



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

SAN LUIS RÍO COLORADO
SONORA

INFORME ESPECIAL

Agosto, 2021





COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONTENIDO

Resumen.....	4
1 Diagnóstico de los sistemas de saneamiento de la región	9
1.1 Recopilación y análisis de la información.....	9
1.1.1 Sistema principal de alcantarillado	10
1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales	16
1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada.....	20
1.1.4 Generalidades	23
1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento	27
2 El déficit de saneamiento en la región	35
2.1 Comparación de capacidad de diseño contra demanda actual y futura.....	35
2.1.1 Demanda actual de saneamiento de aguas residuales	37
2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales.....	37
2.1.3 Comparación de la demanda actual y futura de colectores principales.....	38
2.1.4 Comparación demanda actual y futura de las estaciones de bombeo principales.....	39
2.1.5 Comparación de la demanda actual y futura de las plantas de tratamiento	40
2.1.6 Comparación de la demanda actual y futura de agua de reúso.....	41
2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento.....	41
2.2.1 Reemplazo de la infraestructura que ha rebasado su vida útil.....	42
2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada	43
2.2.3 Incremento de la capacidad de las plantas de bombeo y PTAR.....	43
2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general.....	44
2.2.5 Mejora en la calidad del efluente para cumplir con la normatividad aplicable (y sumanejo y disposición de lodos).....	44
2.2.6 Cambios en los programas de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento.....	45
3 Alternativas para atender la demanda futura de saneamiento en la región.	46
3.1 Planteamiento de alternativas	47
3.1.1 Planteamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	47
3.1.2 Planteamiento de alternativas para plantas de bombeo principales	50
3.1.3 Planteamiento de alternativas para plantas de tratamiento	51
3.1.4 Planteamiento de alternativas de infraestructura para el reúso de agua	52
3.1.5 Planteamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	52
3.2 Dimensionamiento de alternativas usando criterios de resiliencia	52
3.2.1 Dimensionamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	54
3.2.2 Dimensionamiento de alternativas para plantas de bombeo principales	60



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.2.3	Dimensionamiento de alternativas para plantas de tratamiento	66
3.2.4	Dimensionamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua ..	67
3.2.5	Dimensionamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	68
3.3	Evaluación comparativa de costos de inversión, operación y mantenimiento de alternativas	68
3.3.1	Evaluación de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	68
3.3.2	Evaluación de alternativas para plantas de bombeo principales	74
3.3.3	Evaluación de alternativas para plantas de tratamiento	79
3.3.4	Evaluación de alternativas para infraestructura para el reúso de agua.....	81
3.4	Selección de las alternativas más convenientes.....	82
3.4.1	Selección de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	82
3.4.2	Selección de alternativas para plantas de bombeo principales	83
3.4.3	Selección de alternativas para plantas de tratamiento.....	85
3.4.4	Selección de alternativas para infraestructura para el reúso de agua	85
3.5	Integración de la cartera de acciones y proyectos	85
3.5.1	Acciones y proyectos para colectores principales y obras de captación y conducción	87
3.5.2	Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales	89
3.5.3	Acciones y proyectos para plantas de tratamiento.....	89
4	Organización y alternativas de financiamiento	91
4.1	Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento.....	91
4.1.1	Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento.....	92
4.1.2	Planteamiento de opciones de organización para la realización de estudios y proyectos	94
4.1.3	Planteamiento de opciones de organización para la ejecución	95
4.1.4	Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento	98
4.2	Análisis de riesgos y formas de absorberlos o mitigarlos	98
4.2.1	Identificación de riesgos (construcción de matriz).....	99
4.2.2	Evaluación de riesgos:	102
4.2.3	Propuesta de mecanismos de mitigación	105
	Bibliografía	106
	Acrónimos	107
	Índice de ilustraciones	108
	Índice de tablas	110



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Resumen

El presente Programa de Saneamiento de la Frontera Norte a Nivel Gran Visión para San Luis Río Colorado, Sonora, tiene como antecedentes diversos acuerdos plasmados en actas de la Comisión de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (CILA), y entre sus objetivos está 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 poder ayudar a identificar las necesidades, oportunidades y alternativas de solución en el tema de interés, y 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 Noroeste a Nivel Gran Visión”, en lo correspondiente a la ciudad de San Luis Río Colorado, 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 actualmente 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 que aquí se hacen compitan con éxito con lo que hay 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 tipos 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 frecuentemente muy limitados, se busca que el estudio sea base de información común entre diversos actores para coordinar esfuerzos en la preparación detallada de los proyectos y llevarlos a su etapa de viabilidad, buscando organizar el presupuesto requerido para apoyar la formulación de cada proyecto.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

San Luis Río Colorado es una ciudad y cabecera del municipio homónimo del estado mexicano de Sonora, localizada justo entre la zona arenosa del Gran Desierto de Altar y el estado de Baja California, colindando al norte con Arizona, lo que la convierte en una ciudad fronteriza. Por su clima extremo es reconocida por el Servicio Meteorológico Nacional de México y la CONAGUA como la ciudad más árida de México. Dentro del territorio municipal se extienden la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar y la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y delta del río Colorado, ambas declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

El municipio cuenta con una extensión territorial de 8412,75 km², que representa el 4,5 % de la superficie total del estado, mientras que su zona urbana comprende 100.26 km². Las localidades más importantes, además de la cabecera municipal, son: El Poblado Luis B. Sánchez, Golfo de Santa Clara, Nuevo Michoacán e Islita.

San Luis Río Colorado se localiza en el extremo noroeste del estado de Sonora, en la región del desierto sonorense. La mayoría de su territorio, tanto municipal como urbano, se encuentra sobre zonas del llamado Gran Desierto de Altar.

Ilustración 1. Localización de San Luis Río Colorado



Fuente: INEGI

La zona urbana de San Luis Río Colorado se sitúa a una altura de 45 m sobre el nivel del mar, mientras que el resto del municipio varía de 27 m, en los cauces del río Colorado, hasta 500 m en zonas cercanas a la sierra del Pinacate.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tiene límites administrativos con los siguientes municipios y accidentes geográficos, según su ubicación: al norte y noreste Yuma, (Arizona, EE. UU.); este y sureste, Puerto Peñasco, (Sonora, México); sur y suroeste Golfo de California; oeste y noroeste Mexicali, (Baja California, México).

La región está caracterizada por un intervalo anual de clima extremo. Las temperaturas promedio, de junio a septiembre (los meses más calurosos del año), varían por lo general entre 30 y 33°C. Sin embargo, en la temperatura diurna se encuentran registros que alcanzan más de 50°C. El Servicio Meteorológico Nacional considera a San Luis Río Colorado como la ciudad más calurosa de México. La temperatura máxima más alta registrada de manera oficial ha sido de 52.5 °C, el 15 de junio de 1966. Más tarde, el 6 de julio de 1966, el termómetro marcó la máxima temperatura registrada en una ciudad en el mundo con 58.5 °C, en San Luis Río Colorado.

De acuerdo con los resultados de la Encuesta Intercensal 2015 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y publicada el 8 de diciembre del mismo año, el municipio de San Luis Río Colorado cuenta con una población de 192,739 habitantes, que equivale al 6.7 % de la población del estado de Sonora, el 4° más poblado del estado. Creció a una tasa de 1.9 % promedio anual en los cinco años subsecuentes al censo INEGI 2010, alcanzando a diciembre del 2019 una población de 208,344 habitantes. En los últimos 20 años el crecimiento poblacional ha sido relativamente alto (2.78 % anual), en comparación con los niveles de crecimiento de otras ciudades sonorenses. Asimismo, se espera que para el 2030 incremente su población a 237,020 habitantes (proyección CONAPO, 2010).

Las principales actividades económicas son: la industria, agricultura, ganadería, pesca y comercio.

De acuerdo con el censo nacional, elaborado por el INEGI, la población económicamente activa (PEA) en el año 2010 fue de 72,983 habitantes, de los cuales 68,361 (el 93,7 %) representan la PEA total con una ocupación. La PEA representa el 54.6 % de la población total del municipio.

La mayor parte de la población ocupada trabaja en el sector terciario, con 61,9 % del total; le sigue el sector secundario con 25,6 %, y el primario con el 12,5 %.

San Luis Río Colorado es el principal productor de dátil en el país, alcanzando el 70 % de la producción anual, con una superficie de siembra de 1432 hectáreas, en el año 2019, además de que estudios realizados por investigadores de la Universidad Estatal de Sonora demuestran una calidad superior del fruto producido en esta región, en comparación con el que se produce en otras latitudes del mundo, por lo que al municipio ya se le reconoce como "La Capital del Dátil".

La ciudad se comunica por carreteras asfaltadas con la península de Baja California y los estados de Arizona y California. Tanto la carretera que une a San Luis Río Colorado con los otros municipios de Sonora, así como el puente sobre el río Colorado, se terminaron en 1958. El 25 de julio del 2009 se terminó la carretera Costera, que comunica a San Luis Río Colorado con Puerto Peñasco.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Si bien San Luis Río Colorado carece de aeropuerto comercial, se puede viajar desde los aeropuertos de las vecinas ciudades de Baja California y Yuma, Arizona. En 1948 se terminó de construir el ferrocarril Sonora-Baja California, que atraviesa el municipio por varios puntos de su valle.

Tabla 1. Datos básicos del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado

Población actual: 192,739 hab.			
Cobertura de servicios	%	Eficiencia del sistema	%
Agua potable	98.33	Física	74.76
Alcantarillado sanitario	67.61 (Mpal.) 86.00 (Ciudad)	Comercial	35.38
Saneamiento	90.25	Global	26.45

Fuente: OOMAPAS San Luis Río Colorado

Los servicios de agua potable y saneamiento están a cargo del Organismo Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OMAPAS) de San Luis Río Colorado, y es un organismo público descentralizado de la Administración Pública Municipal, que cuenta con su propia normatividad, que tiene como objetivo esencial la construcción operación, administración, mantenimiento y prestación de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado en el municipio.

La topografía de la zona donde se asienta la ciudad de San Luis Río Colorado tiende a ser bastante plana, por lo que el drenaje sanitario opera con apoyo de los cárcamos de bombeo. El territorio del municipio tiene amplias planicies desérticas y presenta una gran variabilidad en cuanto a topoformas; junto a grandes planicies desérticas coexisten, además, lomeríos y sierras de alturas variables, principalmente en los límites con el municipio de Puerto Peñasco, ya fuera de los confines urbanos.

La infraestructura de alcantarillado y saneamiento se ha incrementado notablemente en los últimos 20 años; la cobertura de alcantarillado sanitario era del 37 % en el año 2000, y en el año 2007 era del 50 % (Documento de certificación de obras de ampliación de alcantarillado COCEF, 2007).

Es decir, al principio de este milenio (año 2000) la mayor parte de la población no estaba conectada al sistema de alcantarillado y utilizaban letrinas y fosas sépticas. Actualmente existen todavía varias zonas que aún carecen del servicio, ubicadas al sureste de la ciudad. El organismo operador pretende enfocar esfuerzos para dotar de infraestructura a esas zonas.

El actual sistema de alcantarillado opera a gravedad, aunque en algunos sectores lo hace con el auxilio de seis cárcamos de bombeo de aguas residuales; estas aguas se concentran en el Cárcamo Sur, de donde es enviada el agua residual a la planta de tratamiento, mediante un emisor de poco más de 5.5 km de longitud.

La ciudad de San Luis Río Colorado presenta un patrón de crecimiento extensivo y una baja densidad de población; se espera que en los próximos años el crecimiento continúe con el mismo patrón de extensión. Esa condición encarece la infraestructura, ya que demanda mayores longitudes.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 2. Resumen de la problemática, solución e inversión, San Luis Río Colorado, SO

<p>Problemática</p>	<p>Actualmente, la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario en la Ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora es de 86 %. Pero a nivel del municipio es de 67.6 %, por lo que es necesario construir la infraestructura sanitaria para incrementar la cobertura del servicio.</p> <p>La infraestructura de drenaje sanitario en San Luis Río Colorado, sobre todo en la zona centro, tiene una antigüedad superior a los 55 años, y es urgente la reposición total de esta; existe la necesidad de reponer o rehabilitar las tuberías e infraestructura de drenaje cuya antigüedad las relaciona con algunos eventos ligados al deterioro (roturas, fugas, colapsos), derivado de un desgaste físico, vinculado generalmente al envejecimiento y tipo de materiales; se estima que aproximadamente 202 km, de los 580 km con que cuenta la red de atarjeas, presentan daños, y que cumplieron o están por cumplir su vida útil. Otro aspecto es la disminución de la capacidad de conducción, debido al estrechamiento de la sección interna (diámetro) de los tubos, causado por depósitos de sedimentos, azolves y erosión. Asimismo, otro tipo de deterioro se manifiesta por el incremento de caudales, que son provocados por descargas de sustancias o algún material en las tuberías, circunstancias que se presentan sobre todo en la parte más antigua de la ciudad.</p> <p>Existen numerosos cruceros con gran tráfico vehicular, que deberán de reforzarse para evitar que las tuberías sufran colapso por el sobrepeso y el impacto del tráfico, por lo que en primer lugar el área a reforzar es la del sistema es el alcantarillado.</p>
<p>Solución</p>	<p>La alternativa para mejorar el sistema es aprovechar la infraestructura de colectores, subcolectores y red de atarjeas, principalmente. Sin embargo, también existen sectores del sistema que requieren rehabilitación inmediata, como es el caso de la red de atarjeas de la zona centro, que cuenta con tubería muy antigua, obsoleta y dañada, por lo que, según señalamientos, se requiere sustituir aproximadamente 58 km de tubería, y en un futuro muy próximo otros 87 km.</p> <p>Las condiciones topográficas del área dónde se asienta San Luis Río Colorado requieren de apoyar las conducciones mediante bombeos de baja carga para hacer llegar el agua a la planta de bombeo principal Cárcamo Sur, que fue dimensionada para concentrar las aguas residuales de todo el centro de población a largo plazo.</p> <p>Hacia esta planta de bombeo (PBAR), denominada Cárcamo Sur, se concentrarán también las aguas residuales de la zona de expansión que generará el crecimiento poblacional de la ciudad.</p> <p>La PBAR requiere el mantenimiento adecuado para su conservación. Debe considerarse que, al adoptarse el proyecto de ampliación de la PTAR, será necesario adecuar los bombeos a la nueva capacidad.</p> <p>La PTAR Cucapah requiere mantenimiento preventivo, además de acciones necesarias para mejorar la calidad de descarga; asimismo, en lo que respecta al sistema de bombeo, es necesario dar mantenimiento preventivo; los colectores requieren sustitución de una parte de la tubería, así como rehabilitación en cruces en la red de atarjeas en el sector central de la ciudad.</p>
<p>Inversión</p>	<p>Al 2050 se presenta una cartera de acciones y proyectos para atender la demanda de saneamiento en San Luis Río Colorado, SO, por un total de 1,333 mdp, para llevar a cabo 26 acciones, de las cuales 13 atenderán la problemática de colectores y emisores, con una inversión de 540 mdp, seis acciones serán para plantas de bombeo y rebombeo, con una inversión de 86 mdp, una para plantas de tratamiento de aguas residuales, con una inversión de 120 mdp, y seis más que atenderán infraestructura complementaria, con una inversión de 587 mdp.</p>

Fuente: Elaboración propia.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1 Diagnóstico de los sistemas de saneamiento de la región

El OOMAPAS San Luis Río Colorado es un organismo descentralizado de la Administración Pública Municipal, que cuenta con su propia normatividad, y que tiene como objetivo esencial la prestación de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado en el municipio.

El OOMAPAS San Luis Río Colorado fue creado en sesión de cabildo del 28 de diciembre de 1993, como un Organismo Público Descentralizado del Municipio de San Luis Río Colorado del Estado de Sonora, con personalidad jurídica y patrimonio propios, contando con los siguientes órganos internos: una Junta de Gobierno, un Consejo Consultivo, un director general y un comisionado que le confiere la ley No. 104 de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora.

El Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado ha sido objeto de varios estudios y análisis en los últimos 20 años, iniciando con el Proyecto Integral de Saneamiento, con base en el cual sólo se llevó a cabo la rehabilitación y ampliación del alcantarillado, sino que, además, se ejecutó la construcción de la actual planta de tratamiento de aguas residuales.

En el año 2007 se construyó la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que es la única con la que actualmente se cuenta.

La PTAR Cucapah funciona mediante el proceso de tratamiento secundario con base en lagunas de oxidación, con una capacidad instalada de 600 l/s y un caudal medio de operación de 327 l/s; el efluente pasa por un conjunto de lechos de infiltración que descargan en un humedal, y es ahí donde termina el proceso de infiltración.

1.1 Recopilación y análisis de la información

La recopilación de información técnica para el presente trabajo de Formulación de Programa de Saneamiento de la Frontera Norte, en lo concerniente a la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora, comprende información de diversas instancias, que incluyen principalmente a la Comisión Estatal del Agua de Sonora, el Organismo Operador de los Servicios de Agua y Saneamiento de San Luis Río Colorado SLRC, (OOMAPAS, Río SLRC, Sonora), la representación de la CILA en Nogales, la Comisión Nacional del Agua, a través del Organismo de Cuenca Noroeste, el INEGI, CONAPO e instancias municipales, 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.

A continuación se enlistan los principales documentos recopilados, que aportan información útil para desarrollar el Programa.

Tabla 3. Recopilación de información

Descripción del archivo	Fuente
Certificación del Proyecto de Ampliación del Sistema de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de SLRC	Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza
Alcantarillado sanitario y planta de tratamiento	OOMAPAS SAN LUIS RÍO COLORADO
Ampliación del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en San Luis Río Colorado, Sonora.	Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza
Diagnóstico de la situación actual, indicadores y requerimientos de inversión, a diciembre del 2018	OOMAPAS-CONAGUA, SAN LUISRÍO COLORADO
Estudio geohidrológico puntual para obtener las características hidráulicas del SITIO del “proyecto de recarga artificial del acuífero mediante la infiltración con agua residual tratada”.	INTERNET
Clasificación por objeto del gasto, del 1 de enero al 31 de diciembre del 2019	OOMAPAS SLRC
Manual de operación y mantenimiento de lagunas de estabilización facultativas	OOMAPAS SLRC
Plano de la rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario en zona del aeropuerto, (colonia del Bosque), SLRC	OOMAPAS CSC
Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales	OOMAPAS SLRC
Plano de alcantarillado sanitario, cárcamos de bombeo de aguas residuales y coberturas de saneamiento	OOMAPAS SLRC
Diagnóstico de la situación actual, indicadores y requerimientos de inversión, a diciembre del 2018	OOMPAS-Conagua, SLRC
Ciudades-indicadores-San Luis Río Colorado.	INFONAVIT (ONU- HABITAT)
Diagnóstico y propuesta de regulación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento	IMTA
Plano AutoCAD: Alcantarillado sanitario, colectores e información de cárcamos y PTAR de San Luis Río Colorado	OOMAPAS SLRC

Fuente: Elaboración propia.

1.1.1 Sistema principal de alcantarillado

La infraestructura del Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado se ha incrementado notablemente en los últimos 20 años; es del tipo unitario, y a diciembre del 2019 se contaba con 46,722 descargas domiciliarias conectadas.

Ilustración 2. Subdivisión general de la red de alcantarillado y saneamiento



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Es decir, al principio de este milenio (año 2000) la mayor parte de la población no estaba conectada al sistema de alcantarillado, utilizando letrinas y fosas sépticas. Todavía existe una zona que aún carece del servicio, la cual se ubica al sureste de la ciudad; es ahí donde el organismo operador pretende enfocar esfuerzos para dotar de infraestructura a esas áreas.

La dirección de los flujos de las captaciones de aguas residuales es el resultado del proceso de crecimiento y expansión urbana a lo largo de los años; actualmente se identifican dos grandes zonas de drenaje en el sector norte y oeste, que es el lugar más antiguo de la ciudad con un alto porcentaje del área de captación que es del orden de (30 km²); las aguas residuales se concentran a la salida en el colector Los Pinos, que en la parte baja, es decir, a la llegada al Cárcamo Sur, es apoyado por el colector de la calle 10^a.

La zona Este, que abarca las áreas de crecimiento de los últimos 30 años, es una zona de aproximadamente 25 km²; tiene como conductos principales el colector de la calle 23a y el colector que conduce las aguas residuales desde la zona industrial.

Todos los caudales captados son concentrados en el cárcamo de bombeo Sur, para de ahí enviarlos a presión a la PTAR Cucapah.

1.1.1.1 Cobertura de drenaje sanitario

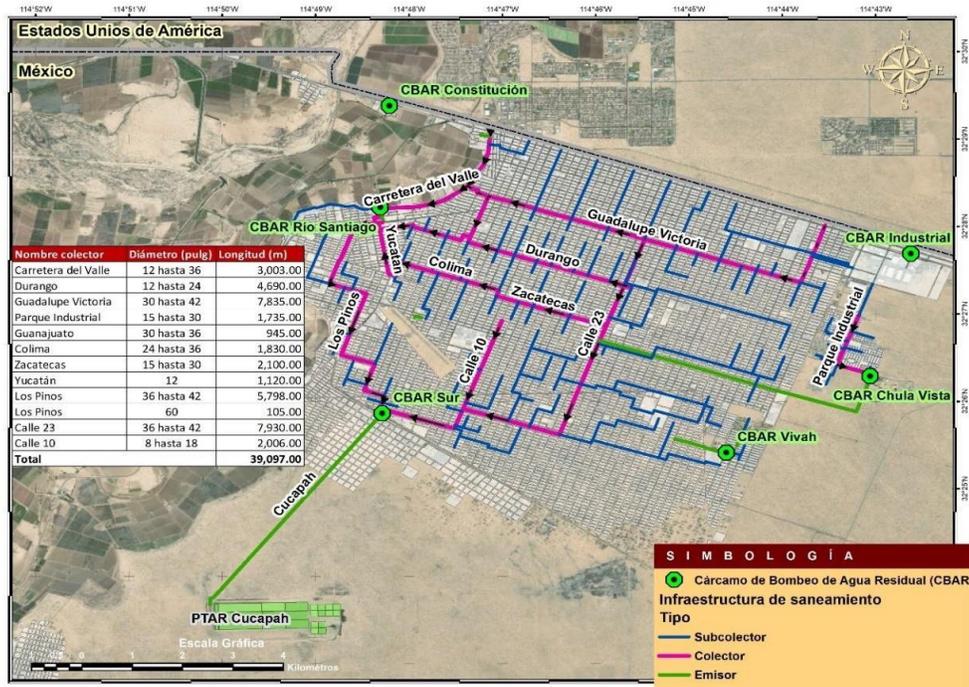
Actualmente se considera que el Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado registra una cobertura del 86 %, beneficia a una población de aproximadamente 165,000 habitantes, a través de la captación y manejo de 46,722 descargas. Se estima que el resto de la población tiene descargas directas a letrinas y, en el mejor de los casos, cuenta con fosas sépticas en su propio terreno. Las áreas sin servicio se localizan principalmente en las zonas periféricas de la ciudad, ubicadas hacia el sureste de la mancha urbana. Por otra parte, es importante mencionar que la cobertura en el municipio es muy baja, tan sólo del 67.61 %.

En SLRC la cobertura de alcantarillado sanitario en el año 2000 era del 37 %, y en el año 2007 creció al 50 % (Documento de certificación de obras ampliación de alcantarillado COCEF, 2007).

Es decir, a principio de este milenio (año 2000) la mayor parte de la población no estaba conectada a un sistema de alcantarillado sanitario.

En la zona que aún carece del servicio, y que se ubica al sureste de la ciudad, es donde el organismo operador pretende enfocar esfuerzos para dotar de infraestructura; ahí se ubican las colonias: Reforma, Mezquites y Solidaridad, donde actualmente hay un poco más de 25,000 habitantes; pero, una vez densificada esta zona, habitarán más de 44,000 personas; la necesidad del servicio de alcantarillado de esta área, da origen al proyecto REMESOL, que deriva del nombre de las tres colonias incluidas en el proyecto Reforma, Mezquite y Solidaridad.

Ilustración 3. Infraestructura principal del sistema de alcantarillado de San Luis Río Colorado



Fuente: OOMAPAS San Luis Río Colorado

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

Actualmente el sistema de alcantarillado sanitario cuenta con 26.36 km de emisores, de 10 a 30 pulgadas de diámetro; 88.98 km de colectores y subcolectores, con diámetros de 10 a 45 pulgadas, y 580 km de atarjeas, de 8 y 10 pulgadas, para un total de 682 km de líneas.

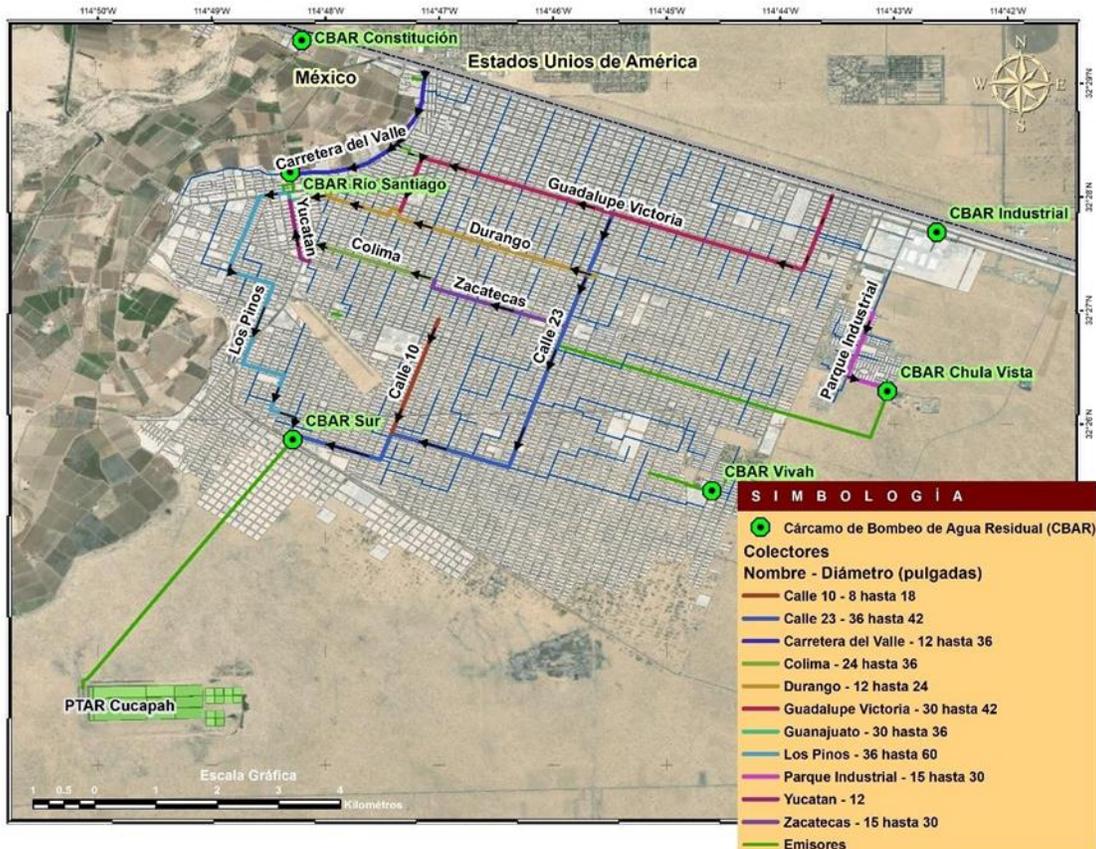
Entre los años 2012 y 2018 se realizó la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario, mediante la construcción de la siguiente infraestructura:

- Subcolector Guadalupe Victoria, con una longitud de 1419 m de tubería de PVC, de 760 mm de diámetro y 381 m de tubería de PVC de 600 mm de diámetro.
- Subcolector Chihuahua, con una longitud de 2006 m de tubería de 200 mm; 450 m de tubería de PVC de 250 mm; 916 m de tubería de PVC de 380 mm; 780 m de tubería de PVC de 450 mm, y 1276 m de tubería de PVC de 610 mm.
- Subcolector Zacatecas, con una longitud de 3079 m de tubería de PVC de 200 mm de 200 mm; 1298 m de tubería de PVC de 250 mm; 129 m de tubería de PVC de 300 mm; 130 m de tubería de PVC de 380 mm; 392 m de tubería de PVC de 450 mm, y 2506 m de tubería de PVC de 610 mm.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 4. Planta general del sistema de alcantarillado, red primaria de San Luis Río Colorado, SO



Fuente: OOMAPAS San Luis Río Colorado

1.1.1.3 Sitios de descarga y disposición final

El sistema de alcantarillado está estructurado de forma tal que toda el agua residual recolectada por la red del sistema es conjuntada en un sitio; es decir, es conducida hasta el cárcamo de bombeo denominado Cárcamo Sur, que opera actualmente hasta con 420 l/s, pero que tiene una capacidad instalada de 1200 l/s. Del cárcamo sur el agua residual cruda es enviada por medio de un emisor a la PTAR Cucapah.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cucapah, que trata las aguas residuales de San Luis Río Colorado, está localizada a 5.2 km al sur de la ciudad, en una zona conocida como la Mesa Arenosa.

El efluente del agua residual tratada descarga en un humedal artificial al final del tratamiento, en un terreno contiguo a la planta; corresponde al área de recarga de acuífero de la Mesa Arenosa y se caracteriza, como su nombre lo indica, por ser una zona arenosa, de muy escasa precipitación.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 5. Planta general del sistema lagunar de tratamiento de aguas residuales, San Luis Río Colorado



Fuente: Informe OOMAPAS SLRC

Los lechos de infiltración se encuentran contruidos en grupos de cuatro por módulo de tratamiento, por loque actualmente existen 12 lechos en los que se llevan a cabo, cada determinado tiempo, trabajos de arado para maximizar en lo posible las velocidades de infiltración.

Los lechos de infiltración son alimentados por un canal de distribución que alimenta canaletas laterales que vierten el agua en los lechos. Se requiere del arado del fondo de estos lechos para evitar taponamientos que reducen las velocidades de infiltración.

Ilustración 6. Canal central y canaletas vertedoras laterales de alimentación a los lechos de infiltración



Fuente: OOMAPAS San Luis Río Colorado



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 7. Lecho de infiltración donde se muestran los trabajos de arado



Fuente: OOMAPAS, San Luis Río Colorado

1.1.1.4 Sistemas de bombeo principales

El equipamiento de bombeo de aguas residuales, del Sistema de Alcantarillado Sanitario, consta de seiscárcamos con equipos de bombeo que tienen diferentes caudales de operación, mismos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Cárcamos de bombeo del sistema de alcantarillado SLRC

Nombre del cárcamo	Caudal operación (lps)
Constitución	15
Río Santiago	70
Industrial	20
Chula Vista	70
Vivah	40
Sur	420

Fuente: OOMAPAS San Luis Río Colorado

La planta de bombeo principal es el Cárcamo Sur, en la que se descargan la totalidad de los caudales que se captan en la red de alcantarillado. El equipamiento electromecánico del cárcamo de bombeo Sur consiste en seis equipos con capacidad total para bombear 1200 l/s, y actualmente se opera con un gasto de 400 l/s y una carga total de bombeo de 22.8 m. Dos de los equipos de bombeo operan regularmente y uno de ellos permanece como reserva; la potencia instalada en condiciones de operación de los equipos es de 800 HP.

Además del equipo de bombeo, la estación cuenta con el siguiente equipamiento:CRIBA



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La criba está programada para que opere automáticamente cada vez que haya acumulación de basura en el afluente del sistema. En caso de presentarse algún fallo, esta puede operarse de manera manual desde el tablero de control.

