisores de la zona de influencia de la PTAR Zaragoza	97
Tabla 49. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso	100
Tabla 50. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso).....	100
Tabla 51. Áreas de aportación y población atendida por colector y gasto medio colectado a la PTAR Arenitas	103
Tabla 52. Revisión de caudales máximos extraordinarios y capacidad por conducto de la red.....	104
Tabla 53. Caudales acumulados para las plantas de bombeo, zona PTAR Zaragoza	107
Tabla 54. Caudales de los colectores y el acumulado en los emisores de las PBAR principales de la zona de influencia de la PTAR Arenitas.....	108
Tabla 55. Potencia requerida en la PBAR Zaragoza en la zona de expansión Mexicali III.....	112
Tabla 56. Datos del emisor de la PBAR Zaragoza en la zona de crecimiento (Mexicali III)	112
Tabla 57. Potencia requerida PBAR Santa Isabel en el área de expansión al 2050, Mexicali III	112
Tabla 58. Datos del emisor de la PBAR Santa Isabel en la zona de crecimiento (Mexicali III)	113
Tabla 59. Potencia requerida en la nueva PBAR Sur en la zona de expansión por crecimiento Mexicali IV	113
Tabla 60. Datos del emisor de la PBAR-Sur en la zona de crecimiento (alternativas 1 y 2 Mexicali IV)	113
Tabla 61. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Puebla, para los diferentes caudales.....	114
Tabla 62. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Choropo, para los diferentes caudales.....	114
Tabla 63. Datos del emisor de la PBAR-Sur Choropo en la zona de crecimiento.....	114
Tabla 64. Procesos de la alternativa 1 para la ampliación de la PTAR Arenitas.....	115
Tabla 65. Procesos de la alternativa 2 para la ampliación de la PTAR Arenitas.....	116
Tabla 66. Procesos de la alternativa 3 para la ampliación de la PTAR Arenitas.....	117



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 67. Procesos de la alternativa 4 para la ampliación de la PTAR Arenitas.....	118
Tabla 68. Procesos de la alternativa 5 para la ampliación de la PTAR Arenitas.....	119
Tabla 69. Procesos de la alternativa 6 para la ampliación de la PTAR Arenitas.....	120
Tabla 70. Precio índice por km de tubería PVC para diferentes diámetros con conceptos principales	128
Tabla 71. Precio índice por km de tubería PEAD para diferentes diámetros con conceptos principales	128
Tabla 72. Inversiones requeridas en la red de colectores y subcolectores, área de influencia de la PTAR Arenitas y Zaragoza al año 2050 (material PVC).....	129
Tabla 73. Inversiones requeridas en la red de colectores y subcolectores por influencia de las PTAR Arenitas y Zaragoza al año 2050 (material PEAD).....	130
Tabla 74. Costos de operación y mantenimiento anual para la nueva red primaria (material PVC)	131
Tabla 75. Costos de operación y mantenimiento anual para la nueva red primaria (material PEAD)	131
Tabla 76. Potencia requerida en la PBAR Zaragoza en la zona de expansión Mexicali III.....	134
Tabla 77. Inversión requerida para la PBAR Zaragoza en equipamiento para emisor de PVC	134
Tabla 78. Costos de operación y mantenimiento, PBAR Zaragoza (materia del emisor PVC)	135
Tabla 79. Inversión requerida para la PBAR Zaragoza, equipamiento para emisor con PEAD	135
Tabla 80. Costos de operación y mantenimiento de la PBAR Zaragoza (materia del emisor PEAD)	135
Tabla 81. Consumo de energía eléctrica por mes por equipo de 100 HP.....	136
Tabla 82. Consumo de energía eléctrica por mes por equipo de 150 HP.....	136
Tabla 83. Costos de las alternativas del emisor, según el tipo de material PVC y PEAD	137
Tabla 84. Potencia requerida en la PBAR Santa Isabel en el área de expansión al 2050, Mexicali III	139
Tabla 85. Potencia requerida en la nueva PBAR Sur, en la zona de expansión por crecimiento zona IV	142
Tabla 86. Inversión requerida para la PBAR Sur, equipamiento para emisor con PVC.....	142
Tabla 87. Costos de operación y mantenimiento, PBAR Sur (materia del emisor PVC)	143
Tabla 88. Inversión requerida para la PBAR Sur, equipamiento para emisor con PEAD	143
Tabla 89. Costos de operación y mantenimiento PBAR Sur (materia del emisor PEAD)	143
Tabla 90. Costos de inversión del emisor Sur por tipo de material	143
Tabla 91. Consumo de energía eléctrica por mes por equipo de 900 HP.....	144
Tabla 92. Consumo de energía eléctrica mensual para la potencia calculada para el Qmedio (l/s) emisor PEAD en la PBAR Sur	145
Tabla 93. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Puebla.....	147
Tabla 94. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.....	147
Tabla 95. Costos de operación de la construcción de dos PBAR.....	148
Tabla 96. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.....	148
Tabla 97. Carga dinámica total y potencia requerida de la PBAR Sur Choropo.....	148
Tabla 98. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.....	148
Tabla 99. Costos de operación de la construcción de dos PBAR.....	148