DESARENADOR

Al igual que la criba, el desarenador también está programado para que opere de manera automática; este se activa cada hora por intervalo de 30 minutos. El ciclo normal del desarenador comienza con el encendido de la bomba de succión seguida por el agitador y tornillo de separación de lodos.

GENERADORES DE EMERGENCIA

Los generadores de emergencia actúan cuando hay un corte de corriente por parte de la red de CFE que abastece; actualmente se cuenta con dos generadores de emergencia que alimentan las operaciones para el bombeo del emisor 1 y 2.

Los generadores entran automáticamente cuando se detecta un fallo en la red de suministro de corriente; es de suma importancia estar monitoreando los niveles de aceite, anticongelante y diésel de los generadores, para garantizar un buen arranque en un caso de emergencia.

BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES

La planta de bombeo Cárcamo Sur está equipada con dos emisores alimentados con tres bombas, cada uno. Las bombas operan alternadamente en intervalos de tiempo, comenzando las bombas del emisor 1, y con retardo de cinco segundos empiezan las bombas del emisor 2.

1.1.1.5 Volúmenes y tipo de aportaciones de aguas residuales

En el 2019 el caudal del afluente actual en la planta de tratamiento, en promedio anual fue de aproximadamente 327 l/s, equivalentes a un volumen anual de 10.312 millones de metros cúbicos.

La ciudad de San Luis Río Colorado es el único contribuyente de aguas servidas a la planta de tratamiento de aguas residuales, es decir sus aguas residuales son las características de las aguas residuales municipales.

Para atender las necesidades de corto plazo y futuras, en materia de alcantarillado y saneamiento, es necesario desarrollar acciones paralelas que atiendan los siguientes aspectos: por una parte, la sustitución y rehabilitación de las redes de alcantarillado, que se encuentran en mal estado, atendiendo de manera prioritaria las zonas más antiguas. Por otra parte, redistribuir la forma en que se maneja el agua residual (sectores), dotándolos de capacidad de bombeo e infraestructura para hacer llegar el fluido hasta la PTAR.

1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales

El saneamiento de las aguas residuales de la ciudad de San Luis Río Colorado se realiza en una PTAR que emplea el sistema de lagunas de estabilización con tres módulos, que constan, cada una, de un tren de tratamiento con el siguiente arreglo:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- Lagunas anaerobiasLagunas facultativas
- Lagunas de maduración 1 y 2
- Sistema de recarga: 12 lechos de infiltraciónUn humedal de 20 hectáreas

1.1.2.1 Cobertura de tratamiento de aguas residuales

Actualmente se estima que la ciudad de San Luis Río Colorado tiene un 86 % de cobertura de alcantarillado, es decir, de una población de 192,739 habitantes, 165,755 habitantes se encuentran conectados a la red de alcantarillado, y el caudal total recolectado es conducido para tratamiento a la PTAR Cucapah.

La ampliación de la red se ha realizado por etapas, conforme la ciudad ha ido creciendo, de tal forma que hoy se tiene bien definida el área urbana que carece de servicio, la cual se encuentra en un sector al sureste de la ciudad.

1.1.2.2 Ubicación de las PTAR y áreas de aportación

La planta de tratamiento de la ciudad de San Luis Río Colorado se ubica aproximadamente a 5 km al sur de la mancha urbana, en la denominada Mesa Arenosa. El agua de las redes es concentrada en el Cárcamo Sur, que es la planta de bombeo más importante del sistema, el cual se opera en una combinación de sistema por gravedad, apoyado por seis cárcamos de bombeo.

Del Cárcamo Sur la totalidad de los caudales concentrados son conducidos a presión mediante el emisor principal de 5.2 km de longitud y 76 cm (30 pulgadas) de PVC; este emisor, al igual que la PTAR, es denominadoCucapah.

El área urbana de SLRC abarca una superficie de 67 km², de los cuales, relacionados con el sistema de alcantarillado y saneamiento, aproximadamente el 45 % corresponde a la red más antigua de la ciudad, que está en la zona más densamente poblada; el 35 % está en el área donde se ha registrado el mayor crecimiento urbano en los últimos 30 años, y el restante 20 % de la superficie urbana corresponde a donde está la población más dispersa y de más baja densidad poblacional.

Ilustración 8. Áreas de aportación a la red de alcantarillado y saneamiento



Fuente: elaboración propia

1.1.2.3 Proceso y normas que cumplen las PTAR

Tipo de tratamiento: lagunas de estabilización

Número de módulos de tratamiento: tres módulos con arreglo ANAEROBIA-FACULTATIVA-MADURACIÓN 1-MADURACIÓN 2-SISTEMA DE RECARGA.

El tiempo de retención hidráulica total es de 29 días. La descarga de agua tratada es al suelo.

Sistema de recarga artificial del acuífero. El volumen anual tratado es de 10'200,000 m³.
Normatividad en cumplimiento: Sistema de lagunas: NOM-001-SEMARNAT-1996 para el sistema de recarga artificial del acuífero: NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1996.

El sistema estará constituido por cuatro trenes independientes, de los cuales operarán dos en la primera etapa y dos más en la segunda etapa. El caudal de diseño para cada etapa fue de 400 l/s, y el de cada tren de tratamiento de 200 l/s.

El tren de tratamiento está formado por una laguna anaeróbica, una laguna facultativa y dos lagunas de maduración.

El diagrama de flujo de cada tren estará constituido por las unidades siguientes: Caja de recepción de agua cruda >>> Laguna anaeróbica >>> Laguna facultativa >>>> Laguna de maduración primaria >>> Laguna de maduración secundaria >>> lechos de infiltración.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En las lagunas anaeróbicas se remueve la mayor parte de la materia orgánica suspendida, así como una fracción de los coliformes presentes en el agua cruda. La materia orgánica, los coliformes y los huevos de helminto, que no sean removidos en la laguna anaeróbica, serán eliminados en gran parte en las lagunas facultativas; las lagunas de maduración recibirán el efluente de las lagunas anteriores y sirven para remover coliformes, huevos de helminto y materia orgánica para cumplir con la calidad que fija la normatividad.

El arreglo general de la planta está concebido para que funcionen cuatro módulos con el tren de tratamiento que se describe:

Tabla 5. Arreglo de los módulos de la planta de tratamiento Cucapah en San Luis Río Colorado

Primera etapa		Segunda etapa	
Tren # 1	Tren # 2	Tren # 3	Tren # 4
Laguna anaeróbica 1	Laguna anaeróbica 2	Tren # 3	Tren # 4
Laguna facultativa 1	Laguna facultativa 2	Laguna anaeróbica 3	Laguna anaeróbica 4
Laguna de maduración 1	Laguna de maduración 3	Laguna facultativa 3	Laguna facultativa 4
Laguna de maduración 2	Laguna de maduración 4	Laguna de maduración 5	Laguna de maduración 7

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR Cucapah

El agua cruda procede de un emisor que se bifurca y opera en dos etapas, derivándose el agua desde este punto hasta una caja reguladora de presión, cuyo efluente será cuantificado en un medidor Parshall, y desde ahí, dirigirlo en primera instancia al canal de distribución de las lagunas anaeróbicas 1 y 2, que operarán durante la primera etapa; para la segunda etapa se contará con otra caja de recepción, otro medidor Parshall y un canal de distribución.

Actualmente la planta de tratamiento consta de tres módulos; cada módulo con el arreglo de los trenes de tratamiento que se describieron en la tabla 5, para una capacidad total de 600 l/s.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 9. Planta general del sistema lagunar de tratamiento de aguas residuales, San Luis Río Colorado



Fuente: Informe OOMAPAS SLRC

1.1.2.4 Capacidad instalada y operación actual

La capacidad de diseño de la PTAR es de aproximadamente 51,850 m³/día (13.7 millones de galones por día (MGD) o 600 litros por segundo (l/s)).

La planta de tratamiento de aguas residuales fue diseñada para cumplir con los parámetros básicos, especificados bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, y el agua residual tratada se vierte para recarga del acuífero de San Luis Río Colorado en la zona de la planta de tratamiento.

La PTAR es operada y administrada por el OOMAPAS de San Luis Río Colorado y, como ya se señaló, tiene actualmente una capacidad instalada para tratar 600 l/s, y opera con un caudal promedio de 327 l/s.

Esta planta fue diseñada para recibir un caudal de 800 l/s; el sistema completo lo constituyen cuatro trenes independientes, de los cuales operarán dos en la primera etapa y dos más en la segunda etapa. El caudal de diseño para cada etapa fue de 400 l/s, y el de cada tren de tratamiento de 200 l/s.

Sin embargo, la primera etapa construida consta de dos trenes de tratamiento de 200 l/s, y posteriormente se construyó un tercer módulo de 200 l/s, para alcanzar una capacidad de tratamiento de 600 l/s.

1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada

Únicamente se tiene un sistema de recarga artificial del acuífero; no cuenta con infraestructura para el aprovechamiento agrícola, urbano o industrial de las aguas residuales tratadas.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- Tipo de recarga: recarga natural en lechos de infiltración. Número de lechos de infiltración: 12 lechos de 110 m X 110 m. Caudal de carga a lechos: 85-100 l/s.
- Tiempo de operación por lecho: 4 días.
- Conductividad hidráulica de los lechos de infiltración: 5.2 m/d.
- Tipo de humedal: humedal subsuperficial Tiempo de retención hidráulico: 13 días.
- Caudal promedio del humedal: 100 l/s.
- Descarga de humedal: suelo-sistema de recarga artificial del acuífero.

Ilustración 10. Vista general del humedal en el extremo de la PTAR en San Luis Río Colorado



Fuente: OOMAPAS SLRC

1.1.3.1 Cobertura de red reúso

No existe red de reúso; el efluente descarga en lechos de infiltración y en un humedal.

1.1.3.2 Calidad y uso de los efluentes

Con el fin de mejorar la calidad del efluente de la PTAR, respecto a concentración de sólidos y nutrientes para recargar agua de mejor calidad al acuífero y aumentar la vida útil de los lechos de filtración, respecto al fenómeno de colmatación, se construyó un humedal al final del tratamiento, cuya descarga es la infiltración al subsuelo.

Tabla 6. Parámetros de la NOM-001-ECOL-1996, a cumplir por la PTAR Cucapah, San Luis Río Colorado

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: NOM-001.ECOL-1996

Normatividad en cumplimiento: NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-015-SEMARNAT-1996 y NOM-015-CONAGUA-2007, infiltración artificial de agua a los acuíferos.

Características y especificaciones de las obras y del agua.

Las obras de disposición de aguas al subsuelo, mediante pozos de infiltración, deben contar con un sistema de tratamiento que garantice que el agua en el punto de infiltración tendrá los límites permitidos y establecidos en las normas oficiales correspondientes.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 7. Parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 PTAR Cucapah, San Luis Río Colorado

Contaminante	Unidad de medida	Límite	Método de prueba	Resultado de monitoreo
Grasas y aceites	mg/L	15	NMX-AA-005-SCFI-2000	5.7
Materia flotante	mg/L	0	NMX-AA-006-SCFI-2000	Ausente
Sólidos sedimentables	mg/L	2	NMX-AA-004-SCFI-2000	ND
Sólidos suspendidos totales	mg/L	150	NMX-AA-034-SCFI-2000	32
Nitrógeno total	mg/L	40	NMX-AA-026-SCFI-2000	42
Fósforo total	mg/L	20	NMX-AA-029-SCFI-2000	5.62
Coliformes fecales	NPM/100 ml	No detectable	NMX-AA-042-1987	283

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996

Tabla 8. Resultados de calidad en pozo de observación a un costado de la PTAR (diciembre de 2019)

PARÁMETRO / UNIDADES	RESULTADO	D	LMP	MÉTODO DE ANÁLISIS
Arsénico(mg/L)	0.020 25		0.20	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Cadmio(mg/L)	< 0.025		0.20	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Cromo total(mg/L)	< 0.100	100	1.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Cobre(mg/L)	< 0.05	100	4.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Mercurio(mg/L)	< 0.0005	100	0.01	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Níquel(mg/L)	< 0.10	100	2.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Plomo(mg/L)	< 0.100	100	0.50	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Zinc(mg/L)	< 0.10	100	10.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Demanda bioquímica de oxígeno-1(mg/L)	< 1.98	100	NA	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Demanda bioquímica de oxígeno-6(mg/L)	< 1.98	100	NA	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Demanda bioquímica de oxígeno-M(mg/L)	< 1.98	100	20.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Sólidos suspendidos totales-1(mg/L)	30	100	NA	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Sólidos suspendidos totales-6(mg/L)	33	100	NA	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Sólidos suspendidos totales-M(mg/L)	31.5	100	20.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Grasas y aceites-N(mg/L)	< 5.00	100	15.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Cianuros(mg/L)	< 0.025	100	20.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Huevos de helminto (HH/L)	< 1.0	100	1.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Coliformes fecales- L(NMP/100ml)	460	100	240.00	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B

Fuente: OOMAPAS San Luis Río Colorado, Sonora

Tabla 9. Resultados de análisis de calidad del agua en pozo de observación a un costado de la PTAR (marzo 2020)

Parámetro/unidades	Resultado	D	LMP	Método de análisis
Arsénico (mg/L)	0.031	25	0.400	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Cadmio (mg/L)	< 0.025	100	0.400	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Cromo total (mg/L)	< 0.100	100	1.500	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Cobre (mg/L)	< 0.05	100	6.000	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Mercurio (mg/L)	< 0.0005	100	0.020	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Níquel (mg/L)	< 0.10	100	4.000	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Plomo (mg/L)	< 0.100	100	1.000	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Zinc (mg/L)	< 0.10	100	20.000	NMX-AA-051-SCFI-2016 A, B
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)(mg/L)	< 1.98	100	200.000	NMX-AA-028-SCFI-2001 A, B
Demanda química de oxígeno (mg/L)	21.100	100	200.000	NMX-AA-030/1-SCFI-2012 A, B
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	< 9.00	100	200.000	NMX-AA-034-SCFI-2015 A, B
Sólidos sedimentables (mUL)	< 0.1	100	2.000	NMX-AA-004-SCFI-2013 A, B
Grasas y aceites-N (mg/L)	< 5.00	100	25.000	NMX-AA-0 05-SCF I-2013 A, B
Cianuros (mg/L)	< 0.025	100	30.000	NMX-AA-058-SCFI-2001 A, B
Fósforo tota l(mg/L)	1.590	100	30.000	NMX-AA-029-SCFI -2001 A, B
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	2.860	100	NA	NMX-AA-026-SCF I-2010 A, B
Nitrógeno de nitritos (mg/L)	0.568	10	NA	NMX-AA-099-SCFI-2006A, B
Nitrógeno de nitratos (mg/L)	0.672	50	NA	NMX-AA-079-SC FI-2001 A, B
Nitrógeno orgánico (mg/L)	0.497	100	NA	NMX-AA-026-SCF I-2010 A, B
Nitrógeno total (mg/L)	4.600	NA	60.000	SUMATORIA A, B, E



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	3.360	100	NA	NMX-AA-026-SCFI-2010 A, B
Huevos de helminto (HH/L)	< 1.00	100	1.000	NMX-AA-113-SCFI-2012 A, B
Coliformes fecales (NMP/100ml)	< 3.00	100	2000.000	NMX-AA-042-SCFI-2015 A, B

Fuente: OOMAPAS San Luis Río Colorado, Sonora

1.1.4 Generalidades

La operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, así como del resto de la infraestructura desaneamiento de la ciudad de San Luis Río Colorado recae en el Organismo Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OMAPAS), que es un organismo público descentralizado de la Administración Pública Municipal, cuyo objetivo esencial es la construcción, operación, administración, mantenimiento y prestación de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado en el municipio. El organismo cuenta con las facultades legales, administrativas y técnicas necesarias para brindar estos servicios a la población. Las facultades que se citan están establecidas en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y en el Código Administrativo del Estado de Sonora.

Para el análisis de eficiencia energética, se consideraron las normas: NOM-001-ENER, NOM-010-ENER y NOM-006-ENER, y para el diseño de la PTAR se utilizaron las siguientes normas que marcan los límites máximos de los contaminantes en las descargas: NOM-001 y 002-SEMARNAT-1996, y NOM-003- SEMARNAT-1997, y NOM-004- SEMARNAT-2002, relacionada esta última con lodos y biosólidos.

En virtud de que se descarga agua tratada para ser infiltrada al subsuelo con fines de recarga al acuífero de la Mesa Arenosa, el OOMAPAS SLRC busca obtener la certificación de la calidad del agua infiltrada, con el fin de que le sean reconocidos en valor equivalente estos volúmenes en el pago de los derechos por la extracción de agua para uso público urbano.

1.1.4.1 Políticas de operación

Las políticas de operación del sistema de saneamiento se basan en los Manuales de Operación y Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y de los bombeos en el sistema de colectores y emisor.

El manual de operación, tanto de los cárcamos de bombeo como de la planta de tratamiento de aguas residuales, son instrumentos de gran valor y pertinencia, por lo que es importante que los operadores de la PTAR se capaciten en su utilización y tengan en cuenta que la tecnología de la planta que se eligió se compone de procesos unitarios, relativamente de sencilla operatividad, que deben ser adecuadamente controlados y mantenidos, ya que así permitirán el cumplimiento de los objetivos de tratamiento a bajos costos.

El propósito del Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR Cucapah de San Luis Río Colorado es proporcionar al operador la información básica necesaria, para que el sistema de tratamiento diseñado se mantenga en condiciones apropiadas de funcionamiento y produzca un efluente de calidad, así como identificar y prevenir, en su caso, posibles problemas que pudieran hacer que fallara la eficiencia de tratamiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La operación adecuada de un sistema lagunar requiere que el operador conozca cómo deben manejarse los posibles problemas que se presentan en las lagunas de estabilización.

Las actividades que se detallan en el manual de operación se agrupan en los siguientes procesos:

- Arranque y operación de la planta.
- Control de procesos (factores físicos y biológicos).
- Muestreo y evaluación de eficiencias.
- Mantenimiento del sistema:
 - Preventivo y correctivo
 - De las unidades y equipos
- Organización del personal operativo.
- Medidas de seguridad.

En cuanto al Organismo Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OMAPAS), este establece los siguientes aspectos, como parte de su política de operación:

- La aplicación de las mejores tecnologías disponibles y las mejores prácticas medioambientales posibles.
- La búsqueda del ahorro, la reutilización y la eficiencia energética.
- Las soluciones óptimas a largo plazo.
- La garantía en las soluciones propuestas.
- La voluntad del compromiso social.

El control de un proceso de tratamiento se basa en la medición de parámetros, los más significativos para este sistema son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites, coliformes, nitritos (NO₂), nitratos (NO₃), amonio (NH₄), nitrógeno proteico, fosfatostotales y ortofosfatos.

Estos proporcionan la información necesaria para conocer las condiciones en que está trabajando el proceso, y es por esta razón que es de suma importancia que el operador tome adecuadamente la muestra de agua residual que servirá para hacer dichos análisis

1.1.4.2 Derechos de vía y tenencia de la tierra

La posesión de las diversas instalaciones con las que cuenta el OMAPAS están debidamente amparadas por diferentes instrumentos legales, tales como escrituras públicas, contratos de comodato, arrendamiento, etcétera.

En el caso de las tuberías que comprenden las atarjeas, subcolectores, colectores y emisores, la mayoría de ellos están ubicados en vías de comunicación públicas o en derechos de vías federales, y en el resto de los casos (propiedades particulares) se cuenta con los documentos que amparan los permisos correspondientes para su instalación y su libre acceso para la operación y mantenimiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La planta de tratamiento Cucapah se construyó en terrenos de la reserva de la Biósfera del Golfo de Santa Clara.

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

En los informes del OMAPAS se contempla el mantenimiento de la PTAR en el 2019, con un importe de 2.87 mdp; sin embargo, el mantenimiento y operación de los cárcamos, incluyendo los equipos de bombeo, se integran con el importe de los equipos de bombeo en general (pozos profundos y cárcamos).

El gasto en energía eléctrica 2019 en todo el sistema, incluyendo los pozos para agua potable, fue de 24.1 mdp.

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

La facturación total del OMAPAS, en el año 2019, fue por 193.04 mdp; sin embargo, la recaudación fue por 68.9 mdp; es decir, la eficiencia comercial es apenas de 35.6 %.

Por otra parte, los ingresos, considerando diferentes rubros como devolución de IVA, apoyos federales, etcétera, fueron por 175.48 mdp, y los egresos totales por 178.31 mdp con lo que la diferencia ingresos-egresos fue de un déficit de 2.84 mdp, y si se considera la eliminación de subsidios, este déficit se incrementa a 16.33 mdp.

Tabla 10. Facturación total y por tipo de servicio en el OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019)

Tipo de usuario	Agua potable						Alcantarillado (mdp)	Tratamiento (mdp)	Facturación total (mdp)
	Servicio estimado			Servicio medido					
	No. de tomas	Volumen (Mm ³)	Importe (mdp)	No. de tomas	Volumen (Mm ³)	Importe (mdp)			
Doméstica	33,436	10.87	55.94	36,192	13.69	60.55	20.23	19.57	156.29
Comercial	1,084	0.23	3.49	4,117	1.78	13.26	4.34	4.40	25.49
Industrial	42	0.01	1.46	170	0.66	5.91	2.25	1.62	11.25
Servicios									
Toma para construcción									
Total	34,562	11.11	60.89	40,479	16.13	79.72	26.82	25.60	193.03

Fuente: Información del OOMAPAS-SLRC

Tabla 11. Recaudación total y por servicio en el OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019)

Tipo de usuario	Agua potable						Alcantarillado (mdp)	Tratamiento (mdp)	Recaudación total (mdp)
	Servicio estimado			Servicio medido					
	No. de tomas	Volumen (Mm ³)	Importe (mdp)	No. de tomas	Volumen (Mm ³)	Importe (mdp)			
Doméstica	17,559	3.53	18.19	19,007	4.45	19.69	7.18	6.86	51.90
Comercial	658	0.10	1.46	2,497	0.75	5.56	1.72	1.72	10.47
Industrial	36	0.004	0.96	147	0.43	3.88	0.98	0.70	6.52
Servicios									
Total	18,253	3.63	20.61	21,651	5.63	29.13	9.87	9.28	68.90

Fuente: Información del OOMAPAS-SLRC



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 12. Ingresos totales OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019)

CONCEPTO	MONTO (PESOS)
Por servicio de agua potable	49,743,947.08
Por servicio de alcantarillado	9,874,926.38
Por servicio de tratamiento de aguas residuales	9,276,609.23
Por rezago en servicio de agua potable	39,563,453.88
Por rezago en servicio de alcantarillado	7,360,776.96
Por rezago en servicio de tratamiento de aguas residuales	7,119,639.23
Subtotal	122,939,352.77
Por derechos de conexión (agua potable)	2,403,024.31
Por derechos de conexión (alcantarillado)	3,909,023.92
Por derechos de desarrollo (habitacional o industrial)	905,509.61
Por venta de derechos a terceros	0.00
Por venta de aguas residuales tratadas	0.00
Otros (reconexiones, medidores, obras de cabeza, certificado no adeudo, venta de agua, cambio propietario, excavaciones, alta servicio, muretes, etcétera)	5,899,877.74
Prestamos con instituciones financieras o particulares	
Otros (recargos y multas)	4,917,663.29
Devolución de impuesto al valor agregado (IVA)	12,519,010.00
Otros (devoluciones de ISR)	6,809,233.14
Otros (intereses ganados, otros)	1,676,600.73
Subsidios federales (PRODDER-Operación)	13,499,040.00
Subsidios estatales (amortización PTAR)	0.00
Subsidios federales (Programa para Operación)	0.00
Subtotal	52,538,982.74
Total	175,478,335.51

Fuente: Información OOMAPAS-SLRC

Tabla 13. Ingresos totales OOMAPAS San Luis Río Colorado año 2019 (\$ MXN)

Partida	Operación y mantenimiento	Administración	Sistema comercial	Otros	Total
Sueldos y prestaciones	33,495,585.43	20,259,004.45	26,417,125.26		80,171,715.14
Materiales y suministros	19,015,364.49	2,104,064.03	3,978,863.77		25,098,292.29
Energía eléctrica	20,565,810.73	480,920.34	3,445,608.53		24,492,339.60
Pago de derechos por uso o explotación de agua y descargas de agua residual	5,100,409.00	0.00	0.00		5,100,409.00
Gastos por servicios externos (Outsourcing: limpieza, auditorías, jurídicos, etcétera)	54,797.96	2,408,491.61	0.00		2,463,289.57
Amortización de créditos				10,046,786.40	10,046,786.40
Inversión recursos propios				10,317,232.50	10,317,232.50
Otros (ayudas sociales)	1,028.23	1,155,864.88			1,156,893.11
Otros (bienes muebles, inmuebles e intangibles)	4,334,679.91	869,173.15	290,380.14	0.00	5,494,233.20
Otros (otros servicios, mantenimientos, viáticos, publicidad, intereses de deuda, etcétera)	80,062.74	13,531,282.53	361,177.87	0.00	13,972,523.14
Otros (especificar)					0.00
Otros (especificar)					0.00
Otros (especificar)					0.00
Total	82,647,738.49	40,808,800.99	34,493,155.57	20,364,018.90	178,313,713.95
Ingresos menos Egresos Organismo (7-8):					-2,835,378.44
Ingresos menos Egresos Organismo sin Subsidio:					-16,334,418.44

Fuente: Información OOMAPAS-SLRC



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La estructura tarifaria se muestra en la siguiente tabla; se trata de los precios autorizados el 8 de noviembre del 2018 que estuvieron vigentes durante el 2019. La tarifa promedio cobrada, considerando todos los usos, fue de \$7.09/ m³, partiendo de que la de uso doméstico fue de \$4.74/ m³, la de uso comercial de \$8.34/ m³, y la industrial de \$11.14/m³.

Tabla 14. Tarifas por servicio de agua potable, San Luis Río Colorado (año 2019)

Agua potable medida de usuarios domésticos:				Agua potable medida de usuarios comerciales:			
Rango mensual de consumo m ³ /mes	No. de tomas de agua potable	Porcentaje del total de conexiones	Pesos por rangos	Rango mensual de consumo m ³ /mes	No. de tomas de agua potable	Porcentaje del total de conexiones	Pesos por rangos
0 - 20	13,435	37.06%	82.79	0 - 10	1,151	27.73%	34.84
21 - 50	18,406	50.77%	4.16	nov-20	1,118	26.93%	6.97
51 - 75	3,000	8.28%	4.56	21 - 100	1,633	39.34%	8.37
76 - 100	868	2.39%	4.98	101 - 250	197	4.75%	10.23
101 - 200	483	1.33%	5.52	mayor de 250	52	1.25%	11.06
mayor de 200	59	0.16%	6.08	Total	4,151	100%	
Total	36,251	100%					

Fuente: CEA-Sonora, con base en el Boletín Oficial del Estado de Sonora

Tabla 15. Indicadores y datos contables OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019)

CONCEPTO	VALOR	CONCEPTO	VALOR
Ingresos por empleado	659,692.99	Activo circulante	\$551,439,558.34
Egreso por empleado	670,352.31	Pasivo circulante	\$20,812,028.29
Saldo de usuarios deudores	\$709,764,589.67	Razón de liquidez	26.5
Recuperación de cartera mensual	\$4,503,655.84	Capital de trabajo	\$530,627,530.05
Activo total	\$924,699,358.43	Facturación mensual	\$16,085,573.96
Pasivo total	\$23,632,592.29	Cobranza a tiempo mensual	\$5,741,290.22
		Eficiencia comercial + rezago	63.51%
Costos y tarifas	Producción	Facturación	Recaudación
Energía eléctrica (\$/m ³)	0.56		2.22
Tarifa media de equilibrio (\$/m ³):	5.41		21.27
Tarifa media de equilibrio (\$/m ³) (sin inversión):	4.61		18.14
Energía AP/Volumen (kWh/m ³)	0.24	Costo de personal de O&M / Volumen (\$/m ³)	0.92
Energía total/Volumen (kWh/m ³)	0.27	Costo de personal de Administración / Volumen (\$/m ³)	1.28

Fuente: Información OOMAPAS-SLRC

En esta tabla se observa un saldo de usuarios deudores importante que, en este caso, a diciembre del 2019, es de 709.76 mdp, cartera que, de llevarse a cabo un plan adecuado de cobranza, sería una buena fuente de financiamiento que permitiría al OMAPAS realizar inversiones de ampliación y dar mantenimiento adecuado a la infraestructura de agua y saneamiento.

1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento

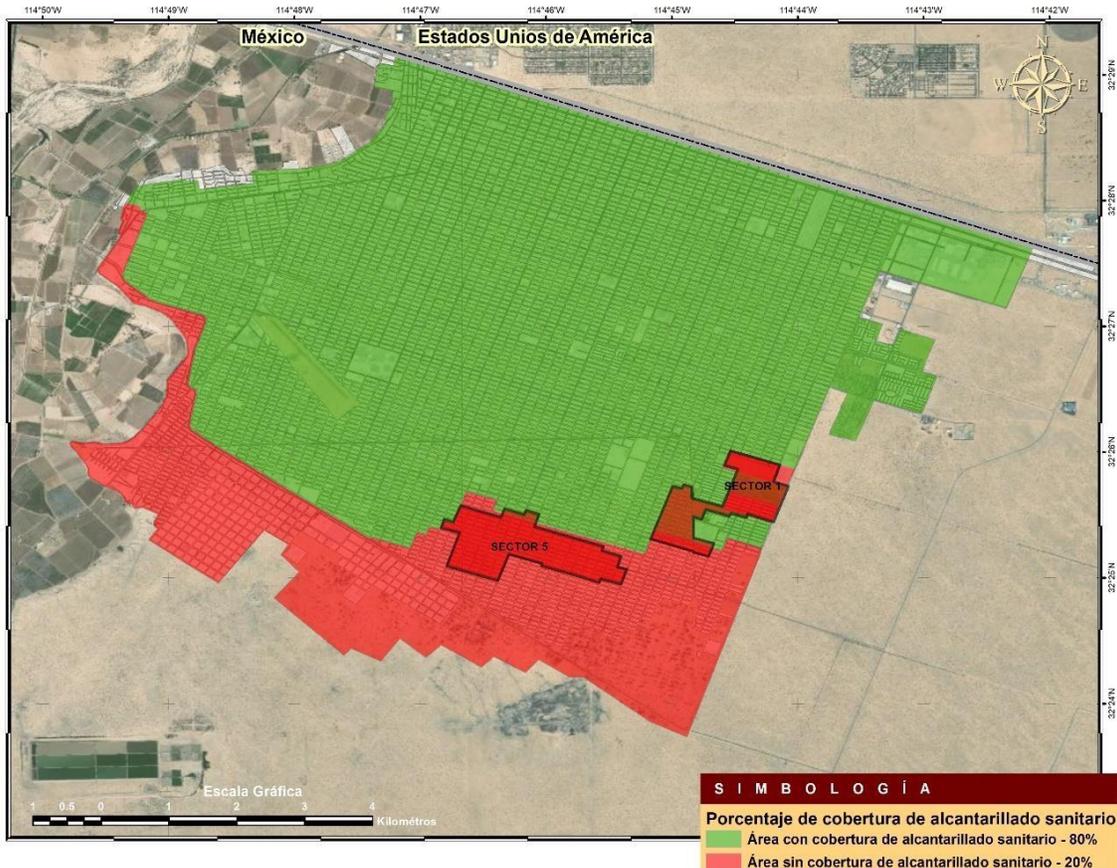
La PTAR Cucapah únicamente requiere mantenimiento preventivo, además de realizar las acciones necesarias para mejorar la calidad de descarga; asimismo, en lo que respecta al sistema de bombeo, solamente es necesario dar mantenimiento preventivo a los colectores principales; los demás equipos se encuentran operando adecuadamente; se requiere sustitución de una parte de la tubería, así como rehabilitación en cruces en la red de atarjeas del sector central de la ciudad



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En general el sistema de saneamiento de la cabecera municipal, es decir en la ciudad de San Luis Río Colorado, tiene una buena cobertura de servicio y se encuentra operando dentro de márgenes aceptables, salvo en una zona bien identificada en el suroriente, que abarca varias colonias, en la que no se dispone de infraestructura de alcantarillado sanitario (ilustración 11).

Ilustración 11. Ubicación de la zona sin servicio de alcantarillado en San Luis Río Colorado, Son



Fuente: elaboración propia con información del OOMAPAS SLRC

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

En sus distintos componentes, la infraestructura de saneamiento de San Luis Río Colorado tiene diferentes niveles de necesidad y urgencia de acción. Hay en la zona más antigua de la ciudad líneas de tuberías de atarjeas que ya rebasaron su vida útil y requieren ser reemplazadas.

Existe una zona en el área del centro de la ciudad en la que algunas atarjeas y colectores principales 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. Cuando algún colector de esta zona colapsa, las aguas residuales sin tratamiento generalmente se derraman en calles, contaminando suelos, además de los riesgos sanitarios a la salud pública.

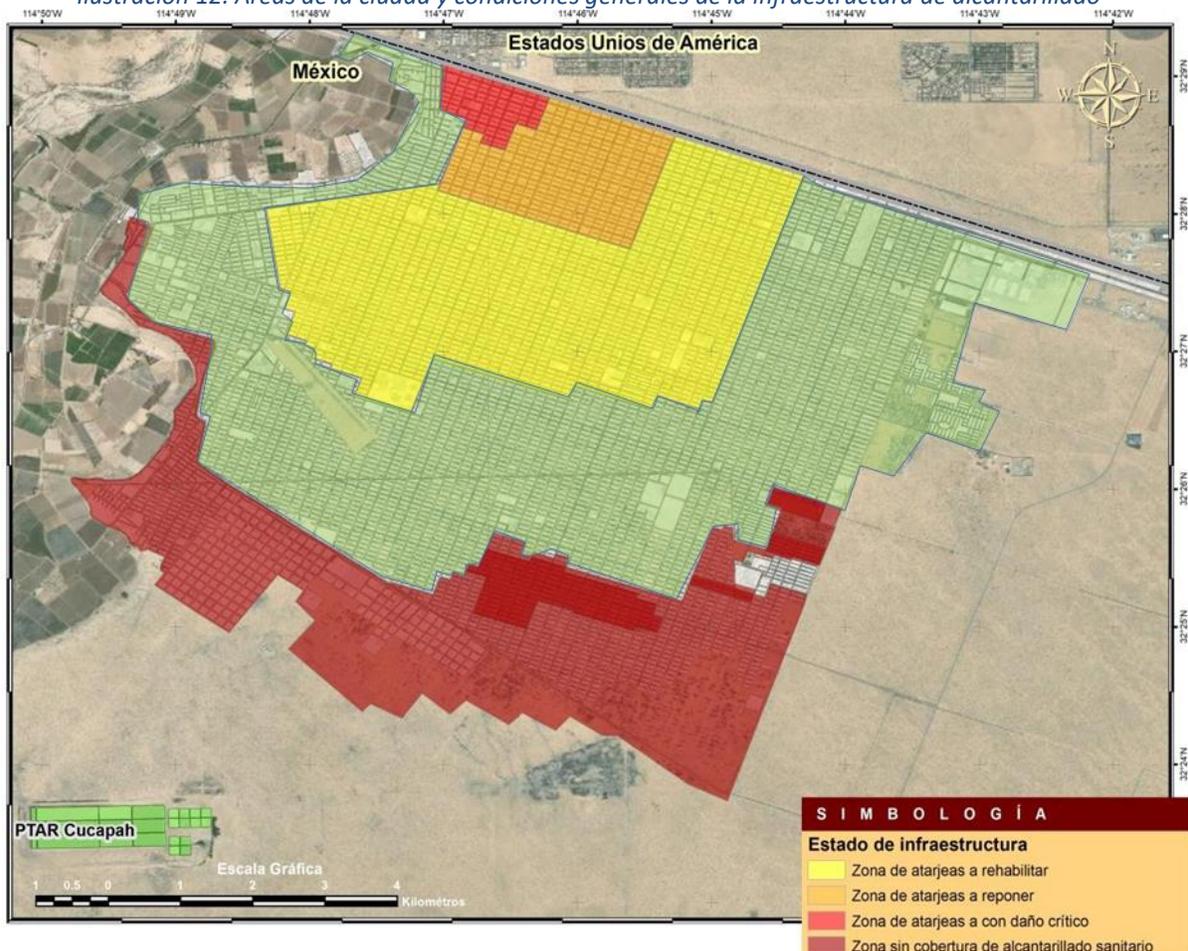


COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Red de atarjeas dañadas y con vida útil cumplida

Existe una zona del centro de la ciudad donde las tuberías fueron instaladas antes de 1970, y otras en años posteriores, pero que tienen más de 30 años de antigüedad, de tal forma que se estima que aproximadamente un 5 % de las líneas registra un grado de deterioro tal que se considera crítico, y alrededor del 45 % del total presenta algún daño que va de leve a notorio, por lo que si se considera esta condición, para atender atarjeas y colectores con daño en los próximos 10 años, se requiere la rehabilitación o reposición de aproximadamente 260 km de tuberías dañadas, 30 km en el corto plazo y 230 km en el mediano y largo plazos, del total de 580 km de tuberías de atarjeas.

Ilustración 12. Áreas de la ciudad y condiciones generales de la infraestructura de alcantarillado



Fuente: elaboración propia

Colectores dañados y con vida útil cumplida

La longitud de colectores de San Luis Río Colorado es de 88.96 km; en general la red de colectores de la ciudad presenta un buen estado, incluso una longitud importante, de alrededor de 50 km, fue construida en los últimos 15 años.

En lo que respecta al sistema de bombeo Cárcamo Sur solamente es necesario dar mantenimiento preventivo, dado que los equipos se encuentran operando adecuadamente. Los seis cárcamos de



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

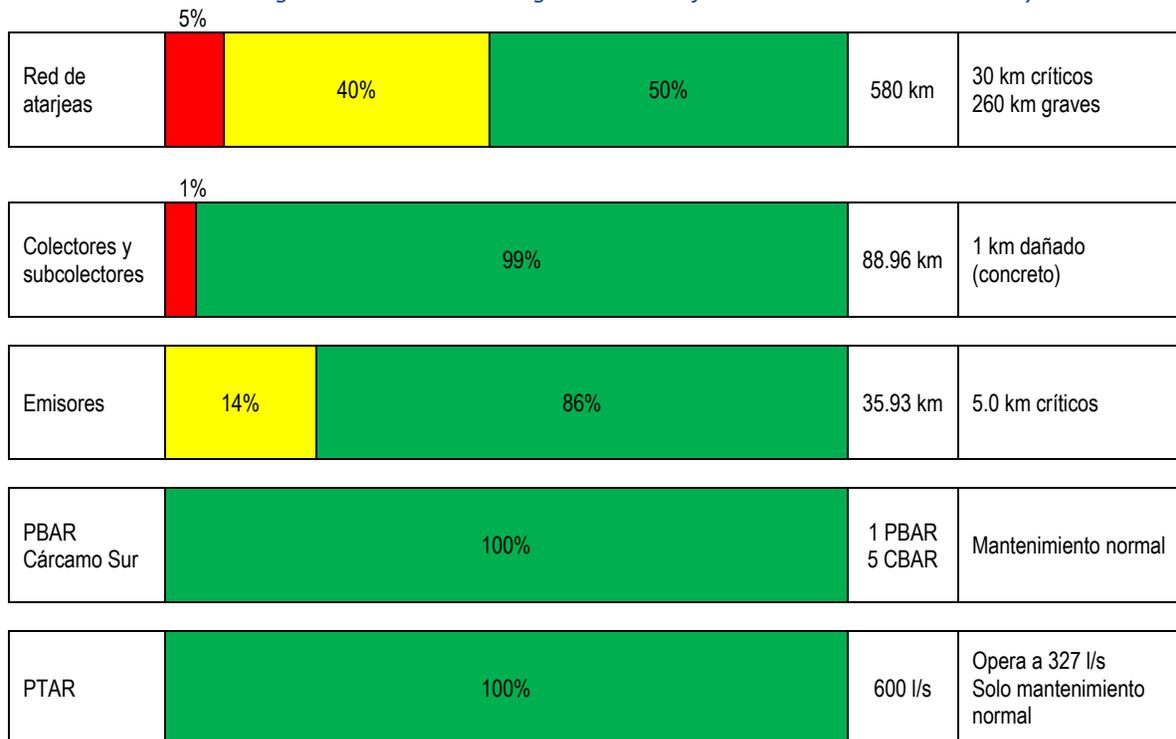
bombeo de la red requerirán rehabilitación en el mediano plazo por cumplimiento de vida útil de equipos y algunos dispositivos hidráulicos como válvulas y piezas especiales.

Emisores

El sistema de alcantarillado y saneamiento de la ciudad SLRC cuenta con una planta de bombeo principal de la que se envía el agua residual para tratamiento a la PTAR Cucapah, al sur de la ciudad. De esta planta, denominada Cárcamo Sur, parte el emisor de PVC, de 76 cm (30”) de diámetro, que conduce el agua residual a presión por 5.2 km hasta la llegada a la planta de tratamiento. Este emisor principal se encuentra en buenas condiciones y sólo requiere el mantenimiento normal. Del resto de emisores, que en conjunto representan un poco más de 30 kilómetros de longitud, aproximadamente 5 km necesitan algún tipo de rehabilitación.

En resumen, la condición general de la infraestructura es la siguiente:

Ilustración 13. Diagnóstico de la condición general de la infraestructura de alcantarillado y saneamiento



SIMBOLOGÍA

- Estado crítico; colapsado, requiere reemplazo, ampliación
- Con daño notorio, cumplió vida útil, rebasado en capacidad
- Sin daño aparente, sólo requiere vigilancia y mantenimiento normal

Fuente: elaboración propia

1.2.2 Pertinencia de los manuales y políticas de operación

Para la operación del sistema de alcantarillado y saneamiento se cuenta con los Manuales de Operación de la PTAR y del cárcamo de bombeo Sur; y para el resto de los cárcamos, así como para la red de alcantarillado, no existen manuales ni políticas formales de operación, tan sólo se tienen lineamientos de carácter operativo y la experiencia del personal operativo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

El sistema de alcantarillado, como parte fundamental para la correcta operación del saneamiento, se encuentra a cargo del Organismo Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OMAPAS), de conformidad con lo establecido en la Ley de Aguas para los Municipios del Estado de Sonora.

Los manuales de operación de la PTAR dan la pauta para su mejor operación, juntamente con el monitoreo en pozos de observación de la calidad, construidos específicamente para ello.

Con el fin de operar y controlar los procesos de tratamiento de aguas residuales y disposición final de efluente tratado, cada instrumento está visualizado para apoyar el buen funcionamiento del sistema de saneamiento.

El Manual de Operación y Mantenimiento, tanto de la planta de tratamiento como de la planta de bombeo Cárcamo Sur, tiene como objetivos, entre otros, los siguientes:

- Lograr la optimización del uso de las instalaciones mediante la implantación de políticas de operación adecuadas a sus características.
- Hacer accesible la comprensión de los principios básicos de los procesos y de las técnicas de operación y control para fortalecer la capacidad de los operadores.
- Apoyar la integración de la información generada en la planta de tratamiento para facilitar la evaluación operativa y, en su caso, el planteamiento de adecuaciones necesarias para mantener alto el nivel de la operación.

El objetivo del Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR es ayudar a los operadores a:

- Mantener el equipo operando a su máxima eficiencia todo el tiempo.
- Reducir al máximo las interrupciones durante la operación normal.
- Controlar los costos asociados a las prácticas anteriormente mencionadas.
- Mantener un alto nivel de eficiencia de los trabajos ejecutados por el área de mantenimiento, mediante el aprovechamiento de las técnicas más adecuadas y la capacitación constante de superpersonal.
- Formular y establecer programas de mantenimiento basados en el programa observado de los equipos.
- Formular y controlar un inventario de partes de repuesto requeridas para las labores de mantenimiento.
- Establecer con las áreas relacionadas políticas y acciones de mantenimiento a largo plazo.

La operación adecuada del sistema lagunar requiere que los operadores conozcan cómo deben atenderse y manejarse los posibles problemas que se presentan en las lagunas de estabilización. Se plantean soluciones a los problemas más comunes que se tienen durante la operación de las lagunas de estabilización; sin embargo, la elección de la solución más apropiada dependerá de los recursos con que cuente la planta.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Sólo fue posible identificar los elementos básicos que definen su política operativa para la prestación del servicio como misión, visión y valores, los cuales, de manera general, se consideran pertinentes a la naturaleza del servicio. Con base en lo anterior, y ante la falta de manuales, las políticas de operación son completamente técnicas y de carácter práctico, dirigidas a cumplir lo establecido en los reglamentos del OMAPAS, con fundamento en la experiencia del personal a cargo, quienes cuentan con amplia trayectoria en el servicio, perfil técnico requerido y capacitación necesaria.

1.2.3 Situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra

Al igual que en el punto previo, la situación relativa a los derechos de vía y tenencia de la tierra de los sistemas de alcantarillado y saneamiento fue descrita en el desarrollo del apartado 1.1.4.2 del capítulo anterior, en donde se manifiesta que no se tienen problemas al respecto.

Los activos con que cuenta el OMAPAS son tangibles en prácticamente su totalidad y pertenecen legalmente al organismo a través de diferentes instrumentos legales, tales como escrituras públicas, contratos de comodato, arrendamiento, etcétera.

En el caso de las instalaciones y tuberías que comprenden las atarjeas, subcolectores, colectores y emisores, se encuentran ubicados en vías de comunicación públicas o en derechos de vías federales; los cárcamos de bombeo en terrenos municipales, y en el resto de los casos (propiedades particulares), se cuenta con los documentos que amparan los permisos correspondientes para su instalación y su libre acceso para la operación y mantenimiento. La PTAR se construyó en terrenos adquiridos por el organismo operador para construir la planta de tratamiento.

1.2.4 Condiciones de los sitios de descarga y disposición final

Los terrenos donde se ubica la PTAR Cucapah están en una zona muy amplia, despejada de construcciones o poblaciones cercanas, disponiendo de la superficie necesaria y suficiente para operar el sistema.

La descarga se hace directamente a los lechos de infiltración y humedal después del tratamiento, sin que existan problemas para ello, pues de acuerdo con información proporcionada por el OMAPAS, se cuenta con el permiso de descarga.

Operación y mantenimiento

De acuerdo con el informe de la CEA Sonora en 2015, la mayoría de los organismos no cuentan con información confiable de los costos de operación de sus sistemas, condición que no ha variado mucho y sigue siendo una deficiencia de los organismos operadores.

En el caso de SLRC, si bien aparece por separado en sus informes financieros el mantenimiento de la PTAR en 2.87 mdp, en el 2019, el costo del mantenimiento y operación de los cárcamos con sus equipos de bombeo, se integra junto con el mantenimiento de equipos de bombeo en general (pozos y cárcamos), así como los consumos de la energía eléctrica, en el mismo caso.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En el 2019 el gasto de energía eléctrica en todo el sistema, incluyendo los pozos de agua potable, fue de 24.1 millones de pesos.

Del informe de egresos totales se tiene que en el 2019 el monto en operación y mantenimiento fue de 178.3 mdp, de los cuales en saneamiento representa el 19.3 %. El volumen tratado en ese mismo año fue de 10.312 millones de metros cúbicos, con lo que el costo de tratamiento por metro cúbico se estima en 3.33 pesos.

1.2.5 Capacidades financieras del organismo operador

La calificadora Fitch Ratings-Monterrey ratificó en junio del 2017 la calificación a la calidad crediticia del Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOMAPAS) de San Luis Río Colorado, Sonora, como una entidad de perspectiva crediticia estable.

FACTORES CLAVE DE LA CALIFICACIÓN: además de la evaluación independiente del organismo, por medio de la metodología de “Empresas Públicas de Agua y Drenaje, Factores Crediticios del Sector”, Fitch utiliza la metodología “Calificaciones de Entidades del Sector Público fuera de los EE. UU.” para evaluar la relación de OOMAPAS con el municipio de San Luis Río Colorado. También se midió, tanto la fortaleza como la voluntad de este último para apoyar al organismo, en caso de requerirse.

De acuerdo con los factores evaluados, Fitch observa un vínculo importante de apoyo con el Gobierno municipal. No obstante, este respaldo es discrecional y, por lo tanto, la agencia clasifica a OOMAPAS como una entidad no vinculada al municipio, por lo que utiliza un análisis de abajo hacia arriba.

La calidad crediticia del organismo considera que no existen empresas sustitutas que brinden el servicio de agua, el acceso a endeudamiento bancario con aval del municipio y préstamos directos del mismo, así como la expectativa de apoyo extraordinario por parte del municipio.

Entre los factores que sustentan la calificación de OOMAPAS están el nivel bajo de endeudamiento a largo plazo, la eficiencia física sobresaliente, la cobertura elevada de agua potable y la gestión destacable de recursos para la realización de obra.

Por otra parte, la calificación está limitada por los niveles elevados de cuentas por cobrar; las tarifas bajas de agua en relación con otros organismos similares, sus resultados financieros variables y las coberturas bajas en micro medición y alcantarillado.

Ahora bien, con relación a esto último, si bien es una limitante, también representa diversas oportunidades, si se corrigen, pues da margen para ajustar tarifas, fortalecer los sistemas de cobro y recuperar cartera que permita hacerse de recursos para inversión.

Por otra parte, y al margen de la evaluación FITCH, al 31 de diciembre del 2019 la deuda pública de OOMAPAS sumó 33.5 mdp, endeudamiento que es considerado bajo. Actualmente la totalidad de la deuda se compone de la deuda pública y dos créditos con BDAN (Banco de Desarrollo de América del Norte) por 98.92 mdp.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Entre las condiciones pactadas, destaca que el municipio de SLRC participa como deudor solidario antelos dos créditos con BDAN.

En el ejercicio 2019, los ingresos del organismo totalizaron 175.48 mdp por recuperación de tarifas y devolución de derechos federales e IVA, y 20.56 mdp correspondientes a diversos subsidios, mientras que los egresos fueron directos de gastos operativos por 178.31 mdp, más 18.7 mdp en inversiones, lo que deja un balance negativo de 0.97 mdp.

La tarifa promedio ponderada global se estimó en 7.09 pesos por metro cúbico, significativamente inferior al promedio de organismos vecinos como el de Mexicali, BC, que es cercana a los 18.00 pesos pormetro cúbico.

Al igual que el año anterior, el incremento en las tarifas para el 2020 se mantiene sin cambios; el ajuste se orientó sobre todo a compensar la inflación. En este sentido, no se esperan cambios significativos en materia de ingresos operativos. Los usuarios domésticos mantienen su preponderancia al representar 89.9 % del total; los usuarios comerciales e industriales representan 10 % y 0.1 %, respectivamente.

En términos generales, se observa una leve mejoría en los indicadores financieros, producto de una reducción en los pasivos registrados y del fortalecimiento de activos. Sin embargo, estos resultados llevan a concluir que al 2019 el OOMAPAS no tiene la capacidad financiera para llevar a cabo inversiones importantes con recursos propios. Si bien las condiciones de operación técnica, comercial y administrativa han presentado una mejoría, es necesaria la continuidad en las líneas de trabajo que han contribuido a la obtención de resultados más favorables en los últimos 24 meses de operación.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2 El déficit de saneamiento en la región

En primera instancia, se estima que en las condiciones actuales (2020) la planta de tratamiento opera aproximadamente a la mitad de su capacidad. La capacidad de operación de la planta es de 600 l/s y el caudal promedio de operación es de 327 l/s; por consiguiente, se trata el 100 % de las aguas que llegan a la PTAR Cucapah.

Aunque hay que considerar que el sistema de alcantarillado sanitario tiene una cobertura del 86 %, y que existe una zona que aún carece de este servicio, ese déficit equivale actualmente a una población de poco más de 30,000 habitantes.

2.1 Comparación de capacidad de diseño contra demanda actual y futura

Capacidad de diseño del sistema de saneamiento y demanda actual

La red primaria existente en la ciudad se encuentra trabajando por debajo de su capacidad, por lo que sólo se requerirá nueva infraestructura de alcantarillado en las zonas de crecimiento.

La planta de tratamiento en la actualidad es suficiente, ya que tiene una capacidad de 600 l/s y opera con poco más de la mitad.

Además, es importante señalar que aún existen zonas de la ciudad que carecen de alcantarillado, y se localizan principalmente en el sureste la ciudad.

Por otra parte, se considera que el Sistema de Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado cuenta con una cobertura geográfica del 97.5 %. En el momento que se cubra la cobertura del 100 %, el 2.5 % restante significará un incremento directo de por lo menos 20 l/s, es decir que estarán llegando a la PTAR Cucapah 347.0 l/s. A corto plazo, sin embargo, se espera que estos valores sean recalculados a partir de que se lleven a cabo los trabajos de catastro de la red de alcantarillado, una vez que se incorpore la zona faltante de servicio.

Demanda futura

La demanda futura de saneamiento dependerá principalmente del crecimiento poblacional que, de acuerdo con el análisis con base en los datos estadísticos censales y conteos intercensales para San Luis Río Colorado, la población esperada en forma quinquenal, utilizando el modelo geométrico de proyección de población, se muestra en la tabla 17 y ilustración 14 para las diferentes tasas de crecimiento por periodo.

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 arrojó resultados similares a los datos censales, por lo que se tomará como referencia para la estimación de demandas.

Para la tasa promedio ($i=0.01927$), se observa que al año 2050 se obtiene como resultado una población de 330,624 habitantes en San Luis Río Colorado (a nivel localidad), mientras que en un



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

escenario de crecimiento de tasa máxima, que corresponde al periodo 1990-2015 (tasa de crecimiento $i=0.2322$), la población esperada sería de 378,613 habitantes.

Tabla 16. Tasas de crecimiento para diferentes periodos

Periodo	Tasa de crecimiento
i0(90-15)	0.02322897
i1(95-15)	0.01931917
i2(00-15)	0.0196174
i3(05-15)	0.02018039
i4(10-15)	0.01402578
i5(promedio)	0.01927434

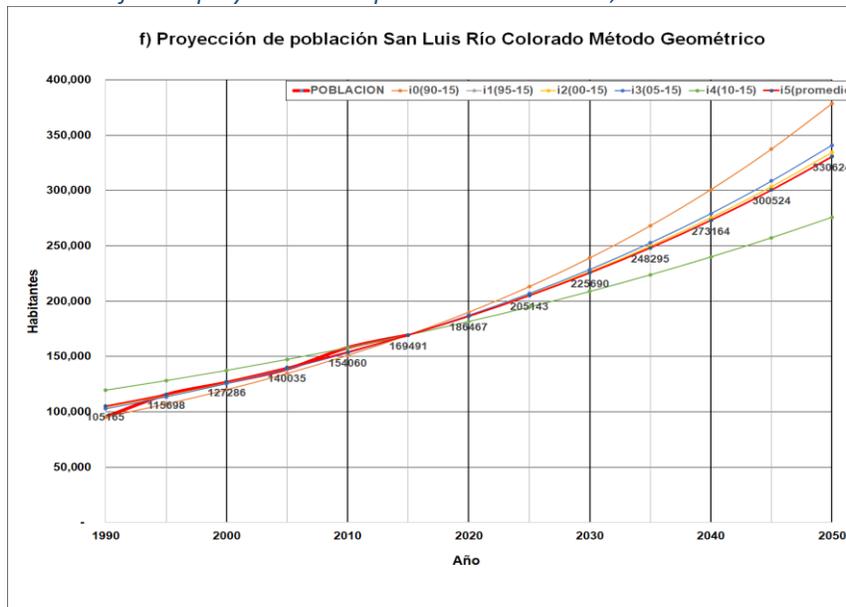
Fuente: CONAPO

Tabla 17. Proyecciones de población para San Luis Río Colorado (proyección geométrica) al año 2050

Año	Población	Población estimada					
		i0(90-15)	i1(95-15)	i2(00-15)	i3(05-15)	i4(10-15)	i5(promedio)
1990	95,461	95,461	105,049	104,284	102,854	119,652	105,165
1995	115,596	107,076	115,596	114,922	113,660	128,282	115,698
2000	126,645	120,103	127,202	126,645	125,601	137,535	127,286
2005	138,796	134,716	139,973	139,564	138,796	147,454	140,035
2010	158,089	151,106	154,027	153,801	153,378	158,089	154,060
2015	169,491	169,491	169,491	169,491	169,491	169,491	169,491
2020		190,113	186,508	186,781	187,297	181,715	186,467
2025		213,243	205,234	205,835	206,974	194,821	205,143
2030		239,188	225,839	226,832	228,718	208,873	225,690
2035		268,289	248,514	249,972	252,747	223,937	248,295
2040		300,931	273,465	275,472	279,300	240,089	273,164
2045		337,545	300,921	303,573	308,642	257,405	300,524
2050		378,613	331,134	334,542	341,068	275,970	330,624

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

Ilustración 14. Gráfica de proyecciones de población al año 2050, San Luis Río Colorado, Son



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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 18. Comparación de oferta y demanda de agua al año 2050, San Luis Río Colorado

Año	Demanda de tratamiento (m ³ /s)		Oferta m ³ /s	Oferta-demanda (m ³ /s)	
	i= (90-15)	i=promedio		i= (90-15)	i=promedio
2020	0.424	0.415	0.600	0.176	0.185
2025	0.475	0.457	0.600	0.125	0.143
2030	0.533	0.503	0.600	0.067	0.097
2035	0.598	0.553	0.600	0.002	0.047
2040	0.670	0.609	0.600	-0.070	-0.009
2045	0.752	0.670	0.600	-0.152	-0.070
2050	0.844	0.737	0.600	-0.244	-0.137

Fuente: elaboración propia

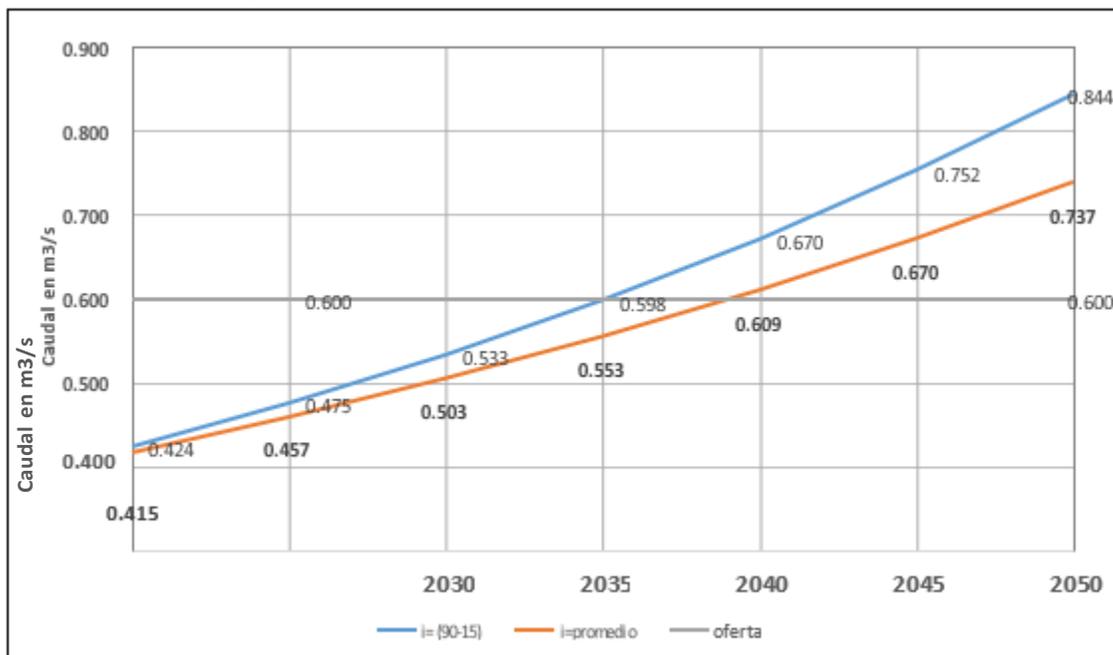
2.1.1 Demanda actual de saneamiento de aguas residuales

El volumen tratado en el año 2019 fue de 10.3 millones de metros cúbicos, que equivalen a un caudal de 327 l/s. La capacidad para tratamiento de la PTAR Cucapah es de 600 l/s, por lo tanto se cubre perfectamente la demanda actual.

2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales

La demanda futura de saneamiento de aguas residuales, bajo un escenario de crecimiento de la población a mediano plazo, con una tasa promedio de 0.0192, para una dotación media de 275 l/hab/día y un porcentaje de recuperación de aguas residuales del 70 %, se estima en 737 l/s, conforme se aprecia en la gráfica de la ilustración 15, en la que se observa que la oferta actual de saneamiento, constituida por la capacidad de la PTAR Cucapah, se verá rebasada alrededor del año 2040, por lo que ya se tendrá que haber previsto la infraestructura que atenderá las necesidades más allá de ese año.

Ilustración 15. Gráfica de proyecciones de población al año 2050, San Luis Río Colorado, Son



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

De presentarse un crecimiento poblacional mayor a la tasa promedio y si las obras de sustitución de drenaje, construcción de estaciones de bombeo y redistribución del manejo de las aguas residuales se llevan a cabo, necesariamente será indispensable incrementar la capacidad de tratamiento actual de la PTAR, lo cual se lograría incorporando un módulo adicional de 200 l/s o una nueva instalación, cuyo primer módulo tenga dicha capacidad de tratamiento.

2.1.3 Comparación de la demanda actual y futura de colectores principales

Conforme al análisis, denominado **Índice Básico de Ciudades Prósperas 2018** (INFONAVIT-ONU-HABITAT), se observa que en la ciudad de San Luis Río Colorado se presenta un patrón extensivo de urbanización con una densidad de población, al 2017, de 2,293 habitantes/km² (23 habitantes/ha).

La condición actual de los principales colectores de la red es que en general tienen capacidad con superávit, siempre y cuando los conductos se mantengan limpios de azolve, por lo que requieren mantenimiento.

La excepción de la condición descrita son cuatro tramos de colectores que si bien cumplen para el caudal máximo instantáneo, no lo hacen en caso de presentarse el caudal máximo extraordinario, por lo que cuando se requiera sustituir tuberías habrá que incrementar el diámetro para asegurar la capacidad.

Conforme la ciudad se extienda por el crecimiento poblacional, va a necesitar infraestructura de alcantarillado y saneamiento, con un diseño similar al que actualmente se tiene, es decir, conducción de agua residual norte sur, y captación transversal. Además, debido a la condición de topografía muy plana, la conducción tendrá que ser apoyada en cárcamos de bombeo, para hacer llegar el agua hasta el Cárcamo Sur.