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 100. Costos de inversión de la construcción de dos PBAR.....	148
Tabla 101. Resumen de los costos no recurrentes y recurrentes de ambas alternativas de bombeo.	150
Tabla 102. Resumen del análisis de alternativas para la ampliación de la PTAR Arenitas	151
Tabla 103. Número y tipo de establecimientos con potencial de reúso de agua residual tratada	153
Tabla 104. Costo de inversión para la prolongación de la red morada de la PTAR Zaragoza	153
Tabla 105. Costo de inversión para la construcción de nueva red morada, a partir de la PTAR de la UABC y de la PTAR del CETYS	154
Tabla 106. Costo de la alternativa, red de colectores y emisores de la zona Mexicali III Y Mexicali IV al año 2050.....	158
Tabla 107. Plantas de bombeo en zona de la PTAR Zaragoza.....	160
Tabla 108. Caudales acumulados para las plantas de bombeo, zona PTAR Arenitas	160
Tabla 109. Análisis de alternativas del tipo de tratamiento en la ampliación de la PTAR Arenitas	161
Tabla 110. Costo de inversión para la prolongación de la red morada existente de la PTAR Zaragoza	162
Tabla 111. Colectores y emisores de la zona Mexicali I y Mexicali II.	164
Tabla 112. Red de alcantarillado, colectores y emisores requeridos en el corto plazo, Mexicali III y IV	165
Tabla 113. colectores y emisores en áreas de crecimiento III y IV	165
Tabla 114. Estudios y proyectos de colectores	166
Tabla 115. Proyectos de plantas y cárcamos de bombeo de aguas residuales, Mexicali, B.C.....	167
Tabla 116. Estudios y proyectos de alcantarillado y saneamiento	167
Tabla 117. Proyectos de reúso de agua residual tratada, Mexicali, BC	168
Tabla 118. Acciones y proyectos de plantas de tratamiento para Mexicali al año 2050.....	168
Tabla 119. Estudios y proyectos de saneamiento para Mexicali, BC	168
Tabla 120. Acciones y proyectos de infraestructura complementaria, Mexicali, BC.....	169
Tabla 121. Resumen de los requerimientos de inversión para Mexicali, BC, en alcantarillado y saneamiento, al año 2050, por tipo de infraestructura	171
Tabla 122. Programas de financiamiento mediante programas federales de la CONAGUA	175
Tabla 123. Programas con base en la devolución del pago de derechos: CONAGUA.....	176
Tabla 124. Fuentes de financiamiento: recursos de la Banca de Desarrollo Nacional e Internacional	176
Tabla 125. Matriz de identificación de riesgos.....	179
Tabla 126. Clasificación del grado de riesgo para cada proyecto	180
Tabla 127. Identificación del grado de riesgo por proyecto de colectores y emisores zona Mexicali I	180
Tabla 128. Identificación del grado de riesgo por proyecto de atarjeas, colectores y emisores, zona Mexicali III	181
Tabla 129. Identificación del grado de riesgo por proyecto de atarjeas, colectores y emisores, zona Mexicali IV.....	182
Tabla 130. Continúa identificación del grado de riesgo de colectores y emisores, zona Mexicali IV	182
Tabla 131. Identificación del grado de riesgo en estudios y proyectos	183



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 132. Identificación del grado de riesgo por proyecto de cárcamos y plantas de bombeo de aguas residuales en varias zonas de saneamiento.....	183
Tabla 133. Identificación del grado de riesgo por proyecto de plantas de tratamiento en varias zonas de saneamiento.....	183
Tabla 134. Identificación del grado de riesgo en estudios y proyectos	184
Tabla 135. Identificación del grado de riesgo por proyecto de infraestructura complementaria..	184