Tabla 19. Condición de la capacidad de los colectores principales de la red de alcantarillado de SLRC

Colector	Tramo (id)	L (km)	Diám (in)	Capacidad (l/s)	Qmed (l/s)	Qmax inst (l/s)	Qmaxext (l/s)	Condición
Carretera del Valle	1	1.39	18	97.67	9.69	31.98	47.98	CUMPLE
Carretera del Valle	2	1.62	30	638.41	17.11	52.48	78.72	CUMPLE
Guadalupe Victoria	1	7.21	30	437.51	80.67	193.41	290.12	CUMPLE
Guadalupe Victoria	2	0.63	42	907.59	82.98	197.98	296.97	CUMPLE
Durango	1	3.07	12	32.65	17.38	53.19	79.79	NO CUMPLE
Durango	2	1.62	24	314.65	104.74	239.81	359.72	NO CUMPLE
Zacatecas	1	2.10	30	712.08	14.47	45.39	68.09	CUMPLE
Colima	2	1.22	30	575.83	29.88	84.48	126.72	CUMPLE
Colima	3	0.61	36	1,071.08	34.31	94.93	142.40	CUMPLE
Guanajuato	4	0.95	36	378.09	35.73	98.21	147.32	CUMPLE
Yucatán	1	1.12	12	67.70	6.52	22.52	33.78	CUMPLE
Los Pinos	1	1.87	36	432.09	172.20	373.67	560.51	NO CUMPLE
Los Pinos	2	3.93	42	728.55	197.75	429.11	643.67	CUMPLE
Calle 23	1	0.99	30	413.12	18.48	56.10	84.14	CUMPLE
Parque Industrial		1.74	30	514.50	7.73	26.19	39.29	CUMPLE
Calle 23	2	1.77	36	607.36	49.23	128.45	192.67	CUMPLE



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Colector	Tramo (id)	L (km)	Diám (in)	Capacidad (l/s)	Qmed (l/s)	Qmax inst (l/s)	Qmaxext(l/s)	Condición
Calle 23	3	1.59	36	211.58	65.05	161.90	242.85	NO CUMPLE
Calle 23	4	0.07	36	3,911.88	80.55	193.17	289.76	CUMPLE
Calle 10	1	2.01	18	220.11	8.03	27.08	40.62	CUMPLE
Calle 23	5	3.51	42	1,140.37	112.44	254.20	381.30	CUMPLE
Los Pinos		0.11	60	4,064.45	310.18	673.10	1009.65	CUMPLE

Fuente: elaboración propia

L = longitud, D= Diámetro, Q= Caudal o gasto, S = Pendiente

Se tienen varios tramos de colectores que en condiciones extraordinarias no cumplen la condición de capacidad, aunque sí la tienen para el caudal máximo instantáneo. Los tramos citados se refieren al colector Durango, en los tramos 1 y 2; colector Los Pinos, en el tramo 3, y el colector de la calle 23, en el tramo 3, los cuales se señalan en la Ilustración 16.

Ilustración 16. Ubicación de tramos con capacidad limitada para el caudal máximo extraordinario



Fuente: elaboración propia

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

La estación de bombeo Sur opera actualmente con hasta 400 l/s, pero está equipada para 1,200 l/s, por lo que tiene capacidad para el bombeo de las aguas residuales, aún si se presenta el escenario de crecimiento de tasa mayor a la tasa promedio; en este caso resulta ser la del periodo 1990-2015 con el que la demanda de tratamiento al año 2050 sería del orden de 844 l/s para el caudal medio,



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

como se muestra en la Ilustración 15, mientras que para la tasa de crecimiento promedio la demanda de tratamiento será de 737 l/s al año 2050.

Sin embargo, la capacidad del sistema de tratamiento para el escenario de tasa promedio será suficiente hasta el año 2040, con lo que habrá que analizar la posibilidad de incrementar la capacidad de bombeo hacia la PTAR Cucapah, para incorporar las áreas de crecimiento y aquellas que carecen del servicio de alcantarillado.

Ilustración 17. Arreglo de equipos en el Cárcamo Sur, San Luis Río Colorado, Son



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del Cárcamo Sur

Para la zona de expansión del área urbana, dado lo plano del terreno probablemente se requieran algunos cárcamos de bombeo, como se han necesitado hasta ahora en todo el sistema.

2.1.5 Comparación de la demanda actual y futura de las plantas de tratamiento

La capacidad de tratamiento de la PTAR Cucapah es de 600 l/s, y la demanda estimada para el año 2050 en un escenario de crecimiento promedio ($i = 0.01927$), es de 737 l/s, lo que significa que esta planta necesitará ser ampliada antes del año 2040 para cubrir la demanda hasta el horizonte de planeación y más allá. En caso de presentarse la demanda correspondiente a la tasa de 0.02233, que corresponde al periodo de análisis 1990-2015, entonces la demanda, como ya se mencionó, será de 844 l/s, lo que hace una diferencia, en el primer caso, de 137 l/s, y en el segundo de 244 l/s, con respecto a la capacidad de la PTAR Cucapah, que es de 600 l/s.

Con lo anterior, y considerando el arreglo en una sola línea de cada uno de los trenes de tratamiento del agua en la PTAR Cucapah, para el primer caso, (demanda de tratamiento = 737 l/s), con la ampliación de la planta con un tren adicional de 200 l/s, antes del año 2040, es suficiente; en el segundo caso, para la diferencia de 244 l/s (demanda de 844 l/s), se requerirán dos trenes de



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

tratamiento o buscar otra opción con alguna planta de tratamiento adicional de menor capacidad, pero para esta situación se requiere disponer de capacidad de tratamiento cinco años antes que en el primer caso; es decir, antes del año 2035, lo cual también podría lograrse incorporando un módulo adicional o una nueva instalación cuyo primer módulo tuviera la capacidad de tratamiento.

2.1.6 Comparación de la demanda actual y futura de agua de reúso

Las aguas tratadas que actualmente se descargan de la PTAR de San Luis Río Colorado son infiltradas en varios lechos de infiltración y por medio de un humedal; sin embargo, habría que valorar que una proporción importante del agua tratada se evapora, ya que en la región de San Luis Río Colorado la evaporación potencial es superior a los 2000 milímetros anuales. Tomando en cuenta este hecho, y dada la escasez de recursos hídricos, es importante considerar el reúso directo y disminuir la utilización del agua de primer uso, sustituyendo donde sea posible el agua potable en otros usos que no sean para consumo humano.

Posiblemente en el futuro sea necesario diseñar y construir una red morada para reúso de agua tratada en: riego de parques y jardines, actividades de construcción, actividades de lavado, industriales, aprovechamiento en riego de cultivos, inclusive en los sistemas de enfriamiento de las termoeléctricas de CFE o en cualquier otro uso, en virtud de que actualmente sólo se destina a recarga artificial del acuífero.

2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento

Como puede deducirse de la información del capítulo anterior, existe la necesidad de ir implementando proyectos que cubran los rezagos de infraestructura actuales, y prevean las necesidades futuras en la ciudad.

La infraestructura de drenaje sanitario en San Luis Río Colorado, sobre todo en la zona centro, tiene una antigüedad superior a los 55 años y es urgente la reposición de las tuberías antiguas y dañadas. Existe la necesidad de reponer o rehabilitar las tuberías e infraestructura de drenaje cuya antigüedad las relaciona con algunos eventos ligados al deterioro (roturas, fugas, colapsos), derivado de un desgaste físico vinculado generalmente al envejecimiento y tipo de materiales; otro aspecto es la disminución de la capacidad de conducción, debido al estrechamiento de la sección interna (diámetro) de los tubos, causado por depósitos de sedimentos, azolves y erosión. Otro tipo de deterioro se manifiesta por el incremento de caudales y es provocado por descargas de sustancias o de algún material en las tuberías, circunstancias que se presentan, sobre todo, en la parte más antigua de la ciudad.

Cuando se acumulan y manifiestan alguno o algunos de los daños descritos, requiere plantearse la necesidad de un programa preventivo de inspección y mantenimiento correctivo, considerando el riesgo de fallas y las consecuencias o impactos de estas fallas. Para esto es necesario conocer el grado y tipo de deterioro, ya que de ese estudio se derivarán las acciones a realizar y, por tanto, los costos de las mismas.



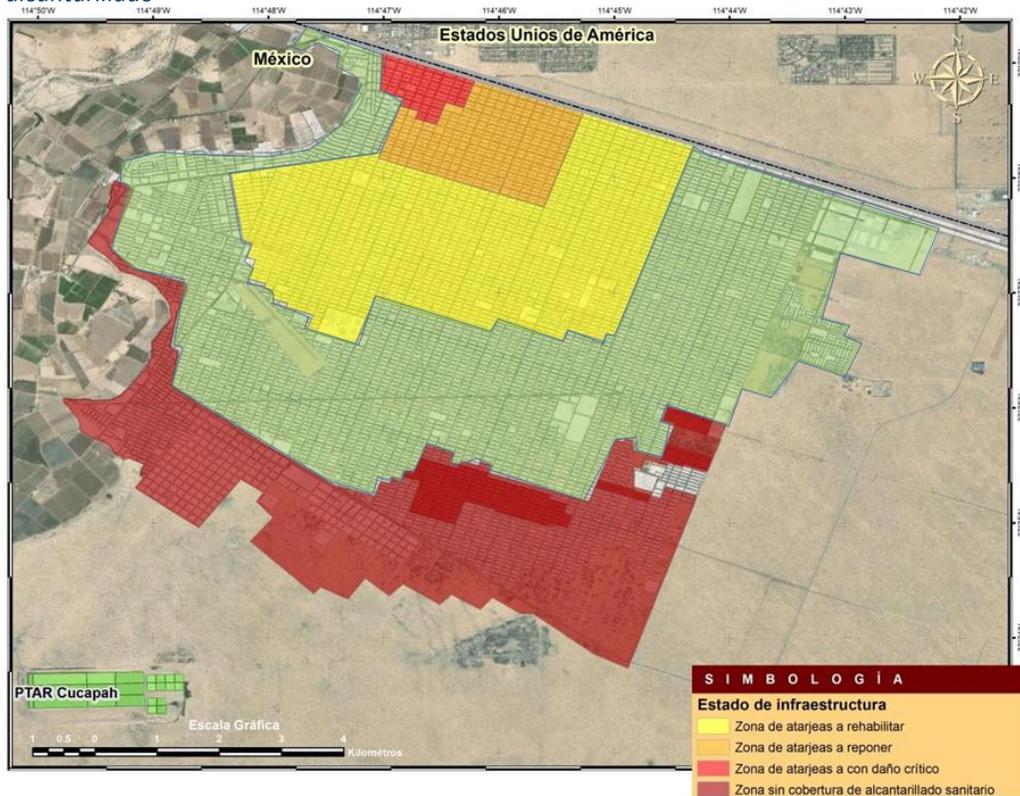
COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2.2.1 Reemplazo de la infraestructura que ha rebasado su vida útil

En la actualidad, un porcentaje importante de las redes de alcantarillado en la ciudad ha excedido su vida útil, conllevando problemas de suspensión del servicio por el mantenimiento, rehabilitación y operación de las mismas. Asociado a lo anterior se presentan inconvenientes, no sólo por los daños de las tuberías, sino también problemas de orden social y ambiental.

Se estima que al menos un cinco por ciento de los 580 kilómetros de atarjeas han cumplido su vida útil, y aproximadamente 30 km requieren ser reemplazados, de los cuales aproximadamente cinco kilómetros son de concreto y 25 km de PVC.

Ilustración 18. Zonas con atarjeas deterioradas y que cumplieron su vida útil, y zonas sin servicio de alcantarillado



Fuente: elaboración propia

Las atarjeas de concreto (5 km) son las que presentan mayor daño y tendrán que ser reemplazadas en primer orden; los restantes 25 km se programarán en el mediano plazo.

Tabla 20. Atarjeas para reemplazar por deterioro o por haber cumplido su vida útil

Atarjeas por reemplazar	Zona	Concepto	2022-2024	2025-2030	2031-2050	Totales
Atarjeas con daño crítico	Centro	Longitud (km)	5			5
		Inversión (mdp)	30.0			30.0
Atarjeas deterioradas que cumplieron su vida útil	Residencial	Longitud (km)		20	5	25
		Inversión (mdp)		120.0	30.0	150.0

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La mayor parte de estas atarjeas tienen diámetros que van de 8 a 12” y los materiales son concreto y PVC, principalmente, predominando este último material.

2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada

A pesar de que en este momento es difícil establecer los requerimientos globales de rehabilitación de la infraestructura, principalmente en cuanto a tubería del sistema de alcantarillado se refiere, ante la falta de un Plan Integral de Saneamiento, que incluya el catastro del sistema, es indispensable implementar un programa de revisión de toda la red; sin embargo, se han identificado los siguientes requerimientos en el rubro de atarjeas.

La rehabilitación de los tramos dañados en los sistemas de alcantarillado sanitario se lleva a cabo al detectar la falla o el problema, lo cual debe cambiar y tener un diagnóstico oportuno para identificación y prevención de posibles daños o problemas; además se requiere la construcción de ampliaciones hacia las zonas que carecen del servicio. Se presentan algunas acciones en la conducción de aguas residuales que se consideran fundamentales:

- Mantener actualizado el catastro de la red de alcantarillado.
- Integrar y mantener un programa preventivo y correctivo de la red de alcantarillado.

Atarjeas deterioradas que requieren rehabilitación

Se estima que aproximadamente 202 km de los 580 km con que cuenta la red de atarjeas presentan algunos daños y deterioro, y que cumplieron o están por cumplir su vida útil, por lo que requerirán ser rehabilitados en el corto, mediano y largo plazos, es decir en los próximos 30 años.

Tabla 21. Atarjeas por rehabilitar por deterioro y por haber cumplido su vida útil

Atarjeas por rehabilitar	Zona	Concepto	2022-2024	2025-2030	2031-2050	Total
Atarjeas deterioradas que cumplieron su vida útil c/daño menos crítico	Centro, Residencias, Sonora	Longitud (km)	20	62	120.0	202.0
		Inversión (mdp)	40.0	124.0	240.0	404.0

Fuente: elaboración propia

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

En San Luis Río Colorado la principal planta de bombeo de aguas residuales (PBAR) es el Cárcamo Sur, que está equipada para bombear hasta 1,200 l/s, por lo que no es necesario incrementar su capacidad, ya que actualmente se encuentra trabajando al 27 % de su capacidad de diseño.

La PTAR se encuentra trabajando con una capacidad sobrada (66.7 %), por lo que no es necesario ampliarla o construir otras plantas de forma inmediata.

Esta planta de bombeo esta automatizada; cuenta con generadores de emergencia y dispositivos para operación automatizada o manual.

También dispone de una criba programada para que opere automáticamente cada vez que haya un acumulación de basura en el afluente del sistema.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Al igual que la criba, el Cárcamo Sur está equipado con un desarenador programado para que opere de manera automática; este se activa cada hora por intervalo de 30 minutos.

2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general

En el sistema de saneamiento, al no contar con drenaje pluvial, ya que son escasas las lluvias, no existe problema por sobrecargas en las tuberías, aunque si se registran azolves y colapsos por tuberías muy viejas, presentándose este problema principalmente en la zona centro; se requiere el cambio de tubería en mal estado, ya que es la zona más antigua. Además, existen numerosos cruceos con gran tráfico vehicular, que deberán de reforzarse para evitar que las tuberías sufran colapso por el sobrepeso y el impacto del tráfico, por lo que en primer lugar el área a reforzar del sistema es el alcantarillado.

En cuanto a la PTAR, es necesario prever para estar en condiciones de dar tratamiento a las aguas residuales que se generarán en el futuro próximo, ya que se tiene capacidad para tratar 600 l/s; se está tratando máximo 400 l/s; pero de acuerdo con los cálculos, y previendo una tasa de crecimiento (0.02233), se incrementará la demanda a 844 l/s, con un déficit de 244 l/s de la capacidad actual, por lo que es primordial mantenerla y conservarla en buenas condiciones, hasta que sea necesaria su ampliación, y así estar en posibilidades de cubrir las próximas necesidades.

Asimismo, las PBAR deberán adecuarse a las características de la ampliación, y pugnar por la construcción de la red morada y, en su caso, la redistribución de las zonas de influencia de las estaciones de bombeo.

Tratamiento secundario. Una de las formas más efectivas de abaratar los costos de construcción de un proyecto de lagunas de estabilización es la reducción de los requisitos totales de área, mediante el empleo de unidades en serie. Este concepto no solamente es compatible con el propósito de cada laguna, sino que para climas tropicales es el único método de alcanzar altas eficiencias.

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

Actualmente se cumple con la normatividad en cuanto a la calidad del efluente y la disposición de lodos; la PTAR no tiene digestores, ya que este sistema de tratamiento de lagunas de estabilización tiene grandes tiempos de retención hidráulica, mediante la utilización de unidades en serie y los lodos salen estabilizados. Para el correcto funcionamiento de la planta, se cuenta con las instalaciones necesarias de administración y control.

El tratamiento y manejo de los lodos son adecuados, lo mismo que la disposición y su uso como material de cobertura.

Con el fin de mejorar la calidad del efluente de la PTAR, respecto a la concentración de sólidos y nutrientes para recargar agua de mejor calidad al acuífero y aumentar la vida útil de los lechos, se construyó un humedal al final del tratamiento, cuya descarga tenga infiltración al subsuelo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Se cumple con las: NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-015-SEMARNAT-1996 y NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos. Características y especificaciones de las obras y del agua. Para la mejora de la calidad del efluente se construyeron lechos de infiltración y un humedal para que el agua residual se infiltre con mejor calidad.

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

Además de los manuales de operación, es necesario establecer formalmente programas de operación, principalmente: monitoreo detallado, constante y sistemático para la obtención de información del estado físico de colectores-subcolectores, incluyendo todos los elementos del sistema de alcantarillado con sondeos de campo de suelos y otros; se requiere, asimismo, un estudio para evaluar la factibilidad técnica, económica y contractual para pasar a una mejor calidad en el caudal del efluente de la PTAR; construcción de la red morada; medición permanente de gastos en colectores, y actualización del padrón de usuarios.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

Las alternativas para atender la demanda futura de saneamiento en San Luis Río Colorado es aprovechar la infraestructura existente de subcolectores que aún pueden tener un poco de capacidad interconectar las áreas cercanas que están por desarrollarse.

Algunas direcciones hacia donde puede crecer la ciudad están físicamente limitadas, por lo que existe una tendencia dominante hacia el sureste; son estas áreas de expansión urbana las que demandarán nueva infraestructura de drenaje y saneamiento, que habrá que dotar conforme a las tendencias del crecimiento de la ciudad, lo cual plantea un alto nivel de exigencia para la dotación de servicios.

Es el caso de SLRC, donde debido a sus condiciones se establece como una localidad con tendencia decrecimiento extensivo, por los hábitos culturales de la región de forma de asentamiento y la necesidad viviendas con patio, generando redes de atención con mayor necesidad de servicios y de infraestructura.

La expansión y desarrollo a futuro de la zona Este y Sureste presenta aptitud para diversos tipos de vivienda: popular, media y residencial, en las que deberán incluirse los usos del suelo compatibles y complementarios con las zonas habitacionales, como son: áreas verdes, centros deportivos, servicios de salud, instituciones culturales y centros comerciales de zona.

La zona que se ubica al suroeste del centro de población San Luis Río Colorado tiene poco potencial de expansión, en la cual se incluyen equipamientos urbanos y regionales, actividades industriales, almacenes y bodegas, comercios y servicios, áreas verdes y zonas habitacionales.

Al sureste de la zona urbanizada se ubican áreas con aptitud para su incorporación al desarrollo urbano. El sector cuenta con algunos equipamientos regionales y usos especiales; la topografía predominante son lomeríos suaves que los hacen un lugar con potencial medio para su ocupación, requiriendo la realización de obras para la dotación de los servicios básicos.

Se prevé que la zona sureste pueda tener una importante dinámica de crecimiento en los próximos años; en esta se ubican algunas localidades menores y el fraccionamiento Bicentenario, actualmente separado de la estructura urbana de la ciudad, las cuales paulatinamente se irán incorporando a la mancha urbana.

Asimismo, es importante adecuar, planear y desarrollar de manera estratégica el crecimiento con la estructuración vial para que permita su incorporación a las vialidades existentes. De esta manera se asegura la conectividad y permeabilidad dentro del sector y hacia otras zonas de la ciudad.

De la misma manera, para el correcto funcionamiento urbano; deberán dotarse y dosificarse las áreas verdes, los espacios abiertos y los diferentes equipamientos urbanos, así como incorporar



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

usos de suelo complementarios, para brindar mayor calidad de vida a la población ya asentada en la zona y la que en el futuro la ocupará.

Al sureste del centro de población, a lo largo de la carretera federal, se ubican áreas con aptitud para su incorporación al desarrollo urbano. El sector cuenta con algunos equipamientos regionales y usos especiales; tiene una topografía predominantemente plana que la convierte en una zona con potencial para su ocupación.

Asimismo, en el extremo sur del centro de población, se ubican áreas con potencial de desarrollo, cercanos a la planta de tratamiento de aguas residuales, pero por su lejanía con la zona urbanizada actual se constituyen en reservas de crecimiento a más largo plazo.

En general, las alternativas que se presentan son para atender la demanda futura del saneamiento de las aguas residuales de San Luis Río Colorado, aprovechando la infraestructura de cada sector y los componentes del sistema de saneamiento, para mejorar su eficiencia y capacidad, con el fin de proporcionar el servicio a la población, así como a las áreas que están en desarrollo y que se incorporarán al sistema dentro del horizonte de planeación, es decir antes del año 2050.

3.1 Planteamiento de alternativas

Por su ubicación y las limitantes físicas como la propia frontera, el distrito de riego y las reservas naturales, el crecimiento de San Luis Río Colorado ha mantenido la tendencia a extenderse primordialmente hacia el sur, y sobre todo hacia el oriente.

Las alternativas para mejorar el sistema es aprovechar la infraestructura de colectores, subcolectores y red de atarjeas, principalmente. Sin embargo, también existen sectores del sistema que requieren rehabilitación inmediata, como es el caso de la red de atarjeas de la zona centro, que cuentan con tubería muy antigua, obsoleta y dañada, por lo que, según señalamientos, es necesario sustituir aproximadamente 58 km de tubería, y en un futuro muy próximo otros 87 km.

La red vial de San Luis Río Colorado es sumamente regular; el crecimiento de la ciudad se ha desarrollado en torno de sus principales vialidades, las cuales atraviesan la localidad y permiten la comunicación hacia todas direcciones. Sin embargo, el emplazamiento urbano se ha dado teniendo como límites: al norte, la carretera federal, y al oeste el distrito de riego, por lo que los asentamientos avanzaron hacia el sur, sureste y oriente, predominando la influencia de la carretera federal.

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

Infraestructura que requiere reposición o rehabilitación

Las alternativas de colectores y obras de captación y recolección que se proponen incluyen aquellas obras que son necesarias para mantener funcionando el sistema, por lo que se relacionan, en primer orden, las acciones de reemplazo y rehabilitación de líneas de atarjeas y colectores que se encuentran deteriorados o han cumplido su vida útil, y que son las acciones que ya fueron identificadas en los subcapítulos 2.2.1 y 2.2.2, que son las siguientes:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 22. Red de atarjeas, subcolectores y colectores que requieren reposición o rehabilitación, SLRC

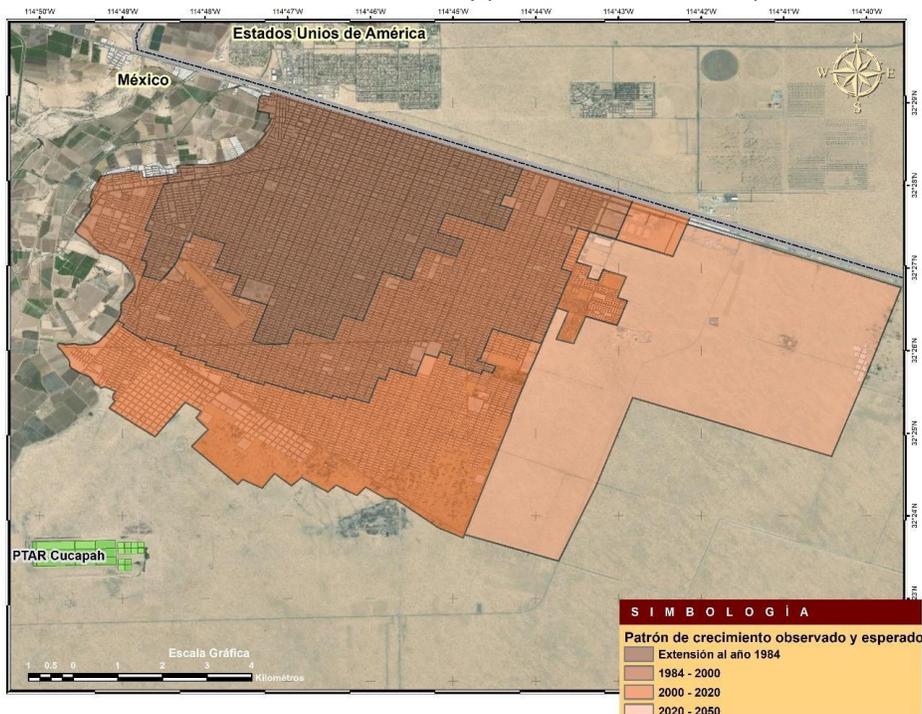
Reposición, rehabilitación de atarjeas y ampliación de redes	Longitud	Periodo de ejecución	
	km	Inicio	Término
Reemplazo de tuberías de atarjeas deterioradas con daño crítico, que sobrepasan la vida útil (5 km de líneas de atarjeas en la zona centro de la ciudad).	5	2022	2024
Reemplazo de tuberías deterioradas de 6", 8" y 10" de diámetro, que sobrepasan la vida útil (25 km de líneas de atarjeas en la zona centro de la ciudad).	25	2025	2030
Rehabilitación de 20 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro deteriorado, que cumplieron su vida útil y tienen grave daño.	20	2022	2024
Rehabilitación de 62 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro deterioradas, que cumplieron su vida útil con daño medio.	62	2025	2030
Rehabilitación de 120 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro deterioradas, que cumplieron su vida útil con daño leve.	120	2031	2050
Ampliación de la red en las colonias Reforma, Mezquites y Solidaridad (REMESOL), en beneficio de 44,000 habitantes.		2022	2024
Construcción del colector principal REMESOL con tubería de PVC y una longitud de 2.44 kilómetros y 76 cm (30") de diámetro nominal.	2.44	2022	2024
Construcción del emisor REMESOL-Cárcamo Sur con tubería de PVC, una longitud de 3.43 kilómetros y 76 cm (30") de diámetro nominal.	3.43	2022	2024

Fuente: elaboración propia

Alternativas en zonas de crecimiento y expansión

Considerando las zonas de posible expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, de acuerdo con la traza urbana, así como la infraestructura y proyectos existentes, la infraestructura de captación y conducción seguiría aproximadamente el mismo modelo que se ha desarrollado a través de los años.

Ilustración 19. Patrón de crecimiento observado y patrón de crecimiento esperado al 2050



Fuente: elaboración propia con Imágenes Google Earth



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La estructura urbana de San Luis Río Colorado se caracteriza por ser un sistema reticular, en donde las vialidades presentan un orden geométrico definido, respondiendo principalmente a la infraestructura de comunicación terrestre, es decir la carretera federal 2. Esta estructura no genera conflictos, al sistematizar el trazo de calles.

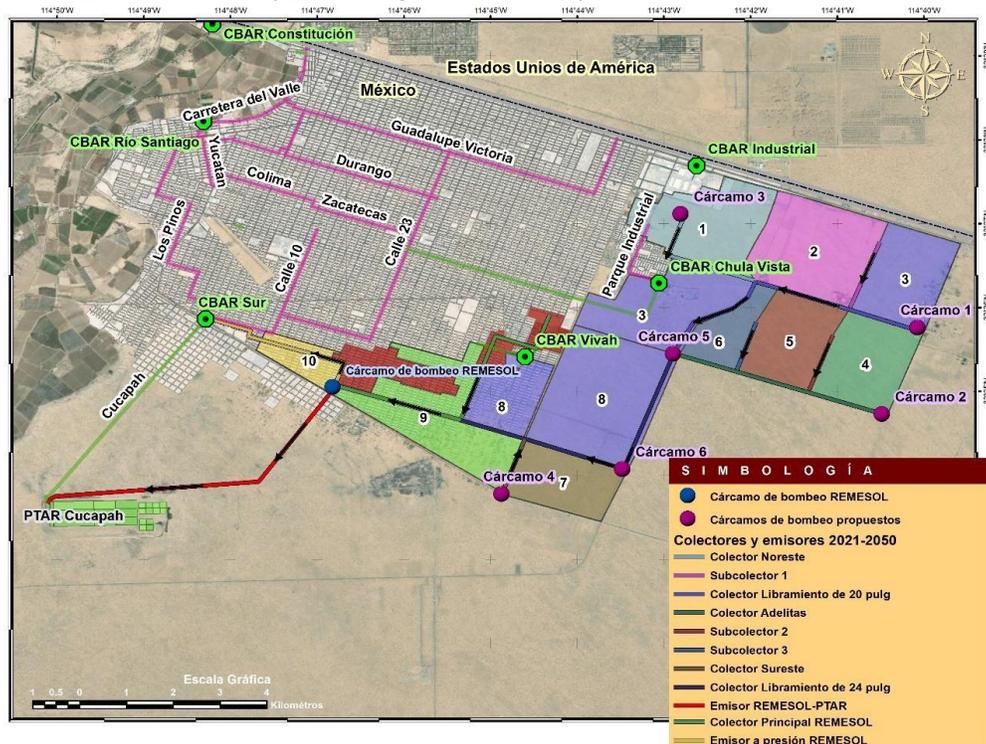
Los colectores y subcolectores principales se han trazado tradicionalmente de norte a sur, alimentado transversalmente por la red de atarjeas, buscando la salida del agua residual hacia el sur, con apoyo en bombeos, debido a lo plano de la zona.

En la siguiente Ilustración se muestran coloreadas las posibles zonas de consolidación, expansión y crecimiento de San Luis Río Colorado al año 2050.

En el caso de ampliaciones es recomendable proponer alternativas de carácter geométrico, principalmente en cuanto a trazo, considerando las avenidas o la alternativa que genere menor afectación a la población, así como longitudes más cortas, o en caso de haber opción de elegir área para el tipo de material a excavar.

Con base en la expansión esperada, la infraestructura existente y los proyectos que se impulsan, se hizo la siguiente propuesta de red para incorporación de las áreas de crecimiento de la ciudad.

Ilustración 20. Zonas de expansión e infraestructura requerida en San Luis Río Colorado, Son



Fuente: elaboración propia

Tabla 23. Colectores de las áreas de crecimiento y expansión de SLRC al año 2050

Zona de crecimiento	Nombre del colector	Longitud (m)	Periodo de ejecución	
			Inicio	Término
9	Colector Libramiento (primer tramo)	1,201.04	2022	2024
8	Colector Libramiento (segundo tramo)	4,638.88	2025	2030
3	Colector Libramiento (tercer tramo)	5,343.95	2025	2030
7	Colector Sureste	1,235.71	2022	2024
1	Colector Noreste	2,544.16	2025	2030
4	Colector Adelitas	4,007.09	2031	2050
2	Subcolector 1	1,609.18	2031	2050
5	Subcolector 2	1,313.78	2031	2050
6	Subcolector 3	1,130.73	2031	2050
REMESOL	Emisor a presión a Cárcamo Sur	3,428.47	2031	2050
	Emisor a presión a PTAR	6,408.21	2031	2050
		35,303.49		

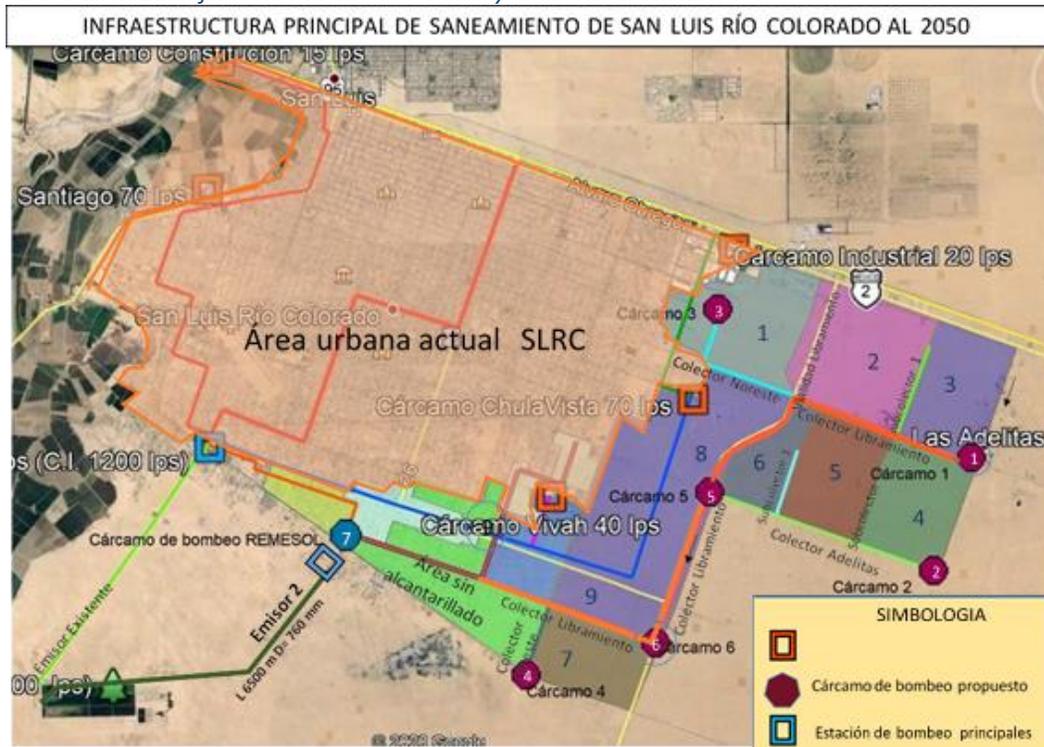
Fuente: elaboración propia

3.1.2 Planteamiento de alternativas para plantas de bombeo principales

Las condiciones topográficas del área donde se asienta San Luis Río Colorado requieren para conducir las aguas residuales del apoyo a las conducciones mediante bombeos de baja carga para hacer llegar el agua a la planta de bombeo principal Cárcamo Sur, que fue dimensionada para concentrar las aguas residuales de todo el centro de población a largo plazo.

Hacia esta planta de bombeo (PBAR), denominada Cárcamo Sur, se concentrarán también las aguas residuales de la zona de expansión que generará el crecimiento poblacional de la ciudad.

Ilustración 21. Infraestructura de colectores y emisores al año 2050



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

De acuerdo con lo anterior, se prevé la necesidad de al menos siete bombes, como ya se mencionó, seis de baja carga hidráulica y una planta de bombeo principal, denominada REMESOL; esta planta será la que concentre el mayor caudal y sería un nodo importante dentro del sistema de drenaje sanitario de la ciudad, por lo que se buscará que tenga los dispositivos y la infraestructura adecuada para disminuir el riesgo de falla.

Los caudales que llegan a las plantas de bombeo de la red son los siguientes:

Tabla 24. Caudales medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario

Plantas de bombeo	Qmed (l/s)	Qmax- inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)
Cárcamo 1	32.40	70.95	106.43
Cárcamo 2	32.67	71.55	107.33
Cárcamo 3	40.59	88.90	133.35
Cárcamo 4	27.18	59.53	89.30
Cárcamo 5	120.10	263.01	394.51
Cárcamo 6	161.02	352.63	528.94
PBAR-REMESOL	441.18	966.18	1,449.27

Fuente: elaboración propia

La PBAR requiere el mantenimiento adecuado para su conservación. Debe considerarse que, al adoptarse el proyecto de ampliación de la PTAR, será necesario adecuar los bombes a la nueva capacidad.

De acuerdo con las proyecciones de población y la ubicación de las zonas de crecimiento de la ciudad de SLRC, una de las opciones a futuro será construir una segunda planta de bombeo y un nuevo emisora para enviar las aguas residuales a la PTAR. Asimismo, para conducir las aguas a los sitios de concentración será necesario construir cuatro cárcamos de bombeo de baja carga conforme se vayan requiriendo.

Sin embargo, el incremento de plantas de bombeo se asocia con la capacidad de dar tratamiento a las aguas que se conduzcan hacia el sur de la ciudad, de forma que con ello se cuente con las condiciones de sanear las aguas residuales bombeadas.

Dentro del horizonte de planeación a cubrir hasta el año 2050, el bombeo principal, por lo menos hasta el año 2040, será el Cárcamo Sur; posteriormente compartirá esta función con una nueva planta de bombeo, identificada como planta de bombeo REMESOL. Para esta configuración, adicionalmente en la red primaria se requerirán seis bombes de baja carga hidráulica para conducir las aguas residuales captadas hasta las plantas de bombeo principales.

3.1.3 Planteamiento de alternativas para plantas de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cucapah tiene capacidad para tratar 600 l/s, y, de acuerdo con las proyecciones de población, será suficiente para satisfacer la demanda de tratamiento por lo menos los próximos 20 años, ya que esta capacidad será rebasada antes del 2040, año en que deberá contarse con suficiente capacidad para satisfacer la demanda de saneamiento, que en el escenario de crecimiento promedio sería de 737 l/s al año 2050.



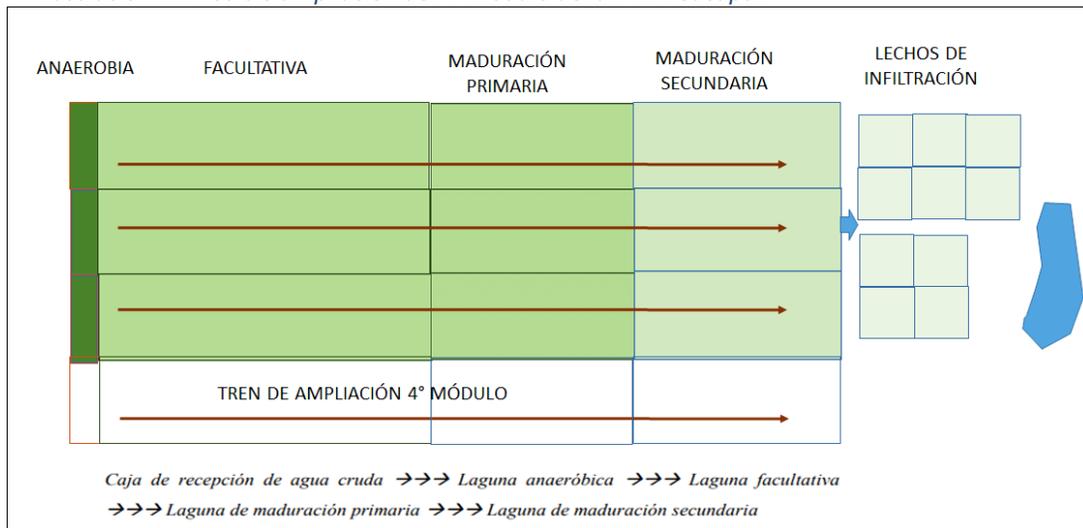
COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La PTAR Cucapah se dimensionó, diseñó y construyó para operar mediante cuatro trenes de tratamiento en línea; actualmente tiene tres módulos con capacidad de 200 l/s cada uno, por lo que será necesario agregar el cuarto módulo para disponer de una capacidad de 800 l/s.

De acuerdo con lo anterior, la alternativa es construir el cuarto módulo de tratamiento de 200 l/s para dejar completo el diseño de la planta, de forma que se pueda dar tratamiento a las aguas residuales que se capten y conduzcan en el sistema hasta el año 2050.

Con la construcción del cuarto tren lagunar se satisface la demanda al año 2050.

Ilustración 22. Posible ampliación del 4° módulo de la PTAR Cucapah



Fuente: elaboración propia

3.1.4 Planteamiento de alternativas de infraestructura para el reúso de agua

Actualmente las aguas tratadas que se descargan de la PTAR de San Luis Río Colorado son infiltradas al suelo, y se busca el certificado de calidad del agua infiltrada, para obtener beneficios en el pago de derechos que, conforme a la Ley Federal de Derechos, el organismo operador debe pagar en materia de aguas nacionales, aunque habría que valorar que un porcentaje importante del agua tratada se evapora, ya que en la región la evaporación potencial es superior a los 2000 milímetros anuales. Por ello, y dada la escasez de recursos hídricos en la región, es importante considerar el reúso directo y disminuir la utilización de agua de primer uso, es decir agua potable, sustituyéndola hasta donde sea posible por agua tratada en otros usos que no sean para consumo humano.

3.1.5 Planteamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

No se considera infraestructura complementaria.

3.2 Dimensionamiento de alternativas usando criterios de resiliencia

El concepto de resiliencia se entiende como la capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad, expuestos a una amenaza, para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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, todo lo que se puede evaluar “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).

Por lo anterior, construir infraestructura resiliente 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, previendo posibles eventos disruptivos, naturales y antropogénicos, para lograr la resiliencia.

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, por 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) a una estrategia más organizacional, enfocada 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.

Un sistema se dice con características de adaptabilidad (modularidad) cuando sus diferentes componentes poseen una autonomía relativa de funcionamiento. Este principio es frecuentemente



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 por el 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

El sistema de alcantarillado y saneamiento de San Luis Río Colorado tiene características que no son acordes a los conceptos de la resiliencia, al ser un sistema que concentra todo en una sola planta de bombeo antes de poder enviar a la PTAR, lo cual lo hace un sistema cerrado, no redundante ni adaptable ante situaciones de emergencia. Considerando esta condición, se buscará la forma configurar un sistema que pueda modificar algunas características que le sean favorables en términos de resiliencia.

Esto es aplicando criterios de situación extrema en el diseño de cada componente del sistema de saneamiento, incluyendo colectores, subcolectores, cruces, sobrecargas, cárcamos, cargas y descargas, considerando el mejor material y dimensionamiento. Es importante tener presente que la interrupción y falla de la infraestructura de saneamiento compromete los beneficios sanitarios y sociales obtenidos desde su instalación.

Los daños en el alcantarillado y los sistemas de tratamiento de aguas residuales provocan la contaminación de los cuerpos de agua cercanos, pérdida de las fuentes de agua y deterioro ambiental, lo que consecuentemente conlleva el establecimiento de condiciones insalubres dentro de los núcleos urbanos, por lo que el dimensionamiento adecuado, es decir considerando el largo plazo y la resistencia de su construcción, son fundamentales como parte de un criterio de resiliencia.

Algunos colectores ubicados en el área urbana de San Luis Río Colorado, que operan dentro del límite de su capacidad, y que por su ubicación pueden ver incrementados los caudales de entrada, ya que existen zonas de crecimiento cercanas, tendrán que revisarse en su condición de capacidad, o bien no ser considerados como opción para descargar esas aguas, buscando entonces la alternativa de ampliar su capacidad, construir otro conducto paralelo, o bien mandar el agua a presión a otro sitio.

Propuesta de colectores y subcolectores con base en el criterio de 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.

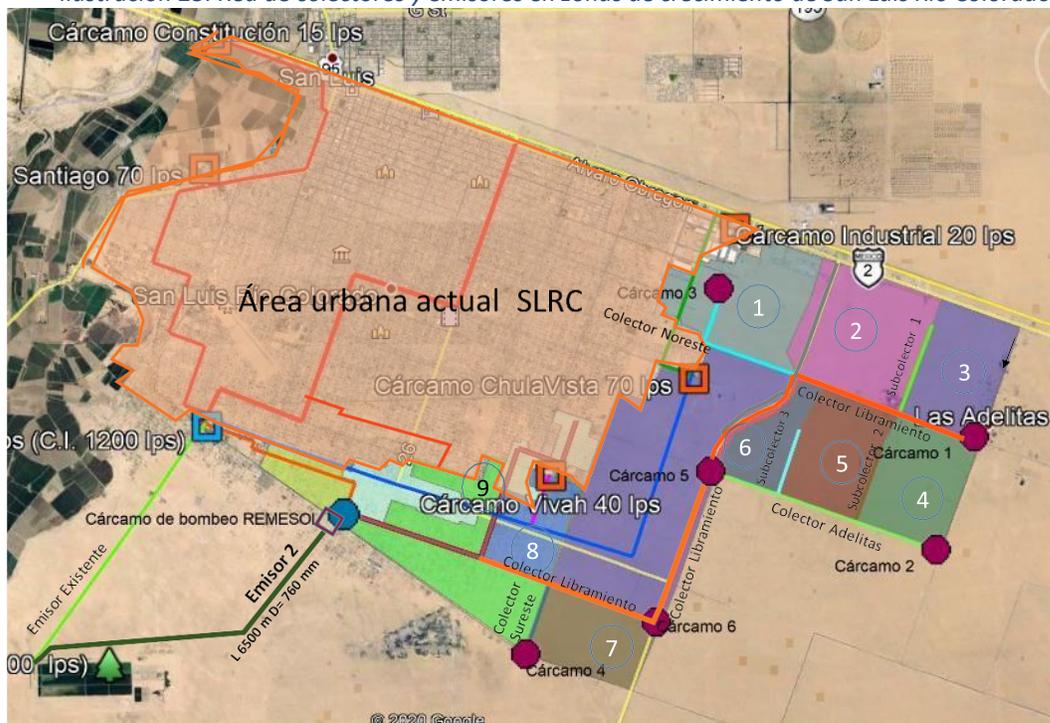
El factor de ubicación se relaciona, asimismo, con la localización de las PTAR, el aprovechamiento en lo posible de las pendientes naturales del terreno y el impacto en diversos efectos sobre distintas condiciones relacionadas con objetivos de cobertura de saneamiento urbano.

Tabla 25. Sistema de nuevos colectores en áreas de expansión

Zona de crecimiento	Nombre del colector	Longitud (m)
1	Colector Noreste	2,544.16
2	Subcolector 1	1,609.18
3	Colector Libramiento B	9,982.82
4	Colector Adelitas	4,007.09
5	Subcolector 2	1,313.78
6	Subcolector 3	1,130.73
7	Colector Sureste	1,235.71
8 (REMESOL)	Colector Libramiento A	1,201.04
REMESOL (actual área sin servicio)	Colector principal REMESOL	5,945.42
REMESOL	Emisor a presión	3,428.47
REMESOL	Emisor a presión a la PTAR Cucapah	6,500.00
		38,898.41

Fuente: elaboración propia

Ilustración 23. Red de colectores y emisores en zonas de crecimiento de San Luis Río Colorado



Fuente: elaboración propia

Para captar y conducir las aguas se requieren 38.9 km de nuevos colectores y emisores para incorporar las áreas de crecimiento e interconectarlas con la infraestructura del proyecto REMESOL, que es un proyecto que el OOMAPAS de San Luis Río Colorado ha venido impulsando, con el fin de incorporar una zona de la ciudad que carece del servicio de alcantarillado y saneamiento.

Asimismo, se propone una nueva estación de bombeo en un sitio contiguo al cárcamo denominado REMESOL, ya que conforme a la demanda futura de conducción de volúmenes y de tratamiento de los mismos, el Cárcamo Sur verá rebasada su capacidad alrededor del año 2040, debido a que la



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

capacidad de esta estación de bombeo es de 1200 l/s, que se alcanza aproximadamente con un caudal medio de 360 l/s.

La segunda planta de bombeo se ubicaría en un área contigua o muy cercana al cárcamo REMESOL, ya que en esa zona se concentra una proporción muy importante de los caudales de las áreas de crecimiento.

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 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 velocidades máximas y mínimas en la conducción del flujo.

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 Cuapah.

Gastos de diseño

Para el cálculo de los gastos de diseño en las redes de alcantarillado, de acuerdo con el MAPAS 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, es necesario definir 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:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

$$Q_{med} = \frac{A_p * P}{86,400} \quad (3.1)$$

donde:

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:

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, ampliamente utilizado en México, y trata de cubrir la variabilidad en las aportaciones por descargas domiciliarias.

$$Q_{max\ inst} = M * Q_{med} \quad (3.2)$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (3.3)$$

donde:

$Q_{max\ inst}$ se refiere al gasto máximo que puede presentarse en un instante dado, en l/s.

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

M es el coeficiente empírico desarrollado por W.G. Harmon, cuyo rango de aplicación comprende poblaciones de 1000 hasta 63,454 habitantes. Para poblaciones menores a 1000 habitantes el valor de M será igual a 3.8; en el caso de poblaciones mayores a 63,454 habitantes, el coeficiente será igual a 2.17, es decir, que para poblaciones mayores al límite superior, la variación no sigue la ley establecida por Harmon (Lara G., 1991).

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, olas 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:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

$$Q_{max\ ext} = C_s * Q_{max\ inst} \quad (3.4)$$

donde:

$Q_{max\ ext}$ es el gasto que prevé los excesos de las descargas a la red de alcantarillado, en l/s.

C_s es el coeficiente de seguridad; los valores de este coeficiente van de 1.0 a 2.0, tomándose comúnmente 1.5 para sistemas combinados y 1.0 para sistemas separados.

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.

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

Material	Diámetro (rango mm)	Ventajas	Inconvenientes
Concreto	En masa: 300-400; Armado sin camisa: 500-5000	-Apropiado para aplicaciones donde se requieran grandes diámetros. -Se fabrican a medida. -Son económicas.	-Falta de resistencia a la corrosión de los ácidos. -Ataques químicos de aguas residuales transportadas. -Resistencia especialmente crítica a la corrosión que genera el sulfuro de hidrógeno en importantes cantidades.
Asbesto-Cemento	Clases 1500, 2400 y 3300: 80 mm- 250 mm	-Tienen la durabilidad del concreto	-Deterioros en entornos corrosivos de sulfuro de hidrógeno.
	Clases 4000 y 5000: 250 mm- 1607 mm	-Pesan mucho menos que el concreto	-Deterioros en entornos de aguas residuales ácidas.

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso)

Material	Diámetro (rango mm)	Ventajas	Inconvenientes
Fundición dúctil	80-1,200	Alta resistencia a la presión interior. Buenas para la estanqueidad. Lisas.	Sensibles a la corrosión por ácidos. Proteger mediante revestimientos interiores y exteriores.
Hierro dúctil	75-1,370	Gran resistencia para soportar cargas externas. Alto grado de dureza y ductilidad, adecuado para la mayoría de las obras de alcantarillado sanitario y cruces de ríos. Adecuado en instalaciones de tratamiento de aguas residuales.	Particularmente susceptibles a la corrosión en aguas residuales que contengan ácidos y suelos agresivos. El recubrimiento externo es estándar y en situaciones de corrosión extrema pudiera requerirse una protección adicional.
Plástico	PVC-U: 110 - 1000; PVC-U Estructurado: hasta 1,500	Ligeros. Económicos. Baja rugosidad. Flexibles.	Prestaciones mecánicas menores a las tuberías de concreto y metálicas. Alto coeficiente de dilatación térmica. Envejecimiento (50 años de vida útil, aproximadamente).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Material	Diámetro (rango mm)	Ventajas	Inconvenientes
		No favorecen el desarrollo de hongos y algas.	
Policloruro de vinilo (PVC)	100-610	Químicamente inertes a la mayoría de los residuos alcalinos y ácidos. Resistentes a los ataques biológicos. Durabilidad. Inmune a todo tipo de corrosión subterránea causada por reacciones galvánicas o electroquímicas en suelos agresivos. Bajo peso. Alta relación peso-resistencia. Largas longitudes.	Posible inestabilidad química, debido a la exposición a la luz solar. Deflexión excesiva bajo cargas en trinchera, cuando es instalada inapropiadamente. Deflexión excesiva cuando es sometido a altas temperaturas de las aguas residuales. Fragilidad cuando es expuesto a temperaturas muy bajas.

Fuente: elaboración propia

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 las tuberías 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 en donde haya 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, niveles de plantilla de diseño y 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 aceptan de 100 a 150 cm.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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. También deben quedar bien 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 a 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 los equipos empleados.

En la tabla 28 se muestra 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.

Tabla 28. Infraestructura de colectores y emisores de PVC al año 2050

Nombre del colector	D (in)	L (m)	S (m/m)	Capacidad (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Condición de capacidad
Colector Noreste	18	2.54	0.004	265.60	40.59	88.90	133.35	CUMPLE
Subcolector 1	16	1.61	0.004	194.01	47.10	103.16	154.74	CUMPLE
Colector Libramiento	20	5.34	0.010	556.18	161.02	352.63	528.94	CUMPLE
Colector Adelitas	18	4.00	0.004	265.60	79.98	175.16	262.73	CUMPLE
Subcolector 2	16	1.31	0.010	306.75	30.63	67.08	100.62	CUMPLE
Subcolector 3	16	1.13	0.008	274.37	16.68	36.53	54.79	CUMPLE
Colector Sureste	18	1.24	0.004	265.60	27.18	59.53	89.30	CUMPLE
Colector Libramiento	24	4.64	0.004	572.00	300.97	278.76	418.14	CUMPLE
Colector Libramiento	24	1.20	0.017	1,179.20	352.94	772.95	1,159.42	CUMPLE
Colector principal REMESOL	30	2.44	0.009	1,555.65	441.18	966.18	1,449.27	CUMPLE
Emisor a presión al cárcamo Sur	30	3.43	0.009	1,555.65	455.17	996.83	1,495.24	CUMPLE
Emisor a presión a la PTAR	30	6.41	0.009	1,555.65	441.18	966.18	1,449.27	CUMPLE
	Total	35.30						

Fuente: elaboración propia

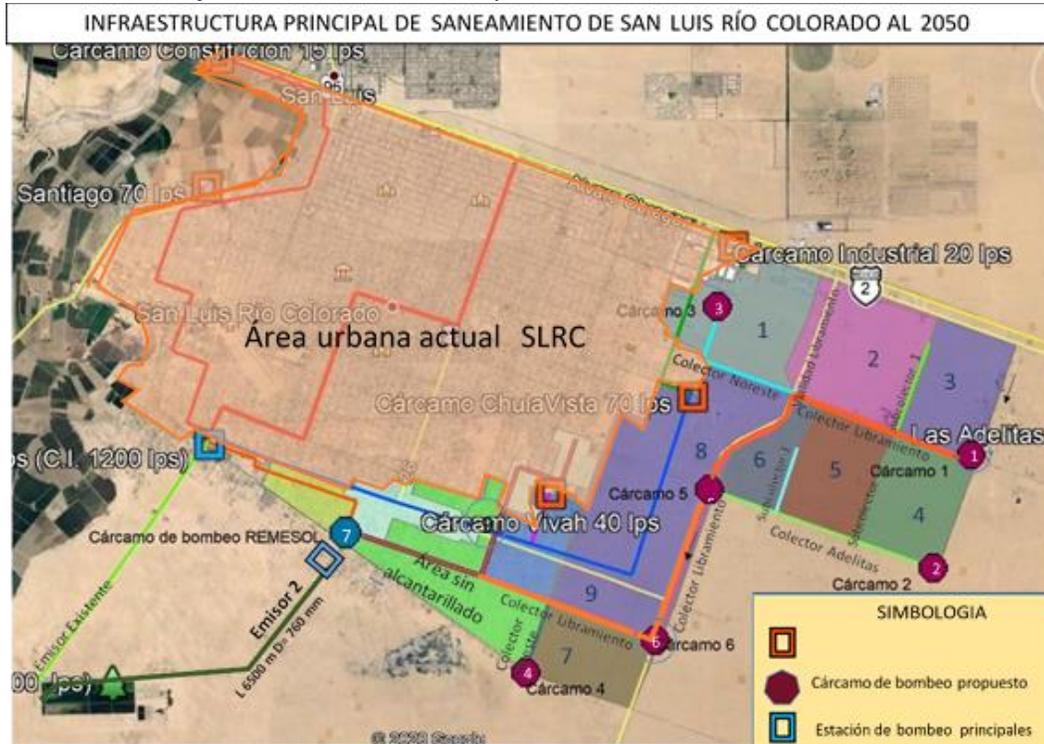
3.2.2 Dimensionamiento de alternativas para plantas de bombeo principales

La distribución principal de las zonas de servicio se muestra en la Ilustración 24. En ella puede observarse la redistribución que se hace en el planteamiento. La implementación de esta distribución permitirá el mejoramiento en la eficiencia con que se presta el servicio de alcantarillado.

Dentro del horizonte de planeación a cubrir hasta el año 2050, el bombeo principal, por lo menos hasta el año 2040, será el Cárcamo Sur; posteriormente compartirá esta función con una nueva planta de bombeo, identificada como planta de bombeo REMESOL. Para esta configuración,

adicionalmente en la red primaria se requerirán seis bombes de baja carga hidráulica para conducir las aguas residuales captadas hasta las plantas de bombeo principales.

Ilustración 24. Infraestructura de colectores y emisores al año 2050



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, se prevé la necesidad de al menos siete bombes, como ya se mencionó, seis de baja carga hidráulica y una planta de bombeo principal, denominada REMESOL; esta planta será la que concentre el mayor caudal y será un nodo importante dentro del sistema de drenaje sanitario de la ciudad, por lo que se buscará que tenga los dispositivos y la infraestructura adecuada para disminuir el riesgo de falla.

Los caudales que llegan a las plantas de bombeo de la red son los siguientes:

Tabla 29. Caudales medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario

Plantas de bombeo	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
Cárcamo 1	32.40	70.95	106.43
Cárcamo 2	32.67	71.55	107.33
Cárcamo 3	40.59	88.90	133.35
Cárcamo 4	27.18	59.53	89.30
Cárcamo 5	120.10	263.01	394.51
Cárcamo 6	161.02	352.63	528.94
PBAR-REMESOL	441.18	966.18	1,449.27

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En lo que corresponde a los requerimientos de capacidad de bombeo, para el año 2040 deberá preverse la construcción de un nuevo emisor desde la PBAR REMESOL, ya que el emisor Cucapah del Cárcamo Sur habrá llegado al límite de su capacidad, por lo que se tendría la PBAR REMESOL como la segunda planta principal y con capacidades similares al Cárcamo Sur. Debido a esto último, la planta de bombeo REMESOL tendría que habilitarse con capacidades similares a las del Cárcamo Sur, además de prever la construcción de un segundo emisor de aproximadamente 6410 m de longitud y 30 pulgadas de diámetro.

Con este equipamiento quedarían interconectadas las dos plantas de bombeo principales y el sistema tendría dos salidas hacia la PTAR, dando mayor flexibilidad al sistema conforme al criterio de resiliencia; es decir, al estar interconectadas con el Cárcamo Sur, pueden auxiliarse en casos en los que se requiera.

La nueva planta de bombeo, que en su momento se construya, tendrá que estar equipada de tal forma que se minimicen los riesgos derivados de errores humanos, al automatizar los equipos y monitorear y controlar las variables del flujo y electromecánicas durante su operación.

Debe considerarse que la PBAR requiere una unidad de pretratamiento y, sin excepción, una planta de emergencia, ya que el bombeo de aguas residuales no debe suspenderse al faltar el suministro eléctrico, por lo que habrá de tomarse en cuenta y considerar los espacios suficientes para la planta de emergencia y 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.

El cárcamo de bombeo debe tener accesorios e instalaciones complementarias.

1. Válvulas y compuertas para mantenimiento o regulación.
2. Rejillas para evitar entrada de sólidos mayores.
3. Automatización para controlar el sistema, y también controles manuales.
4. Bombas de una, dos o velocidad variable; este último tipo hace el sistema más complejo.
5. Equipo eléctrico: tableros.

Se tendrán en cuenta estudios de cimentación para evitar posibles consecuencias debidas a las vibraciones de las máquinas. Se instalarán grúas-viajeras para el manejo de las piezas en las instalaciones cuya importancia así lo requieran.

La alternativa de planta de bombeo que se propone, y en su momento se construya, considerando lo hasta aquí planteado, es que dicha planta esté equipada de tal forma que se minimicen riesgos derivados de errores humanos, al automatizar los equipos y monitorear y controlar las variables del flujo y electromecánicas durante su operación.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Cárcamo de bombeo

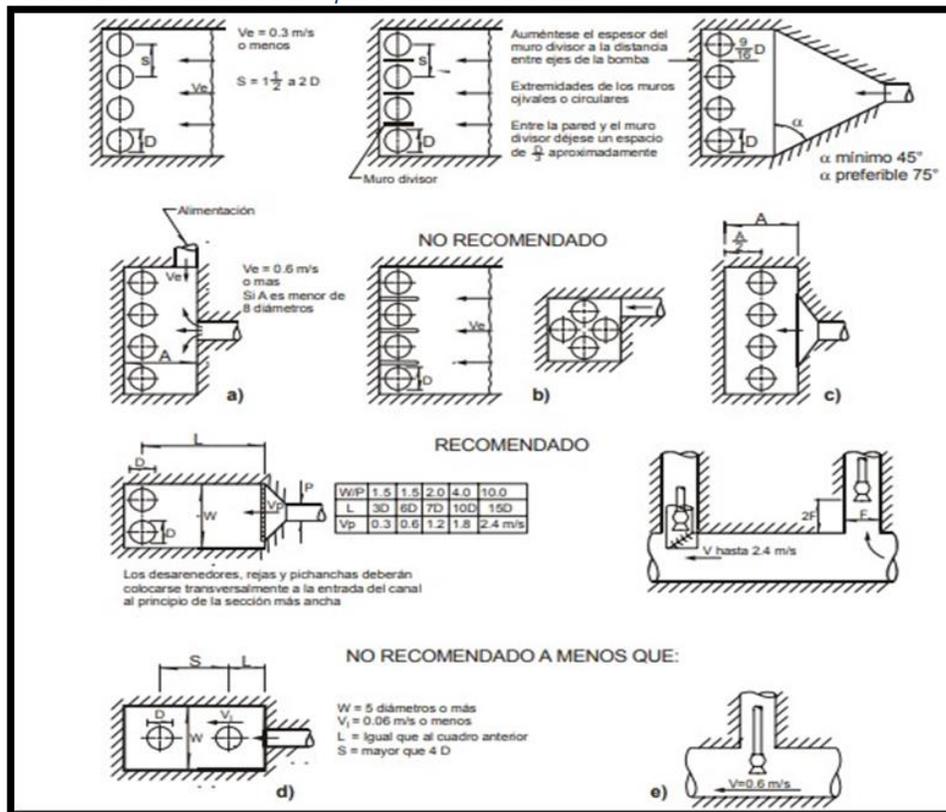
El cárcamo es en general la estructura receptora de uno o más colectores de la red sanitaria, y es desde esta estructura desde donde se movilizan las aguas negras, ya sea hacia una planta de tratamiento o a otra estación de bombeo de mayor capacidad o elevación topográfica.

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, lo que toma en cuenta los gastos máximos de los alimentadores para la selección de los equipos de bombeo.

Ilustración 25. Recomendaciones para cárcamos de bombeo



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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Para el diseño del cárcamo se recomienda que el agua llegue con baja velocidad, con flujo recto y uniforme (Ilustración 25), simultáneamente a todas las bombas. No se recomiendan cambios bruscos en el tubo de succión, el cárcamo y el tubo de alimentación.

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, debe aumentarse 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.

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 al cárcamo seco, y es donde se alojan los equipos de bombeo. Algunas de las ventajas que pueden mencionarse de este tipo de cárcamos 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 mínimos 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 aumentándose a medida que lo requieran las necesidades. Cargas de bombeo. 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, de sus variaciones y de la 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.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Motores eléctricos

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

Subestación eléctrica

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

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

Deberá procurarse que la arquitectura y el acceso de la estación de bombeo sean funcionales; la operación no debe causar molestias a la vecindad. Los materiales de muros, pisos, etcétera, habrán de 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.

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.

Dimensionamiento de las alternativas

La planta de bombeo, conocida como Cárcamo de Bombeo Sur, cuenta con seis equipos de bombeo y envía el agua residual mediante un emisor a presión al sur de la ciudad, a la PTAR Cucapá. Cada equipo de bombeo tiene capacidad para enviar aproximadamente 210 l/s; el emisor está diseñado para transportar un caudal medio de 420 l/s y un caudal máximo de 1230 l/s.

El Cárcamo Sur seguirá siendo la planta de bombeo principal del sistema, al menos hasta el 040, año que deberá estar lista la ampliación de la capacidad de la planta de tratamiento. Para ese mismo año es importante contar con la planta de bombeo REMESOL, que contará con capacidad similar a la capacidad de la PB Cárcamo Sur. La planta de bombeo REMESOL, al año 2040, podrá estar cerca de cumplir un ciclo de 15 años de equipamiento, y entonces deberá tomarse la decisión de reequiparla para las nuevas condiciones.

Tabla 30. Requerimientos de equipamiento de la PBAR REMESOL hasta el año 2040

Parámetro	Planta de bombeo REMESOL					
Conducto	Emisor cárcamo Sur					
Material	Emisor PVC			Emisor PEAD		
Referencia	Qmed(l/s)	QMax-inst(l/s)	Qmax-ext (l/s)	Qmed(l/s)	QMax-inst(l/s)	Qmax-ext(l/s)
Gasto	441.18	966.18	1,449.27	441.18	966.18	1,449.27
Carga estática	1m					
Carga dinámica	3.6	13.44	28.99	4.4	17.31	37.68
Potencia (HP)	29.21	239.00	773.72	35.73	307.91	1,005.86

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La propuesta es que en el primer ciclo de vida se opere la planta REMESOL con un equipamiento de potencia menor que con la que se operará después de ese primer ciclo, ya que la demanda de potencia para el gasto máximo instantáneo, para enviar el agua al Cárcamo Sur, es de aproximadamente dos equipos de 50 HP c/u, y 4 de 125 HP, para tener capacidad al menos para el gasto máximo instantáneo.

Los requerimientos de potencia posteriores al 2040 se estiman en la siguiente tabla.

Tabla 31. Requerimiento de equipamiento de la PBAR REMESOL después del año 2040

Parámetro	Planta de bombeo REMESOL					
Conducto	Emisor REMESOL-PTAR					
Material tubo	PVC			PEAD		
Referencia	QMED (l/s)	QMAXINST (l/s)	QMAXEXT (l/s)	QMED (l/s)	QMAXINST (l/s)	QMAXEXT (l/s)
Caudal (l/s)	441.18	966.18	1,449.27	441.18	966.18	1,449.27
Carga estática (m)	7					
Carga dinámica (m)	11.88	30.4	59.64	76.00	37.67	76.00
Potencia (HP)	93.40	540.99	1,592.24	108.77	670.39	2,028.97

Fuente: elaboración propia

Con estos cálculos de referencia, una vez que se opere para enviar el agua hacia la PTAR, la demanda será de 540 HP; puede ser práctico dejar dos de 125 HP y cuatro equipos de 150 HP, y operar y dejar preparado el cárcamo para seis equipos en total, ya que para el gasto medio es suficiente un solo equipo en ambas condiciones, y dejar el segundo de reserva, es decir que operen alternadamente.

La planta de bombeo sur se ubicaría en la calle 21 y Lirios, aproximadamente a 2.7 kilómetros al sureste del Cárcamo Sur.

El emisor al Cárcamo Sur será el conducto mediante el cual se enviarán las aguas residuales concentradas en la PBAR-REMESOL, correspondientes a las áreas de crecimiento y a las que aún no tienen servicio de alcantarillado, como las colonias Reforma, Mezquite y Solidaridad; este emisor tiene una longitud de 3428 metros y un diámetro de 76 cm (30").

Una vez que se requiera la ampliación de la planta de tratamiento, alrededor del año 2040, se necesitará un emisor de esta planta de bombeo hacia la PTAR, el cual tendría una longitud de 6408 m y diámetro de 76 cm, (30"). Con este nuevo arreglo se podrían tener interconectadas las dos plantas de bombeo y dos emisores hacia la planta de tratamiento, lo cual permitiría una mayor funcionalidad y redundancia al sistema.

3.2.3 Dimensionamiento de alternativas para plantas de tratamiento

Teniendo en consideración los datos presentados en el capítulo 2.2.4, la PTAR se encuentra operando al 66 % de su capacidad; por lo tanto, es suficiente para dar servicio a la población en el corto y mediano plazos, porque de acuerdo con los cálculos, y previendo una tasa de crecimiento promedio, se incrementará la demanda a 737 l/s, con lo que el déficit al año 2050 será de 137 l/s. En un escenario de crecimiento alto ($i=0.02233$), la demanda de tratamiento es de 844 l/s y el déficit de saneamiento se incrementa a 244 l/s, con respecto a la capacidad actual, por lo que es



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

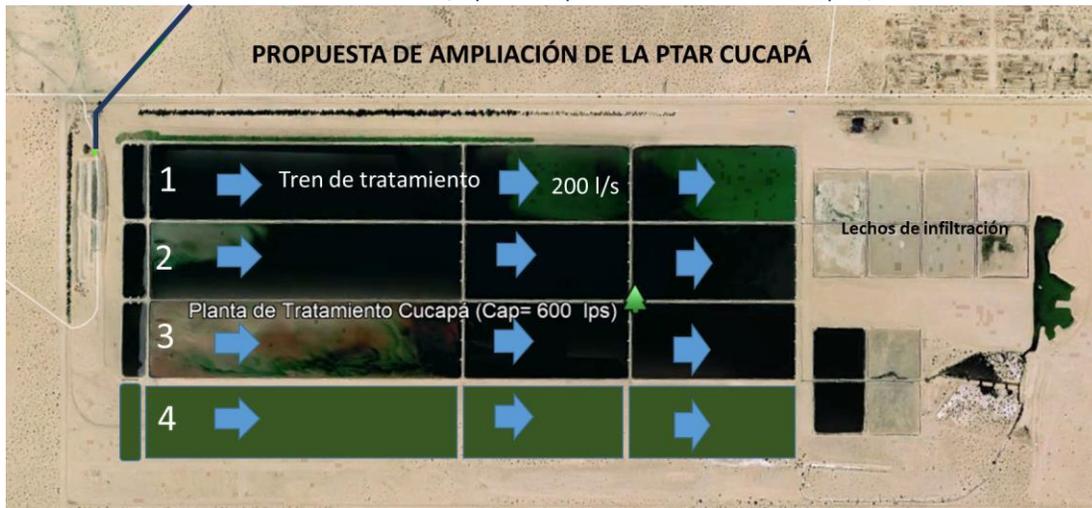
fundamental mantenerla y conservarla en buenas condiciones, hasta que sea necesaria su ampliación para estar en posibilidades de cubrir las necesidades futuras.

Las alternativas a considerar son:

- Conservar y mantener las instalaciones en perfecto estado.
- Considerar el requerimiento de una ampliación a mediano plazo.

Para la ampliación que se requiere, la alternativa es agregar el cuarto módulo similar a los tres módulos existentes, como lo prevé el diseño de la PTAR.

Ilustración 26. Cuarto módulo de 200 l/s para ampliación de la PTAR Cucapah, San Luis Río Colorado



Fuente: elaboración propia

Dimensiones establecidas en el Manual de Operación de la PTAR:

Las dimensiones de la laguna anaeróbica, al nivel del espejo de agua en ambas etapas de proyecto, son las siguientes: Largo (m) 175; ancho (m) 51; tirante de agua (m) 4; área (m²) 8925; volumen (m³) 29,371.

Las dimensiones de cada una de las lagunas facultativas, al nivel del espejo de agua, en ambas etapas de proyecto, son las siguientes: Largo (m) 729; ancho (m) 175; tirante de agua (m) 1.5; área (m²) 127,582; volumen (m³) 247,932, relación de taludes internos 1:2.

Las dimensiones de cada una de las lagunas de maduración, al nivel del espejo de agua, son las siguientes: Largo (m) 385; ancho (m) 175; tirante de agua (m) 1.5; área (m²) 67,375; volumen (m³) 98,543; relación de taludes internos 1:2.

3.2.4 Dimensionamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

Es necesario analizar la posible construcción de una línea de conducción o línea morada, de aguatratada de la PTAR Cucapah, con puntos de entrega estratégicamente ubicados, con la



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

finalidad de abastecer de agua tratada a los centros deportivos, industria, riego de parques y jardines, así como ver la posibilidad de utilizar aguas tratadas en zonas cultivables.

3.2.5 Dimensionamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

Las obras complementarias indispensables para una adecuada operación de los sistemas de recolección, conducción, tratamiento y disposición de las aguas residuales, incluyendo la medición de caudales, infraestructura para el mantenimiento de las líneas y pozos de visita, así como los equipos y accesorios electromecánicos, actualmente no están consideradas por el OOMAPAS.

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

Los proyectos considerados a nivel de identificación muchas veces proporcionan información con un gran margen de incertidumbre. Es importante, sin embargo, considerar el hecho de que las alternativas y proyectos involucrados inciden en aspectos relevantes de la realidad regional sobre los que no existen criterios definidos de prioridad y valuación, hasta en tanto se relacionen con elementos que la realidad y el tiempo van proporcionando.

La planeación de los proyectos tiene como principio fundamental que, tratándose de la inversión de cuantiosos recursos, la decisión de ejecutarlos debe hacerse sobre sólidas bases técnicas y económicas y entre propuestas que sean comparables.

El objetivo de la planeación de recursos y la gestión de proyectos es precisamente saber cuáles son los recursos necesarios, tanto para desarrollar los proyectos que permitan atender necesidades actuales, como aquellos que ayudarán a enfrentar las necesidades futuras, con el fin de tomar previsiones sobre los recursos disponibles y aquellos faltantes.

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

Una vez que el factor de ubicación ha sido considerado, 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.

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, para dos materiales de tubos: alternativa 1 (PVC) y alternativa 2 (PEAD), utilizando el Catálogo General de Precios Unitarios para la Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado (CONAGUA, 2020).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 32. Costo índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PVC)

Concepto	Diámetro en pulgadas			
	18	20	24	30
Suministro de tubería	4,545,920.00	4,912,620.00	6,024,950.00	7,901,610.00
Excavación	4,062,135.00	4,431,420.00	4,985,347.50	5,723,917.50
Apuntalamiento	150,000.00	150,000.00	200,000.00	250,000.00
Plantilla	19,885.80	21,693.60	24,405.30	28,020.90
Instalación de tubería	75,150.00	84,780.00	97,200.00	92,200.00
Pozos de visita	288,318.48	288,318.48	288,318.48	288,318.48
Relleno de protección 30 cm	95,818.80	104,529.60	117,595.80	135,017.40
Relleno con material producto de excavación	787,290.79	848,930.47	932,699.30	1,032,389.65
Acarreos de material sobrante	346,673.25	378,189.00	425,462.63	488,494.13
Piezas especiales	10,000.00	10,000.00	10,000.00	11,000.00
Inversión/km (pesos)	10,381,192.12	11,230,481.15	13,105,979.01	15,950,968.06
Inversión/km (mdp)	10.38	11.23	13.11	15.95

Fuente: elaboración propia a partir de información de CONAGUA (2020)

Tabla 33. Continúa: Costo índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PVC)

Concepto	Diámetro en pulgadas		
	36	42	48
Suministro de tubería	9,008,350.00	9,802,830.00	10,427,180.00
Excavación	6,462,487.50	7,016,415.00	7,754,985.00
Apuntalamiento	350,000.00	500,000.00	600,000.00
Plantilla	31,636.50	34,348.20	37,963.80
Instalación de tubería	129,590.00	160,650.00	212,520.00
Pozos de visita	315,620.04	315,620.04	483,440.64
Relleno de protección 30 cm	152,439.00	165,505.20	182,926.80
Relleno con material producto de excavación	1,122,147.79	1,171,153.87	1,242,289.11
Acarreos de material sobrante	551,525.63	598,799.25	661,830.75
Piezas especiales	11,500.00	12,000.00	14,000.00
Inversión/km (pesos)	18,135,296.46	19,777,321.56	21,617,136.10
Inversión/km (mdp)	18.14	19.78	21.62

Fuente: elaboración propia a partir de información de CONAGUA (2020)

Tabla 34. Costos índices por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PEAD)

Concepto	Diámetro en pulgadas			
	18	20	24	30
Suministro de tubería	2,031,390.37	2,322,926.29	2,383,051.51	2,792,785.28
Excavación	4,062,135.00	4,431,420.00	4,985,347.50	6,203,988.00
Apuntalamiento	150,000.00	150,000.00	200,000.00	250,000.00
Plantilla	19,885.80	21,693.60	24,405.30	30,371.04
Instalación de tubería	80,150.00	89,780.00	97,200.00	97,200.00
Pozos de visita	288,318.48	288,318.48	288,318.48	288,318.48
Relleno de protección 30 cm	95,818.80	104,529.60	117,595.80	146,341.44
Relleno con material producto de excavación	787,290.79	848,930.47	932,699.30	1,118,977.17
Acarreos de material sobrante	346,673.25	378,189.00	425,462.63	529,464.60
Piezas especiales	10,000.00	10,000.00	10,000.00	11,000.00
Inversión/km (pesos)	7,871,662.49	8,645,787.44	9,464,080.52	11,468,446.01
Inversión/km (mdp)	7.87	8.65	9.46	11.47

Fuente: elaboración propia a partir de información de CONAGUA (2020)



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 35. Continúa. Costos índices por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PEAD)

Concepto	Diámetro en pulgadas		
	36	42	48
Suministro de tubería	3,082,406.43	3,724,888.53	4,153,336.60
Excavación	7,311,843.00	7,791,913.50	8,345,841.00
Apuntalamiento	350,000.00	500,000.00	600,000.00
Plantilla	35,794.44	38,144.58	40,856.28
Instalación de tubería	134,590.00	165,650.00	217,520.00
Pozos de visita	315,620.04	315,620.04	483,440.64
Relleno de protección 30 cm	172,473.84	183,797.88	196,864.08
Relleno con material producto de excavación	1,269,630.07	1,300,597.20	1,336,939.71
Acarreos de material sobrante	624,011.85	664,982.33	712,255.95
Piezas especiales	11,500.00	12,000.00	14,000.00
Inversión/km (pesos)	13,307,869.67	14,697,594.06	16,101,054.26
Inversión/km (mdp)	13.31	14.70	16.10

Fuente: elaboración propia a partir de información de CONAGUA (2020)

Con la configuración planteada para cubrir las áreas de expansión de la ciudad, que darán servicio a las áreas de crecimiento de San Luis Río Colorado, los costos de inversión requeridos para construir la infraestructura, utilizando cualquiera de los tipos de materiales considerados, son los siguientes:

Tabla 36. Colectores en zonas de crecimiento al año 2050, material PVC

Zona de crecimiento	Nombre del colector	Diámetro (in) PVC	Longitud (m)	Costo/ km (mdp) PVC	Importe (mdp) PVC
1	Colector Noreste	18	2,544.16	10.38	\$ 26.41
2	Subcolector 1	16	1,609.18	9.07	\$ 14.60
3	Colector Libramiento	20	5,343.95	11.23	\$ 60.02
4	Colector Adelitas	18	4,007.09	10.38	\$ 41.60
5	Subcolector 2	16	1,313.78	9.07	\$ 11.92
6	Subcolector 3	16	1,130.73	9.07	\$ 10.26
7	Colector Sureste	18	1,235.71	10.38	\$ 12.83
8	Colector Libramiento	24	4,638.88	13.10	\$ 60.77
	Colector Libramiento	24	1,201.04	13.10	\$ 15.73
REMESOL (áreas in servicio)	Colector principal REMESOL	30	2,442.29	15.95	\$ 38.96
REMESOL	Emisor a presión a cárcamo Sur	30	3,428.47	15.95	\$ 54.69
	Emisor a presión a PTAR	30	6,408.21	15.95	\$ 102.22
	Total		35,303.49		449.99

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Costos de operación y mantenimiento de la red de colectores PVC

Concepto	Cantidad	Unidad	Importe	
			Mes	Año
Personal	9.0	PERSONA	180,000.00	2,160,000.00
Operación vehículos	3.00	VEHICULOS	30,000.00	360,000.00
Limpieza de pozos de visita	350.00	POZOS	175,000.00	2,100,000.00
Materiales y equipo diversos	1	LOTE	15,000.00	180,000.00
				4,800,000.00

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 38. Inversiones requeridas para construir la red de colectores y emisores de material PEAD al año 2050

Zona de crecimiento	Nombre del colector	Longitud (m)	Diámetro (pulgadas) PEAD	Costo / km (mdp) PEAD	Importe (mdp) PEAD
1	Colector Noreste	2,544.16	18	7.87	\$ 20.03
2	Subcolector 1	1,609.18	16	6.67	\$ 10.74
3	Colector Libramiento	5,343.95	20	8.65	\$ 46.20
4	Colector Adelitas	4,007.09	18	7.87	\$ 31.54
5	Subcolector 2	1,313.78	16	6.67	\$ 8.77
6	Subcolector 3	1,130.73	16	6.67	\$ 7.55
7	Colector Sureste	1,235.71	18	7.87	\$ 9.73
8	Colector Libramiento	4,638.88	24	9.46	\$ 43.90
	Colector Libramiento	1,201.04	30	11.47	\$ 13.77
REMESOL (sin servicio)	Colector principal REMESOL	2,442.29	36	13.31	\$ 32.50
REMESOL	Emisor a presión a Cárcamo Sur	3,428.47	36	13.31	\$ 45.63
	Emisor a presión a PTAR	6,408.21	36	13.31	\$ 85.28
		35,303.49			\$ 355.64

Fuente: elaboración propia.

Tabla 39. Costos de operación y mantenimiento de la red de colectores de material PEAD

Concepto	Cantidad	Unidad	Importe	
			Mes	Año
Personal	12.0	Persona	240,000.00	2,880,000.00
Operación vehículos	4.00	Vehículo	40,000.00	480,000.00
Limpieza de pozos de visita	350.00	Pozo	175,000.00	2,100,000.00
Materiales diversos	1	Lote	50,000.00	600,000.00
				6,060,000.00

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.

La fórmula para calcular el costo capitalizado (CC), es:

Tabla 40. Conceptos considerados para cálculo de CC

Concepto		PVC	PEAD
Tasa de interés anual	i=	10%	10%
Costo O&M (millones de pesos)	A	4.80	6.06
Ciclo de vida (años)	n	50	50

Fuente: elaboración propia

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.

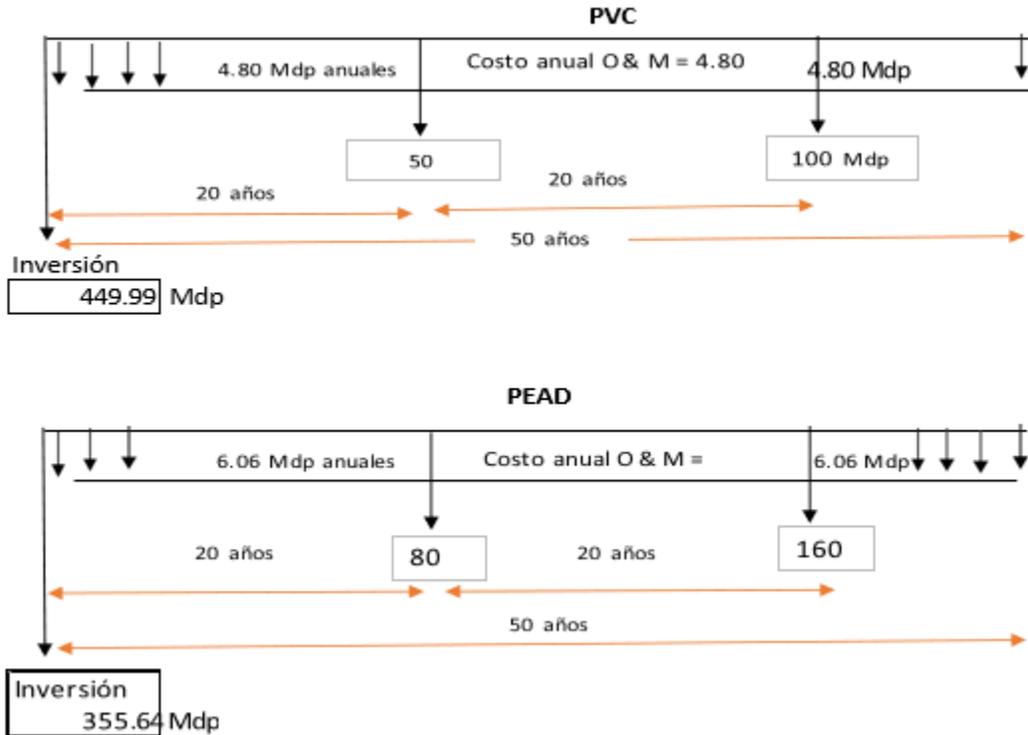
Para traer los costos al presente, el procedimiento seguido al calcular el costo capitalizado de una secuencia infinita de flujos de efectivo es el siguiente:



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).

Ilustración 27. Diagrama de flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia

El flujo representa para cada alternativa, al utilizar PVC o PEAD, la inversión total que implica la construcción de la red (449.99 y 355.64 mdp); los costos de operación y mantenimiento anual, de 4.8 y 6.06 mdp, para cada caso, y dos inversiones puntuales para rehabilitación o reposición de tramos dañados a los 20 y 40 años.

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 PVC y PEAD.

Tabla 41. Valor presente de alternativas con PVC y PEAD

P/F		PVC	P/F
$(P/F, 10, 20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=20$	50	7.43
$(P/F, 10, 40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=40$	100	2.21
P/F		PEAD	P/F
$(P/F, 10, 20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=20$	80	11.89
$(P/F, 10, 40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=40$	160	3.54

Costos no recurrentes	PVC	PEAD	
Inversión actual (millones de pesos)	Inversión	449.99	355.64
Primer costo no recurrente 50 y 100 millones de pesos	(20 años)	7.43	11.89
Segundo costo no recurrente 80 y 160 millones de pesos	(40 años)	2.21	3.54



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

P1	459.63	371.07
----	--------	--------

Fuente: elaboración propia

3. Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA) durante un ciclo de vida de todas las cantidades; para 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).

Tabla 42. Valor anual uniforme para alternativas de PVC y PEAD

Costos recurrentes (millones de pesos)		PVC	PEAD
Operación anual	(50 años)	4.80	6.06
	P2	48.00	60.60

Fuente: elaboración propia

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:

Tabla 43. Valor presente para alternativas de PVC y PEAD

Valor presente (millones de pesos)	PVC	PEAD
P1	459.63	371.07
P2	48.00	60.60
VP	507.63	431.67

Fuente: elaboración propia

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es la de 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 adquirirse 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.

Alternativa de no acción

No constituye una alternativa viable bajo cualquier circunstancia, va en contra de la salud y el bienestar de la población, propicia contaminación de suelo y agua y perjudica la buena relación binacional con Estados Unidos.

Es evidente y claro que no invertir en la ampliación de las redes de alcantarillado sanitario se convierte en un costo no sostenible ni a largo ni a corto plazos.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En la situación sin proyecto, el sistema de alcantarillado presentará cada vez más deficiencias en su operación. Sin embargo, el OOMAPAS no puede dejar de actuar ante las circunstancias que se le presenten, ya que de hacerlo 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 de alternativas para plantas de bombeo principales

El sistema de saneamiento de la ciudad de San Luis Río Colorado ha venido operando en los últimos 10 años con una sola planta de bombeo principal, mediante la cual es posible enviar las aguas residuales a la planta de tratamiento por un emisor de PVC, de 76 cm (30") de diámetro.

Conforme pase el tiempo y se vaya adecuando la capacidad de tratamiento, en el mediano plazo, se requerirá una segunda planta de bombeo y un nuevo emisor.

Análisis de alternativas para el caso de la planta de bombeo REMESOL, equipada para enviar las aguas residuales a la PTAR Cucapah.

Tabla 44. Costo de la planta de bombeo REMESOL equipada para emisor 76 cm de diámetro de PVC

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe (mdp)
Terreno	Lote	1	1.50	1.50
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	12.00	12.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	8.00	8.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	3.00	3.00
Edificios	Lote	1	1.50	1.50
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.00	1.00
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	0.20	0.20
Obras complementarias	Lote	1	1.50	1.50
			Total	29.50

Fuente: elaboración propia

Tabla 45. Costos de operación y mantenimiento de la planta de bombeo y emisor de PVC de 76 cm de diámetro y 6.41 km

Concepto	Unidad	Cantidad	Importe (millones pesos)	
			Mes	año
Personal	Persona	5.0	0.100	1.20
Operación vehículos	Vehículo	1.0	0.015	0.18
Lodos	Lote	1.0	0.050	0.60
Consumo eléctrico	consumo/año	1.0		2.61
Materiales y equipo diversos	Lote	1.0	0.050	0.60
			Total	5.19

Fuente: elaboración propia

Tabla 46. Costo de la planta de bombeo REMESOL equipada para emisor de 76 cm de diámetro de PEAD

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe (mdp)
Terreno	Lote	1	1.50	1.50
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	16.00	16.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	10.00	10.00



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Estructura del cárcamo	Lote	1	3.00	3.00
Edificios	Lote	1	1.50	1.50
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	0.20	0.20
Obras complementarias	Lote	1	1.50	1.50
			Total	36.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 47. Costos de operación y mantenimiento de la planta de bombeo y emisor de PVC de 76 cm de diámetro y 6.41 km

Concepto	Unidad	Cantidad	Importe (mdp)	
			Mes	Año
Personal	Persona	5	0.10	1.200
Operación vehículos	Vehículos	2	0.03	0.360
Lodos	Lote	1	0.05	0.600
Consumo eléctrico	Consumo/año	1		3.043
Materiales y equipo diversos	Lote	1	0.08	0.900
			Total	6.103

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.

Tabla 48. Conceptos considerados para cálculo de CC

Concepto		PVC	PEAD
Tasa de interés anual	i=	10%	10%
Costo O&M (millones de pesos)	A	5.19	6.10
Ciclo de vida (años)	n	30	30

Fuente: elaboración propia

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:

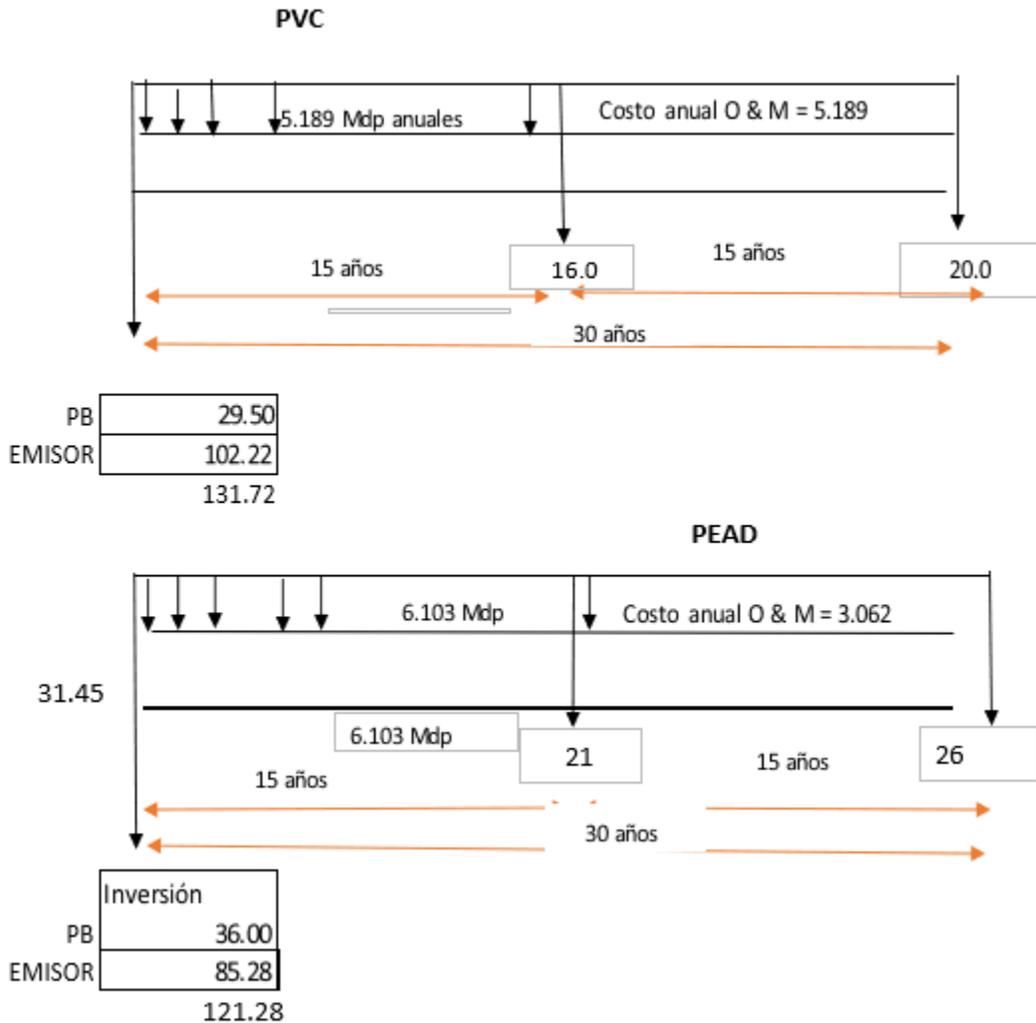
1. Diagrama de flujo de efectivo que muestra los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos).

El flujo representa para cada alternativa, utilizando PVC o PEAD, la inversión total que implica la construcción de la planta de bombeo y emisor (453.75 y 473.71 mdp, respectivamente); los costos de operación y mantenimiento anual de 2.76 y 3.06 mdp, para cada caso, y dos inversiones puntuales, de 24 y 32 mdp, para reequipamiento o reposición de equipos de la PBAR Sur, a los 15 y 30 años.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 28. Diagramas de flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia

- 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.

Tabla 49. Valor presente de alternativas con PVC y PEAD

P/F		PVC	Valor de P
$(P/F, 10, 20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	16.00	3.83
$(P/F, 10, 40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	20.00	1.15
P/F		PEAD	Valor de P
$(P/F, 10, 20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	21.00	5.03
$(P/F, 10, 40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	26.00	1.49

Costos no recurrentes		PVC	PEAD
Inversión actual (millones de pesos)	Inversión	131.72	121.28
Primer costo no recurrente 16 y 21 millones de pesos	(15 años)	3.83	5.03
Segundo costo no recurrente 20 y 26 millones de pesos	(30 años)	1.15	1.49



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

P1	136.70	127.79
----	--------	--------

Fuente: elaboración propia

- Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA) durante un ciclo de vida de las cantidades, para 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).

Tabla 50. Valor anual uniforme para alternativas de PVC y PEAD

Costos recurrentes (anuales)		PVC	PEAD
Costos de operación anuales	(30 años)	5.189	6.103
	P2	51.89	61.03

Fuente: elaboración propia

- 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:

Tabla 51. Valor presente para alternativas de PVC y PEAD

Valor presente	PVC	PEAD
P1	136.7	127.79
P2	51.89	61.03
VP	188.59	188.82

Fuente: elaboración propia

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es la alternativa 1, empleando PVC. Los valores son muy similares; sin embargo, adicionalmente habrá que tomar en cuenta algunas desventajas de utilizar PEAD, 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 adquirirse 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 San Luis Río Colorado, el material más utilizado es el PVC en su red de atarjeas y colectores.

Alternativa de no acción

No constituye una alternativa viable bajo cualquier circunstancia, ya que no contar con una planta debombeo, que permita hacer llegar las aguas residuales al Cárcamo Sur o a la PTAR, cuando se requiera, provocaría que no fuera posible desalojar las aguas residuales de las áreas de crecimiento de la ciudad, lo cual va en contra de la salud y el bienestar de la población y provocaría contaminación de suelo y agua.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Es evidente y claro que no invertir en infraestructura de alcantarillado y saneamiento se convierte en un costo no sostenible ni a largo ni a corto plazos, debido a que los daños provocados a la población serían incalculables.

En la situación sin proyecto, el sistema de alcantarillado presentaría cada vez más deficiencias en su operación. Sin embargo, el OOMAPAS-San Luis Río Colorado no puede dejar de actuar ante las circunstancias que se le presenten, ya que de hacerlo 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.

Es necesario buscar un diseño óptimo con relación a la carga y gasto de las plantas de bombeo ubicadas en la red de alcantarillado como auxiliares para elevar el agua debido a la condición topográfica de SLRC.

Ilustración 29. Ubicación de los cárcamos en las zonas de crecimiento de SLRC al año 2050



Fuente: elaboración propia

Estos cárcamos construidos para auxiliar a la red a lo largo de los colectores principales se construirán conforme se requiera en las áreas de crecimiento, por lo que el orden de su programación se relaciona con la expansión urbana.

Tabla 52. Plantas de bombeo de baja carga hidráulica en la zona de crecimiento

Plantas de bombeo (Cárcamos)	Q _{max-ext} (l/s)	carga estática(m)	HDT (m)	Potencia HP	# Equipos	Periodo	
						Inicio	Término
Cárcamo 4	89.30	2	5	12	2	2022	2024
Cárcamo 3	133.35	2	5	12	2	2025	2030



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Plantas de bombeo (Cárcamos)	Qmax-ext (l/s)	carga estática(m)	HDT (m)	Potencia HP	# Equipos	Periodo	
						Inicio	Término
Cárcamo 5	394.51	2	5	40	3	2025	2030
Cárcamo 6	528.94	2	5	40	3	2025	2030
Cárcamo 1	106.43	2	5	10	2	2031	2050
Cárcamo 2	107.33	2	5	10	2	2031	2050

Fuente: elaboración propia | HDT: Carga dinámica Total: HP: Horse Power

Tabla 53. Etapas de construcción de cárcamos de bombeo al año 2050

CONCEPTO	COSTO mdp	INICIO	TÉRMINO
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la primera etapa de un cárcamo de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamo 4, potencia de 12 P).	1.5	2022	2024
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la segunda etapa de tres cárcamos de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamos 3, 5 y 6, potencia de 92 HP total).	7.5	2025	2030
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la tercera etapa de dos cárcamos de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamos 1 y 2 potencia de 20 HP total).	2.80	2031	2050

Fuente: elaboración propia

3.3.3 Evaluación de alternativas para plantas de tratamiento

Las alternativas para la planta de tratamiento son:

1. Lagunas de estabilización (lagunas: anaeróbica, facultativa y de maduración en serie).
2. Lagunas de estabilización (lagunas: facultativa y de maduración en serie).
3. Infiltración rápida.
4. Vertido al terreno.
5. Infiltración lenta.
6. Lodos activados, proceso convencional.
7. Lodos activados, aireación extendida.

La alternativa seleccionada (alternativa 1) corresponde a lagunas de estabilización; se conserva la alternativa, ya que en esta segunda etapa la propuesta consideraba de origen cuatro módulos, y hasta ahora se tienen tres módulos con los siguientes elementos:

1. Pretratamiento.
2. Caja de llegada y distribución de agua residual.
3. Laguna anaerobia.
4. Laguna facultativa.
5. Laguna de maduración.
6. Caja de interconexión.
7. Sistema de desinfección.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 30. Proyecto de ampliación del Sistema de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales en San Luís Río Colorado, Sonora



Fuente: Documento de certificación COCEF: agosto 2006

En la primera etapa se construyeron dos módulos de tratamiento con el mismo arreglo descrito, para iniciar su operación en el 2010, y posteriormente, en el 2015, se construyó el tercer módulo, quedando como está en la actualidad.

Conforme con las proyecciones de demanda, el cuarto módulo deberá entrar en operación alrededor del año 2040.

La planta de tratamiento de aguas residuales está constituida por un sistema de tratamiento biológico mediante lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración; dicho arreglo no estará precedido por un pretratamiento, ya que en los cárcamos de bombeo de agua cruda se tienen instalados los procesos de cribado y desarenado.

El diseño del sistema lagunar, que fue realizado con base en los criterios del Manual de Lagunas de la CNA, se diseñó para una reducción en los contenidos de materia orgánica, huevos de helminto y coliformes fecales, hasta valores inferiores a los señalados para Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Para el manejo y disposición final de los subproductos generados durante el proceso de tratamiento, el proyecto considera la estabilización de los lodos generados durante el proceso, de tal forma que cumpla con lo estipulado en la NOM-004-SEMARNAT-2002 para su disposición. Los lodos generados en el proceso de tratamiento se extraerán de las lagunas en periodos aproximados de ocho años, y se proyecta su aprovechamiento como elemento mejorador de suelo.

Posteriormente fue concebido y construido el humedal que complementa el tratamiento y que inició su operación en marzo del 2018; se consideró apropiado plantar flora nativa de la región del delta del Río Colorado. Se espera que este humedal funcione como un sistema que mejora la calidad del agua para la recarga del acuífero.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

El costo de inversión del cuarto módulo de la PTAR se estima en 120 mdp, más un costo de operación y mantenimiento anual de \$1,080,000.00

Tabla 54. Costo de inversión de construcción del cuarto módulo de 200 l/s de la PTAR Cucapah

CONCEPTO	COSTO mdp	INICIO	TÉRMINO
Construcción y equipamiento del cuarto módulo para 200 l/s en la ampliación de la planta de tratamiento Cucapah; consistente en un tren de tratamiento: laguna anaerobia, laguna facultativa y lagunas de maduración 1 y 2, y 4 lechos de infiltración.	120.00	2031	2050

Fuente: elaboración propia

3.3.4 Evaluación de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

Desde que se construyó la PTAR Cucapah, y debido a la ubicación y condiciones físicas de la zona, se planteó como parte del proyecto que el agua se descargara a varios lechos de infiltración, y que finalmente este fuera el reúso del agua residual tratada.

Actualmente se tienen 12 lechos de infiltración y un humedal de 20 hectáreas, donde se descargan las aguas residuales tratadas.

Sistema de recarga artificial

- Tipo de recarga: recarga natural en lechos de infiltración.
- Número de lechos de infiltración: 12 lechos de 110 m X 110 m.
- Caudal de carga a lechos: 85-100 l/s.
- Tiempo de operación por lecho: 4 días.
- Tiempo de infiltración promedio: 2 días.
- Conductividad hidráulica de los lechos de infiltración: 5.2 m/d.

Ilustración 31. Sistema de tratamiento e infiltración del agua residual tratada, PTAR Cucapah, SLRC



Fuente: OOMAPAS, San Luis Río Colorado

Datos del humedal

- Tipo de humedal: humedal subsuperficial.
- Tiempo de retención hidráulica: 13 días
- Caudal promedio del humedal: 100 l/s.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- Descarga de humedal: suelo-sistema de recarga artificial del acuífero.
- Área del humedal: 20 ha.

Objetivo general del humedal: mejorar la calidad del efluente de la PTAR, respecto a la concentración de sólidos y nutrientes para recargar agua de mejor calidad y aumentar la vida útil de los lechos de filtración, respecto al fenómeno de colmatación.

3.4 Selección de las alternativas más convenientes

Para la selección de las alternativas más convenientes, en un esquema de gran visión con escenarios defuturo complejos, en donde existe una elevada dosis de incertidumbre, y donde lo que se pone en juegos la satisfacción de necesidades básicas de la población y posibles conflictos e intereses, resulta importante 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, asociados a cada factor; en ocasiones se asocian diferentes objetivos. Por tanto, es necesaria la colaboración entre los diferentes actores, 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 Selección de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción

Para las alternativas de colectores principales y obras de captación y conducción, se valorarán 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 las 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 plantas de bombeo Estadio y la planta de bombeo N° 2, para flexibilizar un poco la operación del sistema.

Las alternativas

En este caso se evaluaron, además de la ubicación, dos tipos de materiales: PVC y PEAD, que son de uso común y fácilmente se consiguen en el mercado de tuberías y piezas especiales.

El PVC es más fuerte, se somete a pruebas de control de calidad más rigurosas, presenta una hidráulica superior, ofrece 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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

comparación con el PEAD. Estas cualidades se suman a determinadas ventajas especiales en la construcción.

Armado más rápido: las uniones de PVC con guarnición estanca se arman fácilmente. En cambio, las uniones de PEAD requieren operadores hábiles 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: 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 devigas, en comparación con tuberías de plástico alternativas.

Los colectores de la configuración, planteada para San Luis Río Colorado, tienen una longitud de 35.3 kilómetros, cubren un área de 3710 hectáreas y representan una inversión de 449.99 mdp pesos, a realizarse en el horizonte de planeación del año 2050.

Tabla 55. Red de colectores para atender las áreas sin servicio y la expansión urbana al 2050

Zona de crecimiento	Nombre del colector	Longitud (m)	Costo/ km (mdp) PVC	Importe (mdp) PVC
1	Colector Noreste	2,544.16	10.38	\$ 26.41
2	Subcolector 1	1,609.18	9.07	\$ 14.60
3	Colector Libramiento	5,343.95	11.23	\$ 60.02
4	Colector Adelitas	4,007.09	10.38	\$ 41.60
5	Subcolector 2	1,313.78	9.07	\$ 11.92
6	Subcolector 3	1,130.73	9.07	\$ 10.26
7	Colector Sureste	1,235.71	10.38	\$ 12.83
8	Colector Libramiento	5,839.92	13.10	\$ 76.51
REMESOL (área sin servicio)	Colector principal REMESOL	2,442.29	15.95	\$ 38.96
REMESOL	Emisor a presión a Cárcamo Sur	3,428.47	15.95	\$ 54.69
	Emisor a presión a PTAR	6,408.21	15.95	\$ 102.22
		35,303.49		\$ 449.99

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 San Luis Río Colorado, que se han denominado cárcamo 1 a cárcamo 6, son plantas de bombeo de baja carga que se requieren para auxiliar el transporte de las aguas residuales, desde las zonas de captación en las atarjeas, hasta las plantas de bombeo principales: REMESOL y Cárcamo Sur, desde donde serán enviadas a la planta de tratamiento Cucapah.

Estos cárcamos tendrán al menos dos equipos de bombeo que funcionarán alternadamente y estarán equipados con las protecciones necesarias para su óptima operación.

Tabla 56. Plantas de bombeo de baja carga hidráulica en la red primaria al año 2050

Cárcamo	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	HP	Cantidad de equipos	Costo (mdp)
Cárcamo 1	32.40	70.95	106.43	5	2.00	0.8
Cárcamo 2	32.67	71.55	107.33	5	2.00	0.8



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Cárcamo 3	40.59	88.90	133.35	5	2.00	0.8
Cárcamo 4	27.18	59.53	89.30	3	2.00	0.6
Cárcamo 5	120.10	263.01	394.51	15	3.00	1.20
Cárcamo 6	161.02	352.63	528.94	20	3.00	1.50
						5.70

Fuente: elaboración propia

Sumado a estas plantas de baja carga hidráulica, la planta de bombeo REMESOL será donde se concentren los caudales de las áreas que actualmente carecen de servicio de alcantarillado y que el OOMAPAS considera incorporar al servicio en el corto plazo; además de esta zona, también se añadirán los caudales de las áreas de expansión, en el mediano y largo plazos.

La propuesta es que en el primer ciclo de vida se opere la planta REMESOL con un equipamiento de potencia menor que con el que se operará después de ese primer ciclo, ya que la demanda de potencia para el gasto máximo instantáneo, para enviar el agua al Cárcamo Sur, es de aproximadamente dos equipos de 50 HP c/u, y uno de 150 HP, por lo que pueden instalarse dos equipos, de 50 HP, y cuatro de 175 HP, para tener capacidad, en caso del caudal máximo extraordinario, ya que la potencia es de 773 HP.

Una vez que se opere para enviar el agua hacia la PTAR, la demanda será de 540 HP para el caudal máximo instantáneo, por lo que puede ser práctico dejar dos equipos de 100 HP, y cuatro equipos de 250 HP, y operar y dejar preparado el cárcamo para seis equipos en total, ya que para el gasto medio es suficiente un solo equipo en ambas condiciones, y dejar el segundo equipo de reserva, es decir que trabajen alternadamente. Equipar para el caudal máximo extraordinario al parecer no será viable, ya que se requieren equipos de alta potencia que se utilizarían en contadas ocasiones en su vida útil.

Tabla 57. Requerimientos de equipamiento de la PBAR REMESOL hasta el año 2040

Parámetro	Planta de bombeo REMESOL					
	Emisor Cárcamo Sur					
	Emisor PVC			Emisor PEAD		
	Qmed (l/s)	QMax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)	Qmed (l/s)	QMax-inst (l/s)	Qmax-ext (l/s)
	441.18	966.18	1,449.27	441.18	966.18	1,449.27
Carga estática (m)	1					
Carga dinámica (m)	3.6	13.44	28.99	4.4	17.31	37.68
Potencia requerida (HP)	29.21	239.00	773.72	35.73	307.91	1,005.86

Fuente: elaboración propia

Tabla 58. Requerimiento del equipamiento de la PBAR REMESOL después del año 2040

Parámetro	Planta de bombeo REMESOL					
	Emisor REMESOL-PTAR					
	PVC			PEAD		
	Qmed (l/s)	Qmaxinst (l/s)	Qmaxext (l/s)	Qmed (l/s)	Qmaxinst (l/s)	Qmaxext (l/s)
	441.18	966.18	1,449.27	441.18	966.18	1,449.27
Carga estática (m)	7					
Carga dinámica (m)	11.88	30.4	59.64	76.00	37.67	76.00
Potencia requerida (HP)	93.40	540.99	1,592.24	108.77	670.39	2,028.97

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.4.3 Selección de alternativas para plantas de tratamiento

La alternativa que se considera es construir el cuarto módulo del sistema lagunar existente, que fue concebido desde el diseño original; la planta de tratamiento actual tiene operando tres módulos de 200 l/s, cada uno; sin embargo, fue conceptualizada para operar con cuatro módulos de 200 l/s, por lo que se considera la ampliación del cuarto módulo un poco antes del 2040, para cubrir la demanda de saneamiento esperada al año 2050, que es de 737 l/s, para un crecimiento poblacional con tasa promedio de 0.01927434.

Tabla 59. Alternativa para ampliar la capacidad de tratamiento de las aguas residuales de SLRC al año 2050

CONCEPTO	COSTO mdp	INICIO	TÉRMINO
Construcción y equipamiento del cuarto módulo para 200 l/s en la ampliación de la planta de tratamiento Cucapah, consistente en un tren de tratamiento: laguna anaerobia, laguna facultativa y lagunas de maduración 1 y 2, y 4 lechos de infiltración.	120.00	2031	2050

Fuente: elaboración propia

3.4.4 Selección de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

La alternativa para el reúso del agua residual tratada en la PTAR Cucapah de San Luis Río Colorado fue definida desde que se construyó la planta en el año 2000, y se ha venido implementando a través de años recientes con la operación de los lechos de infiltración, y en el 2018 la construcción del humedal que complementa el tratamiento para su infiltración en suelo.

La ampliación de la PTAR Cucapah traerá consigo la construcción de lechos de infiltración, ya que se han venido construyendo cuatro lechos por módulo de tratamiento, por lo que al incorporar el cuarto módulo se agregarán otros cuatro de estos lechos al sistema.

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 los proyectos y conformar una “Cartera de Programas y Proyectos de Inversión”, que en nuestro país es el instrumento principal del sistema de inversión pública, para proveer de los recursos que se requieren para la ejecución de dichos proyectos.

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 contempla varias fases del proyecto, que van desde su identificación, hasta su ejecución; estas fases comprenden dos grandes conceptos: preinversión e inversión, y permite 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

Lo anterior aludiendo a que uno de los objetivos del presente trabajo es identificar una cartera de proyectos que pueda ser registrada ante la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda.

Ilustración 32. Proceso de maduración de los proyectos elegibles para inversión pública



Fuente: elaboración propia

Para una selección coherente de toma de decisión con los objetivos que se buscan desde un enfoque de desarrollo sustentable, existe la dificultad de evaluar consecuencias inmediatas y diferidas de las decisiones, teniendo en cuenta que el nivel gran visión puede cubrir algunos aspectos, como la rentabilidad real, el impacto funcional sobre la población y el medio ambiente.

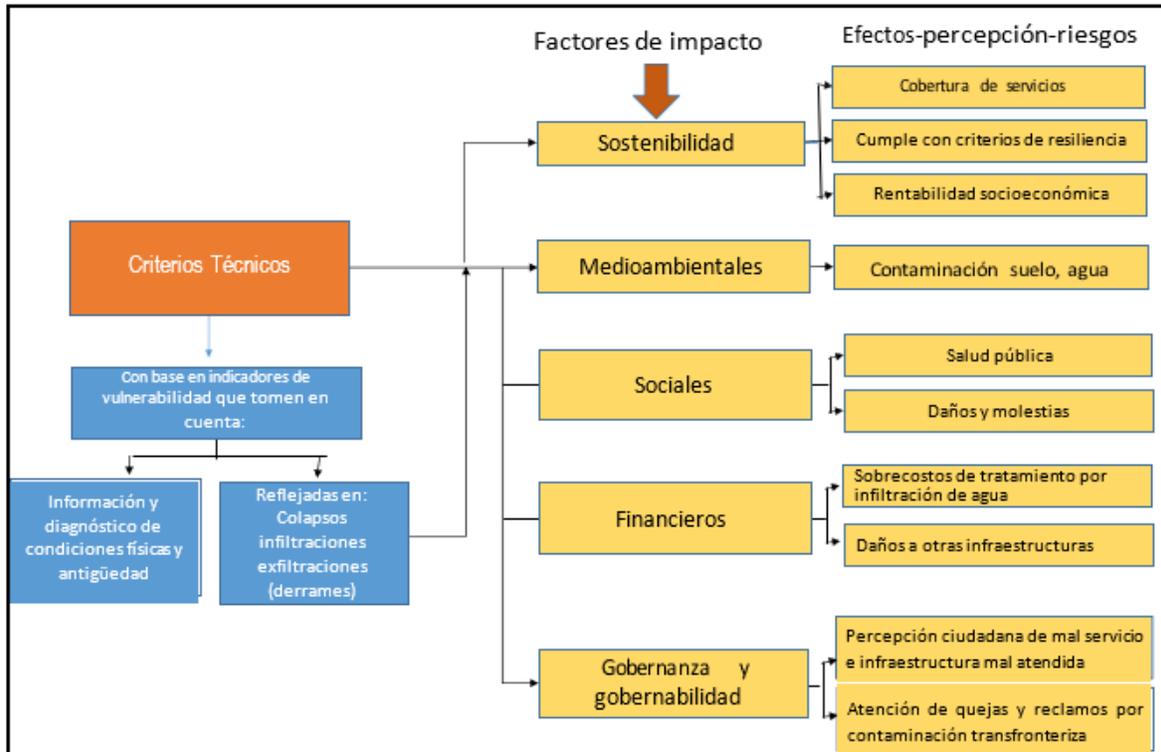
Por las razones expuestas, un esfuerzo inicial de planeación y de estimación de aplicación de recursos, podría hacerse a partir de definir una parte del presupuesto anual a los siguientes conceptos:

- Inspección, diagnóstico y estudio de los sistemas,
- Un porcentaje importante para la rehabilitación corriente del sistema,
- Un porcentaje para la rehabilitación profunda y reposición de elementos, y
- Un porcentaje más para incrementar infraestructura.

Por supuesto la decisión estaría sujeta al análisis y a la opinión de los responsables del servicio (municipio, estado y federación), tomando en cuenta el punto de vista de los organismos de apoyo financiero (como ejemplo los porcentajes de cada concepto descrito pudieran ser 10, 40, 30 y 20).

Una matriz de decisión evaluada con los involucrados podría enfocarse a ponderar los aspectos técnicos que se traducen en impactos, tanto positivos como de efecto negativo, y en la que podría reflejarse un calificación de dichos efectos, que indique que las infraestructuras incrementan lo positivo y evitan los efectos negativos, como se ilustra en la Ilustración 33.

Ilustración 33. Criterios y factores de impacto de la infraestructura propuesta que pudieran reflejarse en una matriz de decisión



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 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 “semáforo”, y su ejecución se programará de acuerdo con cómo se vaya documentando el proceso de soporte de los proyectos. Para fines de estimar las necesidades de inversión, el criterio es proponer en primer orden aquellos que ya están en programas y que requieren atención prioritaria para evitar colapsos en el sistema, problemas sanitarios en la población o daños al medio ambiente.

Tabla 60. Precartera de proyectos de reemplazo y rehabilitación de infraestructura

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Reemplazar tuberías de atarjeas deterioradas con daño crítico que sobrepasan la vida útil (5 km líneas de atarjeas zona centro de la ciudad).	30.00	6.00	9.00	15.00		2022	2024
Reemplazar tuberías deterioradas de 6", 8" y 10" de diámetro que sobrepasan la vida útil (25km líneas de atarjeas zona centro de la ciudad).	150.00	30.00	45.00	75.00		2025	2030
Rehabilitar 20 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro, deterioradas y que cumplieron su vida útil.	40.00	8.00	12.00	20.00		2022	2024
Rehabilitar 62 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro, deterioradas y que cumplieron su vida útil.	124.00	24.80	37.20	62.00		2025	2030



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Rehabilitar 120 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro, deterioradas y que cumplieron su vida útil.	240.00	48.00	72.00	120.00		2031	2050
Total	584.00	116.80	175.20	292.00	0.00		

Fuente: elaboración propia

La infraestructura de la red primaria, requerida para incorporar las zonas de expansión por crecimiento urbano, se programará conforme se vaya dando el crecimiento, y seguramente la infraestructura más cercana a la existente será la que se vaya necesitando para incorporar nuevas áreas al sistema.

Tabla 61. Infraestructura de colectores y emisores, requerida para incorporar áreas de crecimiento al 2050

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Ampliación de la red de atarjeas a las colonias Reforma, Mezquites y Solidaridad (REMESOL), en beneficio de 44,000 habitantes.	90.11	18.02	27.03	45.06		2021	2021
Construcción de colector principal REMESOL, con tubería de PVC, una longitud de 2.44 kilómetros y 76 cm (30") de diámetro nominal.	38.96	15.58	23.37			2022	2024
Construcción del emisor REMESOL-Cárcamo Sur con tubería de PVC, una longitud de 3.43 kilómetros y 76 cm (30") de diámetro nominal.	54.69	21.87	32.81			2022	2024
Construcción del colector Libramiento, primer tramo con tubería de PVC, una longitud de 1.20 kilómetros y 60 cm (24") de diámetro nominal.	15.73	6.29	9.44			2022	2024
Construcción del colector Libramiento, segundo tramo con tubería de PVC, una longitud de 4.64 kilómetros y 60 cm (24") de diámetro nominal.	60.77	24.31	36.46			2025	2030
Construcción del colector Sureste con tubería de PVC, una longitud de 1.23 kilómetros y 45 cm (18") de diámetro nominal.	12.83	5.13	7.7			2022	2024
Construcción del colector Libramiento, tercer tramo con tubería de PVC, una longitud de 5.34 kilómetros y 50 cm (20") de diámetro nominal.	60.02	24.01	36.01			2025	2030
Construcción del emisor REMESOL-PTAR Cucapá con tubería de PVC, una longitud de 6.41 kilómetros y 76 cm (30") de diámetro nominal.	102.22	40.89	61.33			2031	2050
Construcción del colector Noreste con tubería de PVC, una longitud de 2.54 kilómetros y 45 cm (18") de diámetro nominal.	26.41	10.56	15.85			2025	2030
Construcción de colector Adelitas con tubería de PVC, una longitud de 4 kilómetros y 45 cm (18") de diámetro nominal.	41.6	16.64	24.96			2031	2050
Construcción del subcolector 1 con tubería de PVC, una longitud de 1.6 kilómetros y 40 cm (16") de diámetro nominal.	14.6	5.84	8.76			2031	2050
Construcción del subcolector 2 con tubería de PVC, una longitud de 1.31 kilómetros y 40 cm (16") de diámetro nominal.	11.92	4.77	7.15			2031	2050



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Construcción del subcolector 3 con tubería de PVC, una longitud de 1.13 kilómetros y 40 cm (16") de diámetro nominal.	10.26	4.1	6.15			2031	2050
Total	540.12	198.01	297.02	45.06	0		

Fuente: elaboración propia

Tabla 62. Estudios y proyectos de colectores y emisores requeridos para incorporar áreas de crecimiento al 2050

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario y Saneamiento para la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora.	3	0.6	0.9	1.5		2022	2024
Total	3	0.6	0.9	1.5			

Fuente: elaboración propia

3.5.2 Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales

Tabla 63. Plantas de bombeo principales para incorporar al saneamiento zonas sin servicio y de crecimiento urbano

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Construcción y equipamiento electromecánico de la planta de bombeo REMESOL-Cárcamo Sur; obra civil, mecánica y eléctrica para 800 HP.	29.50	11.80	17.70			2022	2024
Reequipamiento y actualización de la planta de bombeo REMESOL-Cárcamo Sur; obra civil, mecánica y eléctrica, para enviar el agua a la PTAR Cucapah.	25.00	10.00	15.00			2031	2050
Rehabilitación de rebombes y estructuras de cárcamos de bombeo.	20.00	8.00	12.00			2031	2050
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la primera etapa de un cárcamo de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamo 4, potencia de 12 P).	1.50	0.24	0.36			2022	2024
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la segunda etapa de tres cárcamos de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamos 3, 5 y 6, potencia de 92 HP).	7.50	1.40	2.10			2025	2030
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la tercera etapa de dos cárcamos de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamos 1 y 2, potencia de 20 HP).	2.80	0.64	0.96			2031	2050
Total	86.3	32.08	48.12	0	0		

Fuente: elaboración propia

3.5.3 Acciones y proyectos para plantas de tratamiento

Tabla 64. Plantas de tratamiento para atender la demanda al año 2050, San Luis Río Colorado

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Construcción y equipamiento del cuarto módulo para 200 l/s en la ampliación de la planta de tratamiento Cucapah, consistente en un tren de tratamiento: laguna anaerobia, laguna facultativa y	120.00	24.00	36.00		60.00	2031	2050



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	COSTO MDP	FEDERAL	ESTATAL O MPAL.	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
lagunas de maduración 1 y 2, y 4 lechos de infiltración.							
Total	120.00	24.00	36.00	0.00	60.00		

Fuente: elaboración propia

El anexo de este capítulo serán las fichas técnicas de cada



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

4 Organización y alternativas de financiamiento

Actualmente el presupuesto del sector público y especialmente el del sector hídrico 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 es fundamental.

Además de los recursos propios y las fuentes de la banca de desarrollo, la intervención del sector privado coadyuva a la provisión de servicios, ya sea de manera directa o a través de la inyección de recursos para el desarrollo de las obras de gran 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, sin embargo, es un tema que debe profundizarse para definir hasta dónde debe permitirse la colaboración con el sector público.

4.1 Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento

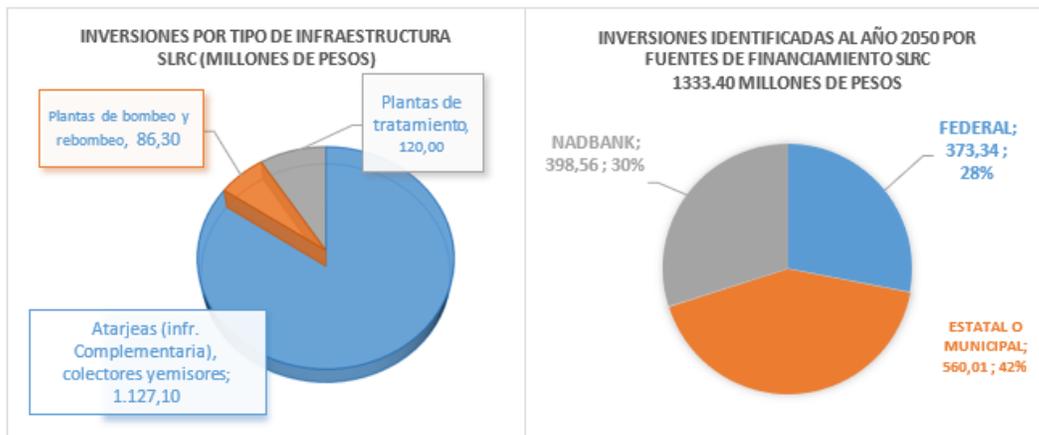
Los proyectos identificados y seleccionados para la cartera de proyectos de San Luis Río Colorado representan un monto de inversiones por 1,333.4 mdp.

Tabla 65. Inversiones por tipo de infraestructura de alcantarillado y saneamiento al año 2050

Concepto	Número acciones	Inversión (mdp)	Fuentes de financiamiento (mdp)				Ejecución
			Federal	Estatal o municipal	BDAN	Privada	
Colectores y emisores	13	540.10	198.02	297.03	45.06		2022 - 2050
Plantas de bombeo y rebombeo	6	86.30	34.52	51.78			2022 - 2050
Plantas de tratamiento	1	120.00	24.00	36.00	60.00		2036 - 2050
Infraestructura complementaria	6	587.00	117.40	176.10	293.50		2022 - 2050
Total general	26	1,333.40	373.94	560.91	398.56		2022 - 2050

Fuente: elaboración propia

Ilustración 34. Gráficas de los montos de inversión por tipo de infraestructura y fuente de financiamiento al año 2050



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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.

4.1.1 Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento

Las obras de saneamiento generalmente encuentran muchas dificultades para obtener un financiamiento adecuado para su desarrollo y mantenimiento, debido a varios factores, pero sobre todo a que la infraestructura requerida para los servicios de saneamiento es muy costosa, y se amortiza en períodos prolongados, y una vez construidas las obras; representa un costo irrecuperable con poco o sin valor alternativo.

Por otra parte, la inversión pública en infraestructura cada año se ha visto disminuida; sin embargo, el Estado sigue teniendo un papel clave. 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, 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.

Se requiere, entre otras cosas, mejorar el desempeño de los organismos prestadores de servicios de agua y saneamiento, para que estos sean financieramente sostenibles e incrementen sus capacidades.

Los 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, son:

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que 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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 dificultades 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, son:

BANCO DE AMÉRICA DEL NORTE (BDAN-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 BDAN 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 para financiar los proyectos de infraestructura.

Los recursos no reembolsables para proyectos de saneamiento se constituyen por el Fondo de Infraestructura Ambiental Fronteriza (BEIF por sus siglas en inglés), establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) 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 Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (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, también al 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 en 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 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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

entre las partes para la construcción, operación o administración de infraestructura para la provisión de un servicio público

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

La planeación de los proyectos debe afrontarse de manera adecuada para que al final del proceso pueda llevarse a buen término. Este proceso básico se apoya en la ejecución del estudio de diversos factores que inciden en la definición de cada proyecto.

La primera fase de la realización de estudios, que es necesaria para establecer la viabilidad de un proyecto, implica realizar análisis y definiciones con relación a los diferentes aspectos, como son los factores técnicos, ambientales, de mercado, financieros, de rentabilidad, así como una estimación de los recursos necesarios para su realización. Todo ello constituye el elemento fundamental para decidirse sobre la realización o no del proyecto.

La segunda fase importante de la planeación tiene lugar una vez que se ha decidido ejecutar el proyecto, ya que es necesario prever una serie de tareas previas de preparación, que den el suficiente detalle para la ejecución, y que son imprescindibles para garantizar la calidad y el éxito de cada proyecto.

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 (BDAN), o bien apoyándose en programas como el PRODI, que tiene una componente de estudios e infraestructura, en la que pueden incluirse estudios de:

- Eficiencia operativa y comercial.
- Estudios tarifarios.
- Eliminación de fugas.
- Actualización de padrones de usuarios.
- Mejora de infraestructura hidráulica.
- Diagnósticos de eficiencia energética y eficientización de equipos.

El Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA), que 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 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 de:

- Diagnósticos de planeación integral.
- Ingenierías básicas.
- Evaluación socioeconómica.
- Análisis de conveniencia de una APP.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- Asesorías estratégicas.
- Plantas desaladoras
- Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)
- Sostenibilidad operativa y financiera.

Otra posibilidad para financiamiento de estudios es la asistencia técnica del BDAN en la forma de recursos no reembolsables, que está disponible para apoyar a organismos operadores de servicios públicos, a los gobiernos estatales y municipales y sus dependencias, así como a otros promotores cuyos proyectos ya están certificados o estén desarrollando activamente proyectos específicos para que sean financiados por el BDAN.

Estudios admisibles:

- Proyectos ejecutivos y estudios relacionados con el desarrollo de proyectos.
- Estudios financieros.
- Análisis de operaciones administrativas.
- Análisis de operaciones técnicas.
- Análisis legales y normativos.
- Estudios de sistemas de información y administración.

4.1.3 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 35.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 35. Identificación de fuentes de financiamiento en la región fronteriza norte



Fuente: elaboración propia

La organización del financiamiento para la ejecución de obras puede representarse gráficamente de la siguiente forma:

Ilustración 36. Fuentes de financiamiento para la ejecución de obras



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 66. 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 o 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 se realicen acciones de mejora de eficiencia.	Apoyo a los prestadores de 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 67. Fuentes de financiamiento: Programas federales 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 (APAUUR): rural (APARURAL): Proyecto para el Desarrollo Integral de Organismos Operadores de Agua Limpia (AAL) y plantas de tratamiento de aguas residuales (APTAR).	Incrementar y sostener la cobertura y eficiencia 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 hasta de \$7,164.00. Apoyo entre 30 y 40 %; Poblaciones >500,000 hab.
APAUUR		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 2500 habitantes, que permitan avanzar en el cumplimiento del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua.	Costo per cápita hasta de \$7,164.00. Apoyo entre 30 y 40%; Poblaciones >500,000 hab.
PRODI.	Los montos máximos destinados para hacer llegar el agua residual a la planta de tratamiento no podrán exceder el 20 % de la inversión asignada a una obra de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Sólo se apoyarán aquellas que apliquen en el mismo ejercicio fiscal. Programa financiado parcialmente con crédito externo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).	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 del agua.	Base= 40 % monto de programa. Hasta 70 % en zonas de atención prioritaria.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Programa/dependencia (tipo de recursos)	Descripción/(apartado)	Propósito	*Monto
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.

Fuente: elaboración propia

Tabla 68. 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 de FONADIN.	Construcción de: acueductos, plantas desaladoras, plantas de tratamiento de aguas residuales. Sostenibilidad operativa y financiera.	Apoyos financieros hasta del 50 % para la elaboración de estudios de preinversión, así como hasta del 49 % 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

4.1.4 Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado y saneamiento corresponde al OOMAPAS San Luis Río Colorado, 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).

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 afectan directamente la salud pública de la población. 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.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Para comprender el tema, ya que existen diversas formas de abordarlo, es necesario recordar tres conceptos que nos permitirán uniformizar 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 a 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 x 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.

4.2.1 Identificación de riesgos (construcción de matriz)

Los proyectos de construcción e infraestructura, sin importar su tamaño, son riesgosos por naturaleza, debido, entre otros factores, a la gran cantidad de participantes y los numerosos procesos involucrados.

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.

Riesgos naturales

La ciudad de San Luis Río Colorado, y su valle, han sido golpeados constantemente por los sismos de pequeña intensidad, pero al estar la ciudad en un área de alto riesgo los Gobiernos se concentran en tener planes de emergencia para un fuerte sismo. La ciudad fue afectada por el terremoto de sierra Cucapah, el mayor que se registró el 4 de abril del 2010, con una magnitud de 7.2° en la escala de Richter, dejando a toda la ciudad sin sustentos, como electricidad, agua y suministro de gasolina.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

San Luis Río Colorado se localiza muy cerca de varias fallas terrestres, que se encuentran en el estado de Baja California, que son ramificación de la conocida falla de San Andrés. La más conocida es la falla de La Salada; fue la que causó los siniestros en diferentes poblados aledaños durante el sismo del 2010. También se encuentran las fallas: Imperial, Algodones, Cucapah y del Cerro Prieto, todas ellas cerca de la ciudad y con actividad sísmica constante.

Tabla 69. Fechas de sismos de mayor magnitud que se han sentido en SLRC

Fecha	Hora	Magnitud en escala Richter
19 de mayo de 1940	04:36:40 UTC	6.9
1 de febrero de 1954	04:31:48 UTC	5.7
30 de diciembre de 1934	13:52:02 UTC	6.3
31 de diciembre de 1934	18:45:43 UTC	6.4
15 de octubre de 1979	12:45 UTC-7	6.6
9 de junio de 1980	03:28:19 UTC	6.3
30 de diciembre del 2009	11:45 UTC-7	5.9
4 de abril del 2010	15:40:22 UTC-7	7.2
28 de septiembre del 2018	19:17:51 UTC-7	4.9

Fuente: elaboración propia con datos del Atlas Municipal de Riesgos

Por otra parte, un punto importante a destacar, entre otros, son las principales causas de vulnerabilidad INSTITUCIONAL de los organismos operadores de agua y saneamiento, en cuanto esta 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, insuficientes recursos económicos y humanos, a veces, falta de actualización de leyes, falta 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 de falta de planes, estudios y proyectos

También puede existir el riesgo de que por razones operativas y de cambios administrativos, los planes, estudios y proyectos de infraestructura son olvidados y se quedan rezagados por un tiempo, y cuando se requiere contar con ellos, para que sean incluidos en programas de inversión, no se tienen cubiertos los requisitos de cartera para que les sean asignados recursos en un Programa Operativo Anual.

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 estas obras, y que los podemos puntualizar de la siguiente forma:

- a) No terminación de las obras;
- b) Retrasos en la construcción o un sobre costo de las 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) Escasez de personal calificado necesario para realizar y operar el proyecto.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Riesgos económicos y financieros

En ese 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 ese 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 70.

Tabla 70. Matriz de descripción de riesgos y forma de mitigarlos

Tipo de riesgo	Descripción	Forma de mitigación
1. Económico-financiero	No contar con suficiencia presupuestal federal o de la contraparte estatal o municipal o privada.	Mantener activas diversas de fuentes.
	El presupuesto o los recursos económicos requeridos no fueron autorizados en cualquiera de los tres niveles de Gobierno, o por parte de la banca de desarrollo o privada.	Ajustar tarifas de forma tal que permitan incrementar los recursos para inversión.
	Falta de disposición en tiempo y forma del presupuesto programado, desfasando la ejecución del proyecto u obra.	
	Problemas en el tipo de organización adoptada para financiar, construir y operar un proyecto.	Mantener alta la calificación crediticia del organismo operador.
2. Legal	Que no sea posible la adquisición de los terrenos seleccionados para las obras por temas legales, como falta de escrituras, intestados, etcétera.	Preparar los proyectos con la anticipación adecuada para detectar problemáticas legales y buscar alternativas.
	Falta de permisos de paso o acceso o afectación, o que no se cuente con la liberación de los terrenos por ocupar.	
	Que se presente atraso en la autorización de la cartera de proyectos o de los Oficios de Liberación de Inversión.	
3. Administrativo	Que el proceso sea muy extensivo para la aceptación y certificación del proyecto por parte del BDAN.	Mantener actualizada la cartera en la Unidad de Inversiones.
	Proceso muy extensivo para la aceptación e incorporación en la cartera de proyectos de la Unidad de Inversiones SHCP.	
	Problemática social que pudiera presentarse por la aplicación de ordenamientos legales en materia de agua.	
4.- Social	Oposición de los habitantes a la obra.	



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tipo de riesgo	Descripción	Forma de mitigación
	Malestar social por las afectaciones en el proceso de construcción y operación de las obras.	Considerar a los beneficiarios como posibles afectados durante la maduración de proyectos.
	Que el proyecto no cuente con la aceptación social, por afectaciones a los vecinos.	Mantener comunicación con la población del área para detectar inconformidades.
5. Político	Que no corresponda con los proyectos planteados en el Plan Municipal de Desarrollo (compromisos de campaña).	Vigilar la correcta alineación estratégica de los proyectos.
	Obras y proyectos cuya terminación trascienda en el término de la Administración municipal o estatal.	Cubrir requisitos para la multianualidad de los proyectos.
	Adquisición equivocada de bienes y equipamiento y periféricos, o en malas condiciones de operación.	
6. Técnico	Incumplimiento de las empresas contratadas para realizar los trabajos.	Buscar transferencia del riesgo mediante seguros.
	Que no se cuente con el personal técnico para dar seguimiento al proceso de supervisión y operación de las obras.	
	Que las labores de construcción y equipamiento se realicen en temporada lluviosa.	Aplicar la afectación de fianzas y sanciones.
7. Ambiental y natural	Que no se cuente con las aprobaciones en materia de impacto ambiental.	Tomar en cuenta en los programas de obra las contingencias del clima.
	Que los trabajos representen un riesgo para el medio ambiente.	
	La ocurrencia de un sismo fuerte.	Vigilar que se cuente con todos los estudios y trámites en materia ambiental

Fuente: elaboración propia

4.2.2 Evaluación de riesgos:

Tipo y grado de riesgo sobre los cuales se valora el riesgo de los proyectos de la cartera de proyectos:

Tabla 71. Clasificación del grado y tipo de riesgo para cada proyecto

Clasificación	Tipos de riesgo (Tabla 70)	
A. Riesgo alto	1. Económico-financiero	5. Político/administrativo
M. Riesgo medio	2. Legal	
B. Riesgo bajo	3. Administrativo.	6. Técnico
	4. Social	7. Ambiental y natural

Fuente: elaboración propia

Tabla 72. Tipo y grado de riesgo por proyecto, ampliación, rehabilitación y reemplazo de redes en el periodo 2021-2050, SLRC.

CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
				1	2	3	4	5	6	7
Ampliación de la red de atarjeas a las colonias Reforma, Mezquites y Solidaridad (REMESOL), en beneficio de 44,000 habitantes.	90.11	2022	2024	M	M	M	B	B	B	M
Reemplazar tuberías de atarjeas deterioradas con daño crítico, que sobrepasan la vida útil (5 km de líneas de atarjeas en la zona centro de la ciudad).	30.00	2022	2024	M	B	M	B	B	B	M



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario y Saneamiento para la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora.	3.00	2022	2024	M	B	M	B	B	B	B
Reemplazar tuberías deterioradas de 6", 8" y 10" de diámetro, que sobrepasan la vida útil (25 km de líneas de atarjeas en la zona centro de la ciudad).	150.00	2025	2030	M	B	M	B	B	B	M
Rehabilitar 20 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro, deterioradas, que cumplieron su vida útil.	40.00	2022	2024	M	B	M	B	B	B	M
Rehabilitar 62 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro, deterioradas, que cumplieron su vida útil.	124.00	2025	2030	M	B	M	B	B	B	M
Rehabilitar 120 km de atarjeas de 8" y 10" de diámetro, deterioradas, que cumplieron su vida útil.	240.00	2031	2050	M	B	M	B	B	B	M

Fuente: elaboración propia

Tabla 73. Tipo y grado de riesgo de los proyectos al año 2050, San Luis Río Colorado

Clasificación	Tipos de riesgo	
A. Riesgo alto	1. Económico-financiero	5. Político/administrativo
M. Riesgo medio	2. Legal	
B. Riesgo bajo	3. Administrativo.	6. Técnico
	4. Social	7. Ambiental y natural

Fuente: elaboración propia

Tabla 74. Tipo y grado de riesgo subcolectores, colectores y emisores al año 2050 SLRC

CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
				1	2	3	4	5	6	7
Construcción de colector principal REMESOL, con tubería de PVC, una longitud de 2.44 km y 76 cm (30") de diámetro nominal.	38.96	2022	2024	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del emisor REMESOL-Cárcamo Sur, con tubería de PVC, una longitud de 3.43 km y 76 cm (30") de diámetro nominal.	54.69	2022	2024	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del colector Libramiento, primer tramo, con tubería de PVC y una longitud de 1.20 km y 60 cm (24") de diámetro nominal.	15.73	2022	2024	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del colector Libramiento, segundo tramo, con tubería de PVC, una longitud de 4.64 km y 60 cm (24") de diámetro nominal.	60.77	2025	2030	M	M	B	M	B	M	M
Construcción del colector Sureste, con tubería de PVC, una longitud de 1.23 kilómetros y 45 cm (18") de diámetro nominal.	12.83	2022	2024	M	M	B	M	B	M	M
Construcción del colector Libramiento, tercer tramo, con tubería de PVC, una longitud de 5.34 km y 50 cm (20") de diámetro nominal.	60.02	2025	2030	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del emisor REMESOL-PTAR Cucapah con tubería de PVC, una longitud de 6.41 km y 76 cm (30") de diámetro nominal.	102.22	2031	2050	M	M	B	M	B	M	M
Construcción del colector Noreste, con tubería de PVC, una longitud de 2.54 km y 45 cm (18") de diámetro nominal.	26.41	2025	2030	M	M	M	B	M	B	M
Construcción de colector Adelitas, con tubería de PVC, una longitud de 4.0 km y 45 cm (18") de diámetro nominal.	41.60	2031	2050	M	M	B	M	B	M	M



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
				1	2	3	4	5	6	7
Construcción del subcolector 1, con tubería de PVC, una longitud de 1.6 km y 40 cm (16") de diámetro nominal.	14.60	2031	2050	M	M	M	B	M	B	M
Construcción del subcolector 2, con tubería de PVC, una longitud de 1.31 km y 40 cm (16") de diámetro nominal.	11.92	2031	2050	M	M	M	B	M	B	M
Construcción del subcolector 3, con tubería de PVC, una longitud de 1.13 km y 40 cm (16") de diámetro nominal.	10.26	2031	2050	M	M	M	M	M	B	M

Fuente: elaboración propia

Tabla 75. Tipo y grado de riesgo de los proyectos al año 2050, San Luis Río Colorado

Clasificación	Tipos de riesgo	
A. Riesgo alto	1. Económico-financiero	5. Político/administrativo
M. Riesgo medio	2. Legal	
B. Riesgo bajo	3. Administrativo.	6. Técnico
	4. Social	7. Ambiental y natural

Fuente: elaboración propia

Tabla 76. Tipo y grado de riesgo de plantas de bombeo al año 2050 SLRC

CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
				1	2	3	4	5	6	7
Construcción y equipamiento electromecánico de la planta de bombeo REMESOL-Cárcamo Sur; obra civil, mecánica y eléctrica para 800 HP.	29.50	2022	2024	M	M	M	M	M	B	M
Reequipamiento y actualización de la planta de bombeo REMESOL-Cárcamo Sur; obra civil, mecánica y eléctrica para enviar el agua a la PTAR Cucapah.	25.00	2031	2050	M	M	M	M	M	B	M
Rehabilitación de rebombes y estructuras de cárcamos de bombeo existentes.	20.00	2031	2050	M	M	M	M	M	B	M
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la primera etapa de un cárcamo de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamo 4, potencia de 12 P).	1.50	2022	2024	M	M	M	M	M	B	M
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la segunda etapa de tres cárcamos de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamos 3, 5 y 6, potencia de 92 HP).	7.50	2025	2030	M	M	M	M	M	B	M
Construcción, equipamiento y puesta en marcha de la tercera etapa de 2 cárcamos de bombeo de baja carga hidráulica (cárcamos 1 y 2, potencia de 20 HP).	2.80	2031	2050	M	M	M	M	M	B	M

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 77. Tipo y grado de riesgo de proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales al año 2050

CONCEPTO	COSTO MDP	INICIO	TÉRMINO	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
				1	2	3	4	5	6	7
Construcción y equipamiento del cuarto módulo para 200 l/s en la ampliación de la planta de tratamiento Cucapah, consistente en un tren de tratamiento: laguna anaerobia, laguna facultativa y lagunas de maduración 1 y 2, y 4 lechos de infiltración.	120.00	2031	2050	M	M	M	B	B	M	M

Fuente: elaboración propia

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

Bibliografía

2016-26, D. D. (2016). PROPUESTA DE CERTIFICACIÓN AMPLIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUAPOTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO A LAS COLONIAS SUROESTE DE NOGALES, SONORA. Nogales Sonora: BDAN.

2018-16, D. D. (2018). PROPUESTA DE CERTIFICACIÓN Y FINANCIAMIENTO MEJORAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE PEÑA BLANCA EN EL ARROYO POTRERO EN NOGALES, ARIZONA. Nogales, Arizona: BDAN.

Agua, C. N. (s.f.). MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO DISEÑO DE INSTALACIONES MECÁNICAS. Ciudad de México: CONAGUA.

Cantú Robles, S. B. (2019). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS Gestión del funcionamiento de PTAR. Nogales, Sonora: OOMAPAS Nogales.

CILA. (29 de junio de 2020). Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá, T-MEC Capítulo 24 Medio Ambiente. Ciudad de México, México: CILA.

CILA, A. 2. (5 de septiembre de 1967). Ampliación de las instalaciones internacionales para el tratamiento de las aguas negras de Nogales Sonora y Nogales Arizona. Acta 227 CILA. El Paso, Texas, EE.UU: CILA.

Comisión, N. d. (2015). Reutilización de Aguas Residuales en México: Caso Sonora. Ciudad de México: CONAGUA.

CONAGUA. (2019). Sistema de Gestión por comparación. Nogales, Sonora: CONAGUA.

CORRALES BUJANDA, J. M. (2016). GESTION EFICIENTE DEL AGUA. Nogales, Sonora: OOMAPAS Nogales. Cortés-Pérez, J. (2009). MEMORIAS DEL XV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM. METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN TUBERÍAS PLÁSTICAS PARA DRENAJE DURANTE EL SERVICIO (págs. 713-719). Ciudad Obregón, Sonora: SOMIM.

Gemma Uroz Fabregat, U. R. (2009). Control y Automatización de una Estación de Bombeo. Tarragona, España: Universitat Rovira I Virgili.

Lara G., J. L. (1991). Alcantarillado. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Ingeniería Sanitaria. MEXICO, G. D. (1944). PORTAL DE LA COMISION INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS. (G. D. MÉXICO, Productor). Obtenido de <https://cila.sre.gob.mx/cilanorte/>.

Minjarez Sosa, I. (2004). ATLAS DE RIESGOS, PELIGROS NATURALES DE NOGALES, SONORA. Nogales, Sonora: Gobierno de Sonora.

NAVARRO LÓPEZ, M. A. (2019). 3-MANEJO AGUAS RESIDUALES, OOMAPAS, NOV. 2019. Nogales, Sonora: OOMAPAS Nogales, Sonora. Unidos, G. d. (14 de noviembre de 1944). TRATADO ENTRE EL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS Y EL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS INTERNACIONALES DE LOS RÍOS COLORADO, TIJUANA Y BRAVO. Tratado de Aguas. Washington, D.C., EE. UU.: CILA.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Acrónimos

ANC	Agua no contabilizada
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C.
BDAN	Banco de Desarrollo del Norte
CEA	Comisión Estatal del Agua de Sonora
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 amoniacal
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 Hidrico
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)
PROMAGUA	Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua
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

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Localización de San Luis Río Colorado.....	5
Ilustración 2. Subdivisión general de la red de alcantarillado y saneamiento.....	10
Ilustración 3. Infraestructura principal del sistema de alcantarillado de San Luis Río Colorado.....	12
Ilustración 4. Planta general del sistema de alcantarillado, red primaria de San Luis Río Colorado, SO.....	13
Ilustración 5. Planta general del sistema lagunar de tratamiento de aguas residuales, San Luis Río Colorado.....	14
Ilustración 6. Canal central y canaletas vertedoras laterales de alimentación a los lechos de infiltración.....	14
Ilustración 7. Lecho de infiltración donde se muestran los trabajos de arado.....	15
Ilustración 8. Áreas de aportación a la red de alcantarillado y saneamiento.....	18
Ilustración 9. Planta general del sistema lagunar de tratamiento de aguas residuales, San Luis Río Colorado.....	20
Ilustración 10. Vista general del humedal en el extremo de la PTAR en San Luis Río Colorado.....	21
Ilustración 11. Ubicación de la zona sin servicio de alcantarillado en San Luis Río Colorado, Son.....	28
Ilustración 12. Áreas de la ciudad y condiciones generales de la infraestructura de alcantarillado.....	29
Ilustración 13. Diagnóstico de la condición general de la infraestructura de alcantarillado y saneamiento.....	30
Ilustración 14. Gráfica de proyecciones de población al año 2050, San Luis Río Colorado, Son.....	36
Ilustración 15. Gráfica de proyecciones de población al año 2050, San Luis Río Colorado, Son.....	37
Ilustración 16. Ubicación de tramos con capacidad limitada para el caudal máximo extraordinario.....	39
Ilustración 17. Arreglo de equipos en el Cárcamo Sur, San Luis Río Colorado, Son.....	40
Ilustración 18. Zonas con atarjeas deterioradas y que cumplieron su vida útil, y zonas sin servicio de alcantarillado.....	42
Ilustración 19. Patrón de crecimiento observado y patrón de crecimiento esperado al 2050.....	48
Ilustración 20. Zonas de expansión e infraestructura requerida en San Luis Río Colorado, Son.....	49
Ilustración 21. Infraestructura de colectores y emisores al año 2050.....	50
Ilustración 22. Posible ampliación del 4° módulo de la PTAR Cucapah.....	52
Ilustración 23. Red de colectores y emisores en zonas de crecimiento de San Luis Río Colorado....	55
Ilustración 24. Infraestructura de colectores y emisores al año 2050.....	61
Ilustración 25. Recomendaciones para cárcamos de bombeo.....	63
Ilustración 26. Cuarto módulo de 200 l/s para ampliación de la PTAR Cucapah, San Luis Río Colorado.....	67
Ilustración 27. Diagrama de flujo de efectivo.....	72
Ilustración 28. Diagramas de flujo de efectivo.....	76
Ilustración 29. Ubicación de los cárcamos en las zonas de crecimiento de SLRC al año 2050.....	78
Ilustración 30. Proyecto de ampliación del Sistema de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales en San Luis Río Colorado, Sonora.....	80
Ilustración 31. Sistema de tratamiento e infiltración del agua residual tratada, PTAR Cucapah, SLRC.....	81



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 32. Proceso de maduración de los proyectos elegibles para inversión pública	86
Ilustración 33. Criterios y factores de impacto de la infraestructura propuesta que pudieran reflejarse en una matriz de decisión	87
Ilustración 34. Gráficas de los montos de inversión por tipo de infraestructura y fuente de financiamiento al año2050.....	91
Ilustración 35. Identificación de fuentes de financiamiento en la región fronteriza norte	96
Ilustración 36. Fuentes de financiamiento para la ejecución de obras.....	96



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Índice de tablas

Tabla 1. Datos básicos del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado.....	7
Tabla 2. Resumen de la problemática, solución e inversión, San Luis Río Colorado, SO	8
Tabla 3. Recopilación de información	10
Tabla 4. Cárcamos de bombeo del sistema de alcantarillado SLRC	15
Tabla 5. Arreglo de los módulos de la planta de tratamiento Cucapah en San Luis Río Colorado....	19
Tabla 6. Parámetros de la NOM-001-ECOL-,1996, a cumplir por la PTAR Cucapah, San Luis Río Colorado.....	21
Tabla 7. Parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 PTAR Cucapah, San Luis Río Colorado.....	22
Tabla 8. Resultados de calidad en pozo de observación a un costado de la PTAR (diciembre de 2019)	22
Tabla 9. Resultados de análisis de calidad del agua en pozo de observación a un costado de la PTAR (marzo 2020)	22
Tabla 10. Facturación total y por tipo de servicio en el OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019)	25
Tabla 11. Recaudación total y por servicio en el OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019).....	25
Tabla 12. Ingresos totales OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019)	26
Tabla 13. Ingresos totales OOMAPAS San Luis Río Colorado año 2019 (\$ MXN)	26
Tabla 14. Tarifas por servicio de agua potable, San Luis Río Colorado (año 2019)	27
Tabla 15. Indicadores y datos contables OOMAPAS San Luis Río Colorado (año 2019)	27
Tabla 16. Tasas de crecimiento para diferentes periodos.....	36
Tabla 17. Proyecciones de población para San Luis Río Colorado (proyección geométrica) al año 2050	36
Tabla 18. Comparación de oferta y demanda de agua al año 2050, San Luis Río Colorado.....	37
Tabla 19. Condición de la capacidad de los colectores principales de la red de alcantarillado de SLRC	38
Tabla 20. Atarjeas para reemplazar por deterioro o por haber cumplido su vida útil	42
Tabla 21. Atarjeas por rehabilitar por deterioro y por haber cumplido su vida útil	43
Tabla 22. Red de atarjeas, subcolectores y colectores que requieren reposición o rehabilitación, SLRC	48
Tabla 23. Colectores de las áreas de crecimiento y expansión de SLRC al año 2050	50
Tabla 24. Caudales medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario.....	51
Tabla 25. Sistema de nuevos colectores en áreas de expansión.....	55
Tabla 26. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso).....	58
Tabla 27. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso).....	58
Tabla 28. Infraestructura de colectores y emisores de PVC al año 2050	60
Tabla 29. Caudales medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario.....	61
Tabla 30. Requerimientos de equipamiento de la PBAR REMESOL hasta el año 2040.....	65
Tabla 31. Requerimiento de equipamiento de la PBAR REMESOL después del año 2040.....	66



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 32. Costo índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PVC).....	69
Tabla 33. Continúa: Costo índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PVC)	69
Tabla 34. Costos índices por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PEAD).....	69
Tabla 35. Continúa. Costos índices por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora-(material PEAD).....	70
Tabla 36. Colectores en zonas de crecimiento al año 2050, material PVC.....	70
Tabla 37. Costos de operación y mantenimiento de la red de colectores PVC.....	70
Tabla 38. Inversiones requeridas para construir la red de colectores y emisores de material PEAD al año 2050.....	71
Tabla 39. Costos de operación y mantenimiento de la red de colectores de material PEAD	71
Tabla 40. Conceptos considerados para cálculo de CC	71
Tabla 41. Valor presente de alternativas con PVC y PEAD	72
Tabla 42. Valor anual uniforme para alternativas de PVC y PEAD	73
Tabla 43. Valor presente para alternativas de PVC y PEAD.....	73
Tabla 44. Costo de la planta de bombeo REMESOL equipada para emisor 76 cm de diámetro de PVC	74
Tabla 45. Costos de operación y mantenimiento de la planta de bombeo y emisor de PVC de 76 cm de diámetro y 6.41 km	74
Tabla 46. Costo de la planta de bombeo REMESOL equipada para emisor de 76 cm de diámetro de PEAD	74
Tabla 47. Costos de operación y mantenimiento de la planta de bombeo y emisor de PVC de 76 cm de diámetro y 6.41 km	75
Tabla 48. Conceptos considerados para cálculo de CC	75
Tabla 49. Valor presente de alternativas con PVC y PEAD	76
Tabla 50. Valor anual uniforme para alternativas de PVC y PEAD	77
Tabla 51. Valor presente para alternativas de PVC y PEAD.....	77
Tabla 52. Plantas de bombeo de baja carga hidráulica en la zona de crecimiento.....	78
Tabla 53. Etapas de construcción de cárcamos de bombeo al año 2050.....	79
Tabla 54. Costo de inversión de construcción del cuarto módulo de 200 l/s de la PTAR Cucapah...	81
Tabla 55. Red de colectores para atender las áreas sin servicio y la expansión urbana al 2050	83
Tabla 56. Plantas de bombeo de baja carga hidráulica en la red primaria al año 2050.....	83
Tabla 57. Requerimientos de equipamiento de la PBAR REMESOL hasta el año 2040.....	84
Tabla 58. Requerimiento del equipamiento de la PBAR REMESOL después del año 2040.....	84
Tabla 59. Alternativa para ampliar la capacidad de tratamiento de las aguas residuales de SLRC al año 2050.....	85
Tabla 60. Precartera de proyectos de reemplazo y rehabilitación de infraestructura	87
Tabla 61. Infraestructura de colectores y emisores, requerida para incorporar áreas de crecimiento al 2050.....	88
Tabla 62. Estudios y proyectos de colectores y emisores requeridos para incorporar áreas de crecimiento al 2050.....	89



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 63. Plantas de bombeo principales para incorporar al saneamiento zonas sin servicio y de crecimiento urbano.....	89
Tabla 64. Plantas de tratamiento para atender la demanda al año 2050, San Luis Río Colorado....	89
Tabla 65. Inversiones por tipo de infraestructura de alcantarillado y saneamiento al año 2050.....	91
Tabla 66. Programas con base en la devolución del pago de derechos: CONAGUA.....	97
Tabla 67. Fuentes de financiamiento: Programas federales CONAGUA.....	97
Tabla 68. Fuentes de financiamiento: recursos de la banca de desarrollo nacional e internacional	98
Tabla 69. Fechas de sismos de mayor magnitud que se han sentido en SLRC.....	100
Tabla 70. Matriz de descripción de riesgos y forma de mitigarlos.....	101
Tabla 71. Clasificación del grado y tipo de riesgo para cada proyecto.....	102
Tabla 72. Tipo y grado de riesgo por proyecto, ampliación, rehabilitación y reemplazo de redes en el periodo 2021-2050, SLRC.....	102
Tabla 73. Tipo y grado de riesgo de los proyectos al año 2050, San Luis Río Colorado	103
Tabla 74. Tipo y grado de riesgo subcolectores, colectores y emisores al año 2050 SLRC.....	103
Tabla 75. Tipo y grado de riesgo de los proyectos al año 2050, San Luis Río Colorado	104
Tabla 76. Tipo y grado de riesgo de plantas de bombeo al año 2050 SLRC.....	104
Tabla 77 .Tipo y grado de riesgo de proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales al año 2050.....	